

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO



FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

**“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
PARA EL CENTRO POBLADO DE LA PARROQUIA TIPUTINI DEL CANTÓN
AGUARICO EN LA PROVINCIA DE ORELLANA”**

Tesis de Grado Previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

NELSON ALEXANDER SHIGUANGO CHANALUISA

RIOBAMBA – ECUADOR

2014

AGRADECIMIENTO

En primera instancia agradezco a Dios ser el que me ha dado sabiduría, paz y fe, logrando así cumplir y superar cada obstáculo en los instantes de mi vida.

A toda mi familia, quienes con su incondicional apoyo, me ayudaron a conseguir la culminación de mis estudios, a mi madre Martha Chanaluisa; Padre, Vidal Shiguango, a mis tías, tíos: Efraín, Lucila, Piedad, Nelson, por sus consejos inculcando valores para mi bien profesional.

Al muy ilustre Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Aguarico, presidido por su alcalde Profesor Franklin Cox S., quien muy atendidamente me brindó el auspicio para la realización de esta investigación.

A mi Director de Tesis Dr. Fausto Yaulema G., a mi colaborador Dr. Roberto Erazo, quienes aportaron sus valiosos conocimientos para la ejecución de la presente investigación.

A mis profesores, amigos/as quienes también estuvieron compartiendo conmigo experiencias y momentos gratos en el transcurso de ésta carrera universitaria.

DEDICATORIA

El presente trabajo está dedicado de manera especial a mi madre Martha Chanaluisa, mi padre Vidal Shiguango, quienes han luchado por sacarme adelante y se han constituido en una fuente de apoyo incondicional en cada instante de mi vida.

En memoria de mis abuelos Matilde y Ricardo, quienes fallecieron en el transcurso del desarrollo de la presente investigación.

A toda mi familia, hermanas, tíos, tías, primas y primos, quienes han sido mi identificación y me han dado las fuerzas para luchar en el día a día de esta carrera.

“Yo, Nelson Alexander Shiguango Chanaluisa, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en ésta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.”

NELSON ALEXANDER SHIGUANGO CHANALUISA

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUIMICAS

El tribunal de tesis certifica que: El trabajo de investigación “**DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CENTRO POBLADO DE LA PARROQUIA TIPUTINI DEL CANTÓN AGUARICO EN LA PROVINCIA DE ORELLANA**”, de responsabilidad del Egresado Sr. Nelson Alexander Shiguango Chanaluisa ha sido prolijamente revisado por los miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

FIRMA

FECHA

Dr. Silvio Álvarez L.
DECANO FAC. CIENCIAS

Lcdo. Wilvo Vásquez
DIRECTOR EXT. NORTE
AMAZONICA

Dr. Fausto Yaulema G.
DIRECTOR DE TESIS

Dr. Roberto Erazo.
MIEMBRO - TRIBUNAL

DIRECTOR DEL CENTRO
DE DOCUMENTACION

NOTA DE TESIS ESCRITA

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

% Sólidos:	Porcentaje de sólidos contenidos en el lodo residual.
ρ_s	Densidad de la arena, g/cm^3
\emptyset	Diámetro de la partícula.
$^{\circ}\text{C}$	Grados Celsius.
A	Área total.
AL	Área libre al paso del agua.
Af	Área del filtro.
Als	Área lecho de secado.
APHA	American Public Health Association.
AWWA	American Water Works Association.
AS	Área del sedimentador.
As	Área superficial.
B	Ancho del canal, ancho del sedimentador.
CR	Coefficiente de retorno.
C	Carga de sólidos que ingresa a sedimentar.
CD	Coefficiente de arrastre.
Cs	Carga Superficial.
C	Altura de la cámara de sedimentación.
D	Dotación de agua.
DBO_5	Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días.
DQO	Demanda Química de Oxígeno.
F	Factor de mayoración (L/s).
Fcr	Factor de capacidad relativa.
G,g	Aceleración de la gravedad.
H,h	Tirante del agua en el canal.
H	Altura del canal.
Hal	Profundidad de aplicación de lodos.
Hbmáx	Lámina de agua correspondiente al caudal máximo.
Hbmín	Lámina de agua correspondiente al caudal mínimo.
HD	Profundidad del desarenador.

Hf	Pérdida de carga.
Hs	Altura de seguridad.
Hv	Altura del tirante del vertedero.
K	Coefficiente de Manning.
L	Longitud.
LABCESTTA	Centro de Servicios Técnicos y Transferencia Tecnológica Ambiental.
L _D	Longitud del desarenador.
m	Metros.
m/h	Metros por hora.
m/s	Metros por segundo.
mm	Milímetros.
Msd	Masa de sólidos que conforman los lodos.
N,n	Coefficiente de rugosidad de Manning.
Nb	Número de barras.
NMP	Número más probable.
OPS	Organización Panamericana de la Salud.
P	Población de diseño.
P _f	Población futura.
pH	Potencial de hidrógeno.
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales.
Q	Caudal.
Q _{CE} :	Caudal de conexiones erradas.
Q _D	Caudal de diseño.
Q _i	Caudal instantáneo.
Q _{INF}	Caudal de infiltración.
Q _m	Caudal medio.
Q _{MD}	Caudal medio diario de aguas residuales.
Q _{máxDis}	Caudal máximo diario de diseño.
Q _{min}	Caudal mínimo.
Q _{mínDiseño}	Caudal mínimo de diseño.
Re	Número de Reynolds.
RH	Radio hidráulico.

S	Pendiente o gradiente hidráulico.
SS	Sólidos suspendidos.
Td	Tiempo de digestión.
TRH	Tiempo de retención hidráulica.
V	Velocidad de flujo.
V	Volumen.
Vapx	Velocidad en el canal de aproximación.
Va	Velocidad de arrastre.
V _{Bm}	Velocidad a través de las rejillas.
V _d	Volumen de la cámara de digestión.
V _{el}	Volumen a extraerse del tanque.
V _h	Velocidad horizontal.
V _{ld}	Volumen diario de lodos digeridos.
V _s	Velocidad de sedimentación.
V _S	Volumen del sedimentador.
V _s	Velocidad de sedimentación.
W	Ancho de garganta del canal Parshall.

INDICE DE CONTENIDO

CAPITULO I

1	MARCO TEÓRICO	1
1.1	EL AGUA	1
1.1.1	CICLO DEL AGUA	2
1.2	AGUA RESIDUAL	3
1.2.1	CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	3
1.2.2	CARACTERISTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	4
1.2.3	MEDICIÓN DE CAUDALES	13
1.2.4	VERTEDEROS DE AFORO	15
1.2.5	CONCEPTO.....	16
1.2.6	EVALUACIÓN Y DETERMINACIÓN DE FLUJOS DE DISEÑO	17
1.3	LOS HUMEDALES ARTIFICIALES	19
1.3.1	CLASIFICACIÓN DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES	21
1.3.2	PARTES DE LOS HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL	26
1.3.3	MECANISMOS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES	29
1.3.4	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES.....	36
1.4	MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES	39
1.4.1	TIPOS DE MUESTRAS	39
1.4.2	HOJA DE REVISIÓN DE MUESTRAS	41
1.4.3	PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS.....	41
1.5	SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA PEQUEÑAS POBLACIONES	42
1.5.1	CANAL DE LLEGADA	44
1.5.2	REJILLAS	45
1.5.3	CANAL PARSHALL.....	48
1.5.4	DESARENADOR	50
1.5.5	LECHOS DE SECADO	57
1.5.6	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE HUMEDALES ARTIFICIALES.....	60
1.6	NORMATIVA AMBIENTAL	65

CAPITULO II

2	GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO	68
---	---	----

2.1	LOCALIZACION DE LA INVESTIGACIÓN	68
2.1.1	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA.....	68
2.1.2	MACROLOCALIZACIÓN.....	69
2.1.3	LOCALIZACIÓN DEL CENTRO POBLADO DE TIPUTINI	69
2.1.4	MICROLOCALIZACIÓN	71
2.1.5	CLIMATOLOGÍA	71
2.1.6	CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS	72
2.1.7	RIESGOS NATURALES.....	72
2.2	MATERIALES Y MÉTODOS.....	72
2.2.1	MATERIALES Y EQUIPOS	72
2.3	MÉTODOS	73
2.3.1	MÉTODO DE MEDICIÓN DE CAUDAL.....	73
2.3.2	MÉTODO DE MUESTREO	74
2.3.3	MÉTODO DE CARACTERIZACIÓN FÍSICO – QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL AGUA RESIDUAL.....	75
2.3.4	MÉTODOS TOPOGRÁFICOS.....	76
2.3.5	MÉTODO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	76
2.3.6	MÉTODO PARA LA ELABORACIÓN DE PLANOS	77
2.3.7	MÉTODO DE IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.....	77

CAPITULO III

3	CÁLCULOS Y RESULTADOS.....	81
3.1	CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	81
3.1.1	POBLACIÓN DE DISEÑO	81
3.1.2	CAUDAL DE DISEÑO	82
3.1.3	DIMENSIONAMIENTO DEL CANAL DE LLEGADA.....	87
3.1.4	DIMENSIONAMIENTO DE REJILLAS	90
3.1.5	DIMENSIONAMIENTO DEL CANAL PARSHALL	93
3.1.6	DIMENSIONAMIENTO DE DESARENADOR	97
3.1.7	DIMENSIONAMIENTO DEL LECHO DE SECADO	101
3.1.8	DIMENSIONAMIENTO DE LA LAGUNA ARTIFICIAL.....	103

3.2	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	106
3.2.1	RESULTADO DEL CENSO REALIZADO.....	106
3.2.2	RESULTADO DE LA MEDICION DE CAUDAL.....	112
3.2.3	RESULTADO DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	113
3.3	IMPACTO AMBIENTAL.....	115
3.4	METODOLOGIA DE IDENTIFICACION Y EVALUACION DE IMPACTOS.....	115
3.4.1	CARACTERIZACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES.....	115
3.4.2	METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.....	116
3.4.3	PRINCIPALES ACCIONES QUE SE REALIZARÁN DURANTE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE IMPLEMENTACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	117
3.4.4	MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES.....	120
CAPITULO IV		
4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	127
4.1	CONCLUSIONES	127
4.2	RECOMENDACIONES.....	129
	BIBLIOGRAFÍA	131
	ANEXOS	136

INDICE DE TABLAS

Tabla I Agentes infecciosos potencialmente presentes en el agua residual doméstica bruta.....	10
Tabla II Aplicaciones de los flujos de Diseño.....	17
Tabla III Mecanismos de remoción en los sistemas de tratamiento basados en macrófitas.	30
Tabla IV Comparación entre diferentes sistemas de flujo humedal.....	37
Tabla V Comparación entre humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal y vertical.	38
Tabla VI Contaminantes importantes de interés en el tratamiento de las aguas residuales .	42
Tabla VII Geometría recomendada para un desarenador de flujo horizontal.....	52
Tabla VIII Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación.....	52
Tabla IX Ventajas y desventajas de las eras o lechos de secado.....	57
Tabla X Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales horizontales.	63
Tabla XII Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.....	66
Tabla XIII Métodos y normas para los análisis físicos químicos y bacteriológicos del agua residual.....	75
Tabla XIV Categorización del impacto Ambiental.....	79
Tabla XV Datos para el cálculo de verificación de la velocidad.....	87
Tabla XVI Parámetros para el dimensionamiento de rejillas.....	90
Tabla XVII Valor de grado de sumersión.....	94
Tabla XVIII Fórmulas para evaluar el gasto.....	95
Tabla XIX Parámetros para el dimensionamiento del desarenador.....	97
Tabla XX Datos para el diseño del lecho de secado.....	101
Tabla XXI Resultado de la encuesta de Población y vivienda.....	106
Tabla XXII Resultado de la encuesta de Servicios Básicos.....	107
Tabla XXIII Resultados de la encuesta de Actividad Económica.....	111
Tabla XXIV Caracterización física, química y microbiológica de las Aguas Residuales .	113
Tabla XXV Registro de Caudal 1ER día.....	137
Tabla XXVI Registro de Caudal 2DO día.....	138
Tabla XXVII Registro de Caudal 3ER día.....	139
Tabla XXVIII Registro de Caudal 4TO día.....	140

Tabla XXIX Registro de Caudal del 5TO día.	141
Tabla XXX Registro de Caudal 6TO día.	142
Tabla XXXI Registro de Caudal 7MO día.	143
Tabla XXXII Dimensiones y capacidad de canales Parshall, para distintos anchos de Gargante (W)	144

INDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Vista planta de un sistema manual de rejillas con dos cámaras	46
Gráfico 2 Corte y vista planta de un medidor Parshall.....	49
Gráfico 3 Desarenador vista planta y corte longitudinal	51
Gráfico 4 Componentes utilizados para la medición del caudal.	74
Gráfico 5 Eliminación de excretas	108
Gráfico 6 Servicio de TvCable	109
Gráfico 7 Servicio de teléfono convencional	110
Gráfico 8 Telefonía Celular.....	110
Gráfico 9 Principales actividades Económicas.....	112
Gráfico 10 Caudal Vs Hora del primer día.....	137
Gráfico 11 Caudal Vs Hora del segundo día	138
Gráfico 12 Caudal vs Hora del Tercer día.....	139
Gráfico 13 Caudal vs Hora del cuarto día	140
Gráfico 14 Caudal vs Hora quinto día.....	141
Gráfico 15 Caudal vs Hora sexto día.....	142
Gráfico 16 Caudal vs Hora séptimo día.	143

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Estructura de la molécula de Agua	2
Figura 2 Ciclo del Agua	3
Figura 3 Características cualitativas de las Aguas Residuales Domésticas.....	4
Figura 4 Oxígeno disuelto consumido en función del tiempo.....	9
Figura 5 Vertedero con escotadura en V de 90°	16
Figura 6 Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas	22
Figura 7 Humedal artificial de flujo superficial.	23
Figura 8 Humedal subsuperficial de flujo horizontal (vista corte sección).....	24
Figura 9 Humedal subsuperficial de flujo vertical (vista corte sección).	26
Figura 10 Diagrama del metabolismo del nitrógeno.	33
Figura 11 Localización de la Provincia Orellana en el Ecuador	69
Figura 12 Ubicación del Centro Poblado de Tiputini dentro de la provincia de Orellana. ..	70
Figura 13 Ubicación del Colector Común de las Aguas Residuales.	71

INDICE DE ANEXOS

Anexo I Registro de los caudales durante los 7 días de monitoreo	137
Anexo II Tablas para el dimensionamiento del canal Parshall.....	144
Anexo III Formato de las tablas para la realización de la encuesta.....	145
Anexo IV Hoja de revisión de muestreo, Cadena de Custodia.	146
Anexo V Registro fotográfico de las actividades de estudio.....	147
Anexo VI Informes de Ensayo de la Caracterización de las Aguas residuales	152
Anexo VII Planos de la planta de tratamiento para las aguas residuales del centro poblado de Tiputini.	154

RESUMEN

En la presente investigación se realizó el Diseño de una planta de tratamiento para el agua residual generada por el centro poblado de Tiputini en el Cantón Aguarico de la Provincia de Orellana.

La investigación se llevó a cabo mediante el método descriptivo y cuantitativo, dando lugar a la caracterización física, química y microbiológica del Agua Residual, misma que se realizó mediante un muestreo simple y compuesto, utilizando envases ámbar y frascos estériles, guantes, mascarilla, cooler, etiquetas; analizándose parámetros de Potencial Hidrogeno (7.23), Coliformes Fecales ($2.14 \cdot 10^7$ UFC), Solidos Suspendidos (120.2 mg/L), Solidos Totales (808.71 mg/L), Solidos Sedimentables (34 mg/L), Sulfatos (9.5 mg/L), Nitritos (0.03 mg/L), Nitratos (8.73 mg/L), Fosfatos (7.84 mg/L), DQO (436.05 mg/L), DBO₅ (244.4 mg/L), Grasas Aceites (12.72 mg/L) y Tensoactivos (5.36 mg/L). Con el método volumétrico se obtuvo un caudal promedio para el diseño de 117.465m³/día.

La selección del sistema de tratamiento se realizó mediante las recomendaciones técnicas para pequeñas poblaciones y conocido el grado de carga contaminante del afluente, escogiéndose para el diseño un Canal de llegada, canaleta Parshall, Rejillas, Desarenador, Lecho de secado y Laguna artificial de flujo subsuperficial.

Las dimensiones para las unidades de tratamiento son: El canal de llegada de dimensiones: L= 1.5m, A= 0.5m h= 0.61m; Rejilla: L_{varilla}= 0.74m, e_{varilla}= 12mm, n_{varillas}= 14; Canal Parshall: L= 1.52m, W= 0.15m, A= 0.39, h= 0.62m; Desarenador: L= 2.5m, A= 0.7m, h= 0.7 - 0.8m, Lechos de secado (4 unidades): L= 2.5m, A= 1.83m, h= 0.6-1m; Laguna Artificial (2): L= 43.62m, A= 21.75m, h= 0.7 – 0.9m. La cual está diseñada para 20 años y con una eficiencia en remoción de carga contaminante del 85%.

Se recomienda al Gobierno Municipal del Cantón Aguarico la implantación de la planta de tratamiento con la finalidad de mitigar el impacto ambiental por las aguas residuales.

SUMMARY

In the present research work, it was developed the Design of a sewage treatment plant generated by Tiputini village at Aguarico canton in Orellana province.

The research was carried out through the descriptive and qualitative methods for obtaining the physical, chemical and microbiological characterization of Wasted Water, which was done by means of a simple and composed sampling, using amber containers and sterile vases, gloves, mask, cooler, labels; analyzing thus parameters of Potential Hydrogen (7.23), Fecal Coliforms (2.14×10^7 UFC), Suspended Solids (120.2 mg/L), Total Solids (808.71 mg/L), Sedimentable Solids (34 mg/L), Sulfates (9.5 mg/L), Nitrites (0.03 mg/L), Nitrates (8.73 mg/L), Phosphates (7.84 mg/L), DQO (436.05 mg/L), DBO_5 (244.4 mg/L), Fats Oils (12.72 mg/L) y Surfactants (5.36 mg/L). By the use of the volumetric method it was obtained an average flow of $117.465 \text{ m}^3/\text{day}$ for the design.

The selection of the treatment system was done based upon the technical recommendations for small counties and by getting the pollutant charge degree of the affluent, choosing for the design an Arriving channel, a Parshall gutter, a grid, desander, a drying bed and an artificial lagoon of sub superficial flow.

The dimensions for the treatment units are: The dimension arriving channel: $L= 1.5\text{m}$, $A= 0.5\text{m}$ $h= 0.61\text{m}$; Grid: $L_{\text{rod}}= 0.74\text{m}$, $e_{\text{rod}}= 12\text{mm}$, $n_{\text{rod}}= 14$; Parshall channel: $L= 1.52\text{m}$, $W= 0.15\text{m}$, $A= 0.39$, $h= 0.62\text{m}$; Desander: $L= 2.5\text{m}$, $A= 0.7\text{m}$, $h= 0.7 - 0.8\text{m}$, Drying beds (4 units): $L= 2.5\text{m}$, $A= 1.83\text{m}$, $h= 0.6-1\text{m}$; Artificial lagoon (2): $L= 43.62\text{m}$, $A= 21.75\text{m}$, $h= 0.7 - 0.9\text{m}$. Which has been designed for 20 years and an efficiency in pollutant charge removal of 85%.

It is recommended to the Municipal Government of Aguarico canton the implementation of the treatment plant which aims to reduce the environmental impact caused by wasted water.

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso renovable, ya que es parte de un ciclo natural continuo e interminable. Sin embargo, se puede contaminar por las actividades humanas y volverse no útil para muchos de sus propósitos e, incluso, volverse nociva para los seres vivos que la utilizan. La contaminación del agua es un problema que se da en todos los niveles y lugares del mundo, y está muy relacionado con la contaminación del aire y con el modo en que el hombre utiliza los recursos de la Tierra.

La calidad de las aguas se ve afectada por las diferentes actividades tanto naturales como antropogénicas, las que más alteran la composición natural de este recurso, ya que con el tiempo estos sistemas han sido capaces de depurar las aguas servidas de manera natural, pero esto se vio imposible debido al crecimiento de la población con lo que la cantidad y concentración de contaminación que se descargaba a los cuerpos receptores era muy elevada, provocando la saturación y pérdida de esta capacidad depuradora de los cuerpos de agua.

El vertido directo de las aguas residuales tanto domésticas como industriales a los cuerpos superficiales conlleva a un problema tanto ambiental como de salud y seguridad pública debido a los compuestos orgánicos, inorgánicos y microorganismos patógenos que se disuelven en el agua generándose de esta manera una fuente causante de enfermedades para la población que usa este recurso como líquido vital.

El uso del agua como recurso económico y la causa de sequías, la escasez debido al desvío de los caudales hídricos y la poca disponibilidad para el desarrollo de la vida han constituido un cambio a los planteamientos de aguas, que han tenido que evolucionar desde una simple satisfacción en cantidad de las demandas, hacia una gestión que contempla la calidad del recurso y la protección del mismo como garantía de un abastecimiento futuro y de un desarrollo sostenible.

El diseño de un sistema de tratamiento para aguas residuales se inicia por los estudios de caracterización física, química y microbiológica, así como también de la frecuencia con

la que son vertidos y de su posible reducción. La reutilización de diferentes volúmenes de agua y ahorrar en el consumo puede significar que la depuración de las AR es suficiente.

El dimensionamiento de una planta de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales tiene una serie de factores que involucran un impedimento en el diseño, desempeño y confiabilidad de las unidades de tratamiento, para lo cual es necesario medir caudales y las cargas contaminantes de diseño. Para la selección de las unidades de tratamiento adecuadas se consideran aspectos económicos, sociales, ambiental cumpliendo así con la normativa ambiental vigente referente a parámetros aceptables para un efluente.

La implementación de un sistema de tratamiento sería una gran alternativa mitigadora que solucione la contaminación de las fuentes hídricas receptoras, contribuyendo a la protección de la salud pública y la conservación del ambiente; respetando de esta manera lo que se establece en el Título II, Capítulo Segundo, Sección Segunda; Art. 14 de la Constitución Ecuatoriana, en el que se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay.

En el Ecuador existen muchos estudios sobre la contaminación que provocan las aguas residuales que se vierten en los cuerpos de agua, una de las empresas pioneras en este tipo de estudios y la que se ha preocupado por remediar de una manera eficaz esta problemática es la Empresa Municipal Pública de Telecomunicaciones, Agua Potable y Saneamiento del Cantón Cuenca – ETAPA, la misma que tiene implementado un sistema continuo de tratamiento de sus aguas residuales previo a la descarga a los cuerpos de agua receptores; así como también realizan un permanente monitoreo de la calidad del agua de los ríos desde donde se originan hasta aguas abajo del cauce de los mismos.

El centro poblado Tiputini, cabecera parroquial de Tiputini y cabecera cantonal de Aguarico, con una población actual de 776 habitantes cuenta con un sistema de alcantarillado sanitario en todo el área urbana misma que es dirigido hacia un colector

común que se las descarga al Río Napo, mismo que atraviesa el centro poblado, provocando un gran impacto visual y ambiental a la rivera de este río.

El gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Aguarico a través del Departamento de Alcantarillado y Agua Potable, preocupados por el impacto negativo que provoca a la ciudadanía busca solucionar este problema ambiental con el diseño e implementación de una planta para el tratamiento de las aguas residuales.

En la presente investigación se realizaron mediciones del caudal en el colector común del sistema de alcantarillado; en la caracterización del agua residual se seleccionó los parámetros de diseño tanto de campo y de laboratorio y se procedió al diseño de un adecuado sistema de tratamiento que incluye: canal de llegada, rejilla, canal de parshall, desarenador, lecho de secado y pantano artificial de flujo subsuperficial.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL.

- Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para el centro poblado de la parroquia Tiputini del cantón Aguarico en la provincia de Orellana

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

- Determinar el caudal de aguas residuales generado actualmente en el centro poblado de la parroquia Tiputini.
- Caracterizar los parámetros físicos, químicos y microbiológicos de los efluentes de aguas residuales generados en el centro poblado
- Realizar el dimensionamiento a nivel de los planos de la planta de tratamiento de las aguas residuales para el centro poblado de la parroquia Tiputini.

CAPITULO I

MARCO TEORICO

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 EL AGUA

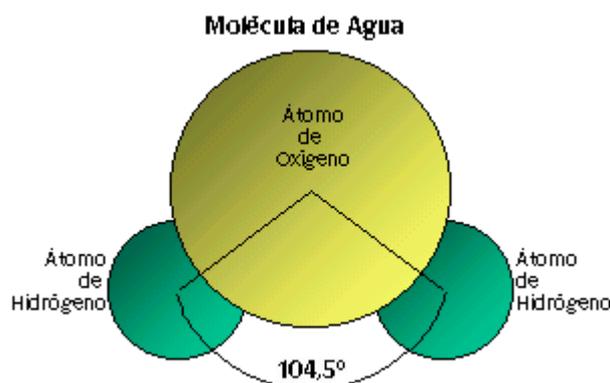
El agua es uno de los recursos naturales más importantes e indispensables para todas las formas de vida, entre estas nosotros los seres humanos. El agua reúne una serie de características que la convierten en un disolvente único e insustituible en la biosfera.

En cuanto a las propiedades físicas del agua, hay que destacar: El amplio margen de temperaturas en que permanece en fase líquida (0-100° C), La anómala variación de la densidad con la temperatura, Su elevada constante dieléctrica, Su carácter dipolar, Su calor específico y calor de vaporización elevados.

Con respecto a las propiedades químicas del agua, hay que señalar: Su gran capacidad de formación de enlaces de hidrógeno, Su capacidad de disociación.

Como muchos otros líquidos el agua puede existir en estado sobre enfriado, es decir, que puede permanecer en estado líquido aunque su temperatura esté por debajo de su punto de congelación, se puede enfriar fácilmente a unos -25 °C sin que se congele.

Figura 1 Estructura de la molécula de Agua



Fuente: El Agua, J.LL Sánchez

Hoy en día, el agua sigue formando parte importante de las plantas y los animales, aún de aquellos que viven en ambientes donde el agua es un recurso muy escaso, como serían los desiertos.

El agua constituye parte importante de la materia que forma los vegetales, animales y el ser humano.

En su estado puro, el agua es tanto inodora como insípida, sin embargo, cuando sustancias orgánicas o inorgánicas se disuelven en el agua, comienza a adquirir un color característico y, algunas veces, olor. (Chow, 1998)

1.1.1 CICLO DEL AGUA

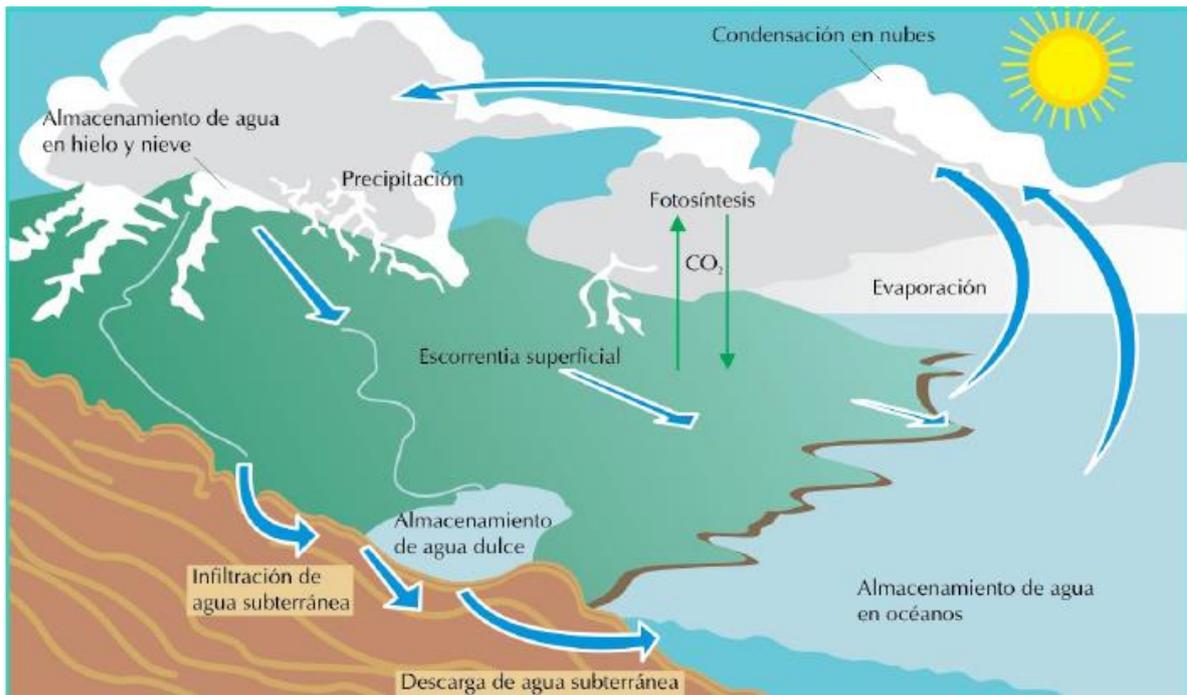
Existe un flujo continuo del agua conocido como ciclo del agua (o ciclo hidrológico).

Aunque como todo buen ciclo, el hidrológico no tiene un principio y un fin la evaporación del agua del mar y de las aguas superficiales de los ríos y lagos, y la transpiración de los seres vivos, son consideradas como su inicio.

Pequeñas partículas de agua a la atmósfera que, cuando se condensan sobre partículas de polvo, polen u otras superficies, forman las nubes (que son esencialmente vapor de agua) que luego son transportadas por el viento.

Cuando se da una combinación de saturación de humedad en el aire con una disminución de temperatura, el agua contenida en las nubes se libera en forma de lluvia, granizo o nieve y se deposita nuevamente en la superficie terrestre.

Figura 2 Ciclo del Agua



Fuente: United States Geological Survey (rediseñado)

1.2 AGUA RESIDUAL

1.2.1 CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Dentro de este concepto se incluyen aguas con diversos orígenes:

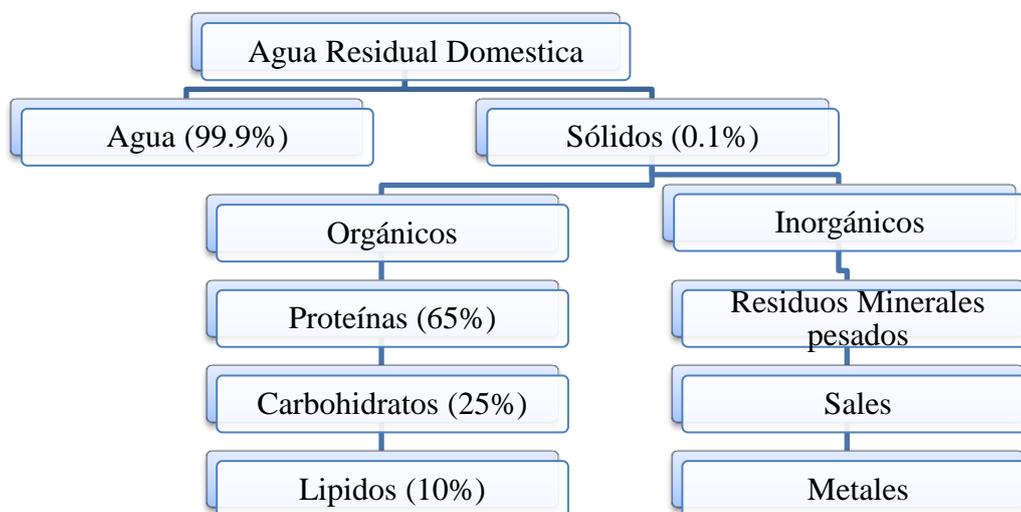
- Aguas residuales domésticas o aguas negras: proceden de las heces y orina humanas, del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas.

- Aguas blancas: pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son muy abundantes, éstas pueden de evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración.
- Aguas residuales industriales: proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales.
- Aguas residuales agrícolas: procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin un tratamiento previo. (García, 1985)

1.2.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Es importante la caracterización de las aguas residuales para establecer principalmente las cargas orgánicas y de sólidos que transportan, determinar efectos del vertimiento a cuerpos de agua y seleccionar las operaciones y procesos de tratamiento que resultarán más eficaces y económicos.

Figura 3 Características cualitativas de las Aguas Residuales Domésticas



Fuente: Metcalf & Eddy, 1995

1.2.2.1 Características Físicas.

Entre las principales características físicas presentes en el agua residual están la cantidad de sólidos presentes (suspendidos, sedimentables, disueltos), olor, temperatura, color, turbidez y densidad.

- **Sólidos Totales:** Se conoce como sólidos totales a la materia que se obtiene luego de que el agua ha sido sometida a evaporación ($103^{\circ}\text{C} - 105^{\circ}\text{C}$), descartando a la materia perdida durante este proceso, los sólidos sedimentables son aquellos que se sedimentan luego de que la muestra de agua residual ha estado en el cono de Imhoff.
- **Olor:** Por lo general los olores presentes en las aguas residuales son producto de los gases que se liberan en el proceso en el cual se descompone la materia orgánica, este olor producido es muy desagradable, el cual se debe principalmente a la presencia de sulfuro de hidrógeno (H_2S) el cual se genera al convertirse los sulfatos en sulfitos por acción de microorganismos anaeróbios, en las aguas residuales de origen industrial pueden existir otras características.
- **Temperatura:** La temperatura en las aguas residuales es un factor muy importante, por lo general la temperatura de esta agua son mayores que las del agua potable, esto se debe principalmente a que el calor específico del agua es significativamente mayor que el del aire, con excepción en las épocas en donde hay mucho calor, dependiendo de la geografía del sitio, la temperatura de las aguas residuales varía entre 10°C a 20°C , por lo que 15° que es el valor intermedio sería un valor representativo.
- **Color:** El color es un parámetro mediante el cual se pueden calificar las aguas residuales, lo que específicamente se refiere a la edad de la misma. En primera instancia el agua residual toma un color gris, sin embargo cuando las condiciones hacen que la presencia de oxígeno desaparezca esta agua va adquiriendo un color más oscuro hasta finalmente llegar a negra. Este color gris o negro por lo general se debe a la formación de sulfuros metálicos.
- **Turbidez:** La turbidez de un agua se debe a la presencia de materias en suspensión, finamente divididas; arcillas, limos, partículas de sílice, materias inorgánicas, entre otras. La determinación de la turbidez tiene un gran interés

como parámetro de control en aguas contaminadas y residuales. Se puede evaluar en el campo o en el laboratorio.

- **Densidad:** La densidad es un parámetro definido por la relación entre la masa y el volumen, se puede expresar en diversas unidades, teniendo como las más usuales kg/m^3 y g/cm^3 . De acuerdo a la densidad del agua residual se puede determinar la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación y demás instalaciones de tratamiento.

1.2.2.2 Características Químicas.

Básicamente las características químicas de las aguas residuales se las puede estudiar en tres partes que son: materia orgánica, materia inorgánica y los gases que se encuentran presentes en este tipo de aguas.

- **Materia Orgánica.-** De acuerdo a los sólidos presentes en una agua residual de concentración media se puede decir que aproximadamente el 75% de los sólidos suspendidos y el 40% de los sólidos filtrables son orgánicos, los cuales provienen en gran parte de plantas y animales, estos compuestos orgánicos están formados por la combinación de carbono, oxígeno e hidrógeno y en algunas ocasiones de nitrógeno. Los aceites y las grasas animales son compuestos de alcohol o glicerol y ácidos grasos. Las grasas en general alcanzan las aguas residuales en forma de mantequilla, manteca de cerdo, aceite vegetal, etc.
- **Carbono Orgánico Total (COT):** Es un método que sirve también para determinar la materia orgánica que se encuentra presente en el agua, se lo usa para concentraciones pequeñas de materia orgánica. El ensayo usado para determinar el COT se lo realiza inyectando una cantidad conocida de la muestra en un horno a temperatura elevada o en un medio de oxidación, por medio de un catalizador el carbono orgánico se oxida a anhídrido carbónico.
- **Demanda Teórica de Oxígeno (DTeO):** Por lo general la materia orgánica que componen las aguas residuales, proviene de combinaciones de carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno, los principales componentes de este tipo son los hidratos de carbono, proteínas y grasas, así como los productos que resultan de las descomposición de los mismos.

- **Materia Inorgánica.** Tanto aguas residuales como naturales constan de componentes inorgánicos, los cuales determinan la calidad de las mismas, las concentraciones de constituyentes inorgánicos aumentan debido al proceso de evaporación que elimina un porcentaje del agua superficial y deja las sustancias inorgánicas en el agua, existen algunos parámetros importantes que son necesarios analizar para entender mejor lo descrito anteriormente.
- **pH:** Este parámetro es de gran importancia que determina la calidad ya sea de aguas residuales como de aguas naturales, cuando un agua residual tiene una concentración inadecuada del ión hidrógeno presentará problemas con procesos biológicos y modificar la concentración de este ión hidrógeno en el sitio de descarga.
- **Cloruros:** Las aguas residuales ya sean de proveniencia doméstica o industrial poseen cloruros, de la misma forma las aguas naturales tienen cloruros provenientes de la disolución de suelos y rocas.
- **Nitrógeno:** El nitrógeno es un elemento esencial que sirve para el crecimiento de protistas y plantas, por lo que se le denomina también como nutriente, es así que cuando el contenido del mismo no es suficiente debe añadirse para que el agua residual sea tratable. El contenido total en nitrógeno está compuesto por nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato.
- **Fósforo:** Este elemento es fundamental para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos, por motivo de que en aguas superficiales existen grandes proliferaciones de algas es necesario encontrar una manera de limitar la cantidad de fósforo que alcanzan estas aguas, por medio de vertidos de aguas, así como de la escorrentía natural.
- **Azufre:** El azufre está presente tanto en el agua potable como en las aguas residuales, es necesario contar con él, para la síntesis de proteínas, el mismo que será liberado en la degradación de estas. Los sulfatos se reducen a sulfuros y a sulfuros de hidrógenos bajo la acción de bacterias en ausencia de oxígeno.
- **Gases** Dentro de los gases que están presentes en mayor proporción en las aguas residuales están el oxígeno, nitrógeno, dióxido de carbono, amoníaco, sulfuro de hidrógeno y metano.

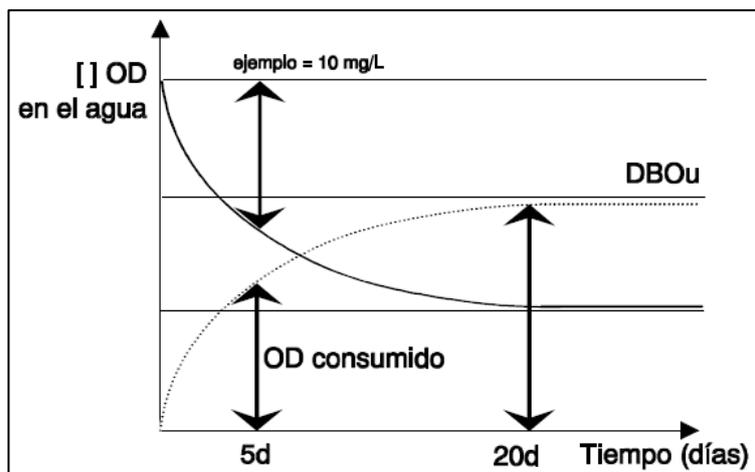
- **Oxígeno disuelto:** Este parámetro es muy importante para la respiración de los microorganismos aerobios y otras formas de vida, la cantidad de oxígeno y demás gases que puedan estar presentes en la solución está limitada a los siguientes factores: solubilidad del gas, presión parcial del gas en la atmósfera, temperatura y pureza del agua.
- **Metano:** Este gas resulta de la descomposición anaerobia de la materia orgánica presente en el agua residual, es un hidrocarburo combustible de gran valor energético, inodoro e incoloro.
- **Sulfuro de hidrógeno:** Este gas posee las propiedades de ser incoloro, inflamable, con un olor bastante desagradable, el oscurecimiento del agua residual se debe por lo general a la formación de Sulfuro de Hidrógeno el cual se combina con el hierro presente para formar Sulfuro Ferroso y otros sulfuros metálicos.(Crites, 2000).

1.2.2.3 Características Biológicas.

Los principales parámetros biológicos de las aguas residuales son los siguientes: microorganismos biológicos, organismos patógenos presentes y ensayos de toxicidad.

- **Microorganismos:** Los principales grupos de microorganismos presentes en aguas, ya sean residuales o superficiales se clasifican en organismos eucariotas, eubacterias y arqueobacterias, la mayor parte de los organismos pertenecen a las eubacterias. La categoría protista, dentro de los organismos eucariotas incluye algas, protozoos y hongos, los animales vertebrados e invertebrados se los conoce como eucariotas multicelulares. Los virus presentes en el agua residual se clasifican en función del sujeto infectado.
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Es el parámetro que más se emplea en lo que a contaminación se refiere, tanto para aguas superficiales como residuales es la DBO₅ que es la demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días, su determinación se relaciona con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica.

Figura 4 Oxígeno disuelto consumido en función del tiempo



Fuente: Metcalf & Eddy, 1995

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Este ensayo se lo utiliza para efectuar la medición de materia orgánica de aguas superficiales como de las residuales, en este ensayo se usa un agente químico oxidante en medio ácido que sirve para determinar el equivalente de oxígeno de la materia orgánica que pueda oxidarse.
- **Organismos Patógenos:** Estos organismos están presentes en las aguas residuales y pueden proceder de desechos humanos infectados o que tengan cierta enfermedad. Entre las enfermedades típicas que causan los organismos patógenos están la tifoidea, diarrea y cólera.

Los organismos patógenos están presentes en las aguas residuales en cantidades pequeñas y resultan difíciles de identificar, razón por la cual se emplea el *organismo coliforme* como indicador ya que su presencia es mayor y de fácil comprobación.

Los seres humanos evacuan entre 100000 y 400000 millones de organismos coliformes diariamente, es por eso que la presencia de coliformes puede dar como resultado la presencia de patógenos. (Metcalf & Eddy, 1995.)

Tabla I Agentes infecciosos potencialmente presentes en el agua residual doméstica bruta.

Organismo	Enfermedad	Comentario
Bacteria		
<i>Escherichia coli</i> (entero patogénica)	Gastroenteritis	Diarrea
<i>Legionella pneumophila</i>	Legionelosis	Enfermedades respiratorias
<i>Leptospira</i> (150esp.)	Leptospirosis	Leptospirosis, fiebre (Enfermedad de Weil)
<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea	Fiebre alta, diarrea, úlceras en el intestino delgado.
<i>Salmonella</i> (1700 esp)	Salmonelosis	Envenenamiento de alimentos.
<i>Shigella</i> (4esp.)	Shigelosis	Disentería bacilar
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera	Diarreas extremadamente fuertes, deshidratación
<i>Yersinia enterolítica</i>	Yersinosis	Diarrea
Virus		
<i>Adenovirus</i>	Enfermedades respiratorias	
<i>Enterovirus</i>	Gastroenteritis	
<i>p.e. polio, eco y virus (Coxsackie)</i>	Anomalías cardíacos, meningitis	
<i>Hepatitis A</i>	Hepatitis infecciosas	Leptospirosis, fiebre
<i>Agente Norwalk</i>	Gastroenteritis	Vómitos
<i>Reovirus</i>	Gastroenteritis	
<i>Rotavirus</i>	Gastroenteritis	
Protozoos		
<i>Balantidium coli</i>	Balantidiasis	Diarrea, disentería
<i>Cryptosporidium</i>	Criptosporidiosis	Diarrea
<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebiasis (disentería amébrica)	Diarreas prolongadas con sangre, abscesos en el hígado y en el intestino delgado.
<i>Giardia lamblia</i>	Giardiasis	Diarrea, nauseas, indigestión.

Helmintos		
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis	Infestación de gusanos
<i>Enterobius vericularis</i>	Enterobiasis	Gusanos
<i>Fasciola hepática</i>	Fascioliasis	Gusanos (tercera)
<i>Hymenolepis nana</i>	Hymealepiasis	Tenia enana
<i>Taeniasaginata</i>	Teniasis	Tenia (buey)
<i>T. solium</i>	Teniasis	Tenia (cerdo)
<i>Trichuristrichiura</i>	Trichuriasis	Gusanos

Fuente: Metcalf & Eddy. 1995.

1.2.2.4 Características Cuantitativas

1.2.2.5 Variación del Caudal

De modo general, en los caudales de las aguas residuales ocurren variaciones horarias (con las horas del día), diarias (con los días de la semana) y cíclicas (con las estaciones del año), de acuerdo con los usos y las costumbres de la población, además de la temperatura y la precipitación atmosférica de la región.

1.2.2.5.1 Caudales de diseño

Cuando exista información disponible de los caudales de aguas servidas, se deberá analizar por lo menos lo correspondiente a los dos últimos años.

- **Caudal promedio diario.-** el caudal promedio que ocurre durante un periodo de 24 horas, basado en la información del caudal total del año. El caudal promedio es usado para evaluar la capacidad de las plantas de tratamiento y para desarrollar los caudales usados en diseño. El caudal promedio también es usado para estimar parámetros tales como costos de bombeo y de químicos, lodos y tasa de descarga de orgánicos.

$$Q \left(\frac{m^3}{d} \right) = \frac{\text{poblacion (hab)} \times \text{dotacion} \left(\frac{L}{\text{hab.d}} \right)}{1000 \left(\frac{L}{m^3} \right)} \quad \text{Ecuación 1}$$

- **Caudal máximo diario.**- el caudal máximo que ocurre durante un periodo de 24 horas, basado en la información del caudal total del año. El caudal máximo que puede llegar a planta se puede estimar como mayoración del caudal punta en 1,5 a 2,5 veces. El caudal máximo diario es usado para diseñar las unidades de tratamiento que involucran el tiempo de retención tales como lagunas de sedimentación y tanques de clorificación.
- **Caudal pico horario.**- el pico de flujo ocurrido diariamente basado en la información del caudal total del año. El caudal pico es usado para diseñar las unidades de conducción, los interceptores, las estaciones bombeo, los medidores de flujo, cámaras de rejillas, tanques de sedimentación, tanques de clorificación y conductos y rejillas en las plantas de tratamiento.

$$Q_p = Q_{med} \times (1.5 - 2.5) \quad \text{Ecuación 2}$$

Si no se disponen de datos suficientes de caudales, se pueden emplear los siguientes criterios:

- Para comunidades pequeñas: 4 veces el caudal medio diario
- Para comunidades grandes: 1,5 veces el caudal medio diario.

Puede calcularse mediante una fórmula empírica que, a título orientativo, proporciona datos bastante fiables:

$$Q_p = Q_{med} \times \left[1.15 + \frac{2.575}{(Q_{med})^{\frac{1}{4}}} \right] \quad \text{Ecuación 3}$$

- **Caudal mínimo diario.**- el caudal mínimo que ocurre durante un periodo de 24 horas, basado en la información del caudal total del año. El caudal mínimo diario

es usado para diseñar las unidades de conducción donde existe asentamiento de sólidos cuando existen caudales bajos de aguas servidas.

Si no se disponen de suficientes datos de caudales se pueden emplear los siguientes criterios:

- Para comunidades pequeñas: 30% del caudal medio diario
- Para comunidades grandes: 50% del caudal medio diario
- **Mínimo caudal horario.**- el mínimo caudal ocurrido diariamente basado en la información del caudal total del año. El mínimo caudal horario es usado para determinar los efectos posibles en el proceso y para definir las dimensiones de los medidores de flujo particularmente aquellos de dosificación automática de químicos. (Metcalf & Eddy, 1995)

Hay aún otra fracción de contribución de las aguas residuales que puede adicionarse a los caudales: mínimo, medio y máximo; las aguas pluviales por lo general encaminadas indebidamente a los colectores prediales, además de las que penetran en la red de alcantarillado a través de los tampones de los pozos de registro, de lanzamientos clandestinos, etc., aumentando considerablemente los caudales estimados en los diseños. (Rigola, 1998).

1.2.3 MEDICIÓN DE CAUDALES

El procedimiento empleado para la medición de caudales en cualquier sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas o industriales es de gran importancia, por consiguiente deben poseer dispositivos para la medición de caudal, tanto en la entrada como a la salida.

El análisis y diseño de unidades para reducir o eliminar constituyentes presentes en aguas residuales involucra la consideración de los factores que afectarán el dimensionado, el desempeño y la confiabilidad de estas instalaciones. Las etapas iniciales de un proyecto, tales como la planeación de instalaciones, las fases de diseño conceptual y preliminar, se

consideran por ser factor crítico en el éxito del proceso final de análisis y diseño. Durante estas fases se determinan los caudales y cargas de diseño, se lleva a cabo la selección de los procesos, se desarrollan, refinan y establecen los criterios de diseño, se examinan los puntos relacionados con la evaluación de riesgos y confiabilidad del proceso, y se distribuyen físicamente los elementos de la planta.

Los principales tipos de medidores usados son los vertederos proporcionales, el medidor Parshall, el medidor Venturi, los vertederos rectangulares y triangulares. (Cargua. 2009).

1.2.3.1 Métodos Volumétricos

La forma más sencilla de calcular los caudales pequeños es la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido.

Para los caudales de más de 4 L/s, es adecuado un recipiente de 10 litros de capacidad. Para caudales mayores, un recipiente de 200 litros puede servir para corrientes de hasta 50 L/s.

1.2.3.2 Método Velocidad/Superficie

Este método depende de la medición de la velocidad media de la corriente y del área de la sección transversal del canal. Una forma sencilla de calcular la velocidad consiste en medir el tiempo que tarda un objeto flotante en recorrer, corriente abajo, una distancia conocida.

1.2.3.3 Fórmulas empíricas para calcular la velocidad

La velocidad del agua que se desliza en una corriente o en un canal abierto está determinada por varios factores.

- **El gradiente o la pendiente.** Si todos los demás factores son iguales, la velocidad de la corriente aumenta cuando la pendiente es más pronunciada.

- **La rugosidad.** El contacto entre el agua y los márgenes de la corriente causa una resistencia (fricción) que depende de la suavidad o rugosidad del canal.
- **Forma.** Los canales pueden tener idénticas áreas de sección transversal, pendientes y rugosidad, pero puede haber diferencias de velocidad de la corriente en función de su forma. La razón es que el agua que está cerca de los lados y del fondo de una corriente se desliza más lentamente a causa de la fricción; un canal con una menor superficie de contacto con el agua tendrá menor resistencia fricción y, por lo tanto, una mayor velocidad.

El parámetro utilizado para medir el efecto de la forma del canal se denomina radio hidráulico del canal. Se define como la superficie de la sección transversal dividida por el perímetro mojado, o sea la longitud del lecho y los lados del canal que están en contacto con el agua.

Todas estas variables que influyen en la velocidad de la corriente se han reunido en una ecuación empírica conocida como la fórmula de Manning, tal como sigue:

$$V = \frac{R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

V= velocidad media de la corriente, m/s

R = el radio hidráulico, m

S = pendiente media del canal, m/m

n = coeficiente de Manning.

1.2.4 VERTEDEROS DE AFORO

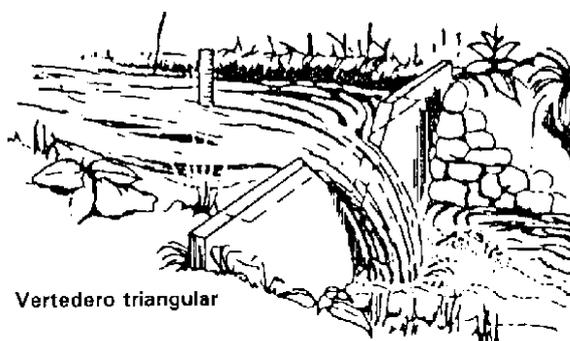
La medición del caudal de las corrientes naturales nunca puede ser exacta debido a que el canal suele ser irregular y por lo tanto es irregular la relación entre nivel y caudal.

1.2.4.1 Vertederos de pared aguda

Los dos tipos más comunes son el vertedero triangular (con escotadura en V) y el vertedero rectangular. Debe haber una poza de amortiguación o un canal de acceso aguas arriba para calmar cualquier turbulencia y lograr que el agua se acerque al vertedero lenta y suavemente. Para tener mediciones precisas el ancho del canal de acceso debe equivaler a ocho veces al ancho del vertedero y debe extenderse aguas arriba 15 veces la profundidad de la corriente sobre el vertedero. El vertedero debe tener el extremo agudo del lado aguas arriba para que la corriente fluya libremente.

Para determinar la profundidad de la corriente a través del vertedero, se instala un medidor en la poza de amortiguación en un lugar en el que se pueda leer fácilmente. El cero del medidor fija el nivel en el punto más bajo de la escotadura. El medidor debe instalarse bastante detrás de la escotadura para que no se vea afectado por la curva de descenso del agua a medida que el agua se acerca a la misma. (Parshall, 1950)

Figura 5 Vertedero con escotadura en V de 90°



Fuente: Deposito de Documentos de la FAO

1.2.5 CONCEPTO.

Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos.

Según su origen, las aguas residuales resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos transportados por el agua que proviene de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como de las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que también pueden agregarse eventualmente al agua residual.

1.2.6 EVALUACIÓN Y DETERMINACIÓN DE FLUJOS DE DISEÑO

El proceso de evaluar y determinar los flujos de diseño hacen necesario obtener flujos medios basados en la población actual y las predicciones de la población futura, la contribución de las aguas industriales y la influencia de la infiltración y las aportaciones incontroladas. Una vez determinados los flujos medios, se multiplican por una serie de factores de punta, para obtener los caudales punta del proyecto.

Tanto para obtención de los flujos medios como de los factores de punta, es necesario obtener en cuenta los siguientes factores:

- Obtención y predicción futura de los flujos medios diarios
- Criterios empleados para la elección de los factores de punta
- Aplicación de los factores de punta y del caudal mínimo.
- Elementos de control de flujos de punta existentes de aguas arriba de la planta que puedan afectar al diseño de misma. (Metcalf & Eddy, 1995.)

Tabla II Aplicaciones de los flujos de Diseño.

FACTOR	APLICACIÓN
Basado en el caudal	
Hora punta	Dimensionamiento de las instalaciones de bombeo y de las conducciones; dimensionamiento de rejillas. Dimensionamiento de las operaciones físicas unitarias; desarenadores tanques de sedimentación y filtros; tanques de

	coloración
Máximo diario	Dimensionamiento del bombeo de fangos
Mayor que el máximo diario	Almacenamiento de áreas y residuos eliminados en el proceso de tamizado
Máximo semanal	Elaboración de registros de datos e informes
Máximo mensual	Elaboración de registro de datos e informes, dimensionamiento de los depósitos de almacenamiento de los productos químicos
Mínimo horario	Para los grupos de motobombas y valor inferior del intervalo de medida del caudalímetro de la planta.
Mínimo diario	Dimensionamiento de los canales de interconexión y dimensionamiento de los sistemas de recirculación para filtros percoladores
Mínimo mensual	Elección del número mínimo de unidades de proceso necesarias durante los periodos de caudales reducidos.
Basado en la carga contaminante	
Máximo diario	Dimensionamiento de las unidades de tratamiento biológico
Mayor que el máximo diario	Dimensionamiento de los sistemas de espesamiento y deshidratación de fangos
Basado en el caudal	Dimensionamiento de las unidades de tratamiento de fango
Mínimo mensual	Dimensionamiento de las instalaciones de almacenamiento de fango, dimensionamiento de las instalaciones de compostaje.
Mínimo mensual	Necesidad de paro del proyecto
Máximo diario	Dimensionamiento del sistema de recirculación en filtros percoladores.

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995

1.2.6.1 Factor de Punta, Fp

Debido a la dificultad de comparar los valores numéricos de caudales máximos para diferentes plantas de tratamiento de agua residual, se recurre a la normalización de los

caudales mediante la utilización de un parámetro conocido como factor de punta. Al dividir los valores de los caudales máximos por el caudal promedio. (Crites 2000)

A esta relación, entre el caudal máximo y el medio se define como F_p , expresado en la siguiente ecuación:

$$F_p = \frac{Q_{max}}{Q_{sm}} \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

F_p = factor punta

Q_{max} = caudal máximo, l/s

Q_{sm} = caudal sanitario medio, l/s

1.3 LOS HUMEDALES ARTIFICIALES

Los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración de aguas residuales. El sistema 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.

El tratamiento de aguas residuales para depuración se lo realiza mediante sistemas que tienen tres partes principales: recogida, tratamiento y evacuación al lugar de restitución (Fernández, 2004).

Los humedales construidos se han utilizado para tratar una amplia gama de aguas residuales:

- Aguas domésticas y urbanas.
- Aguas industriales, incluyendo fabricación de papel, productos químicos y farmacéuticos, cosméticos, alimentación, refinerías y mataderos entre otros.
- Aguas de drenaje de extracciones mineras.

- Aguas de escorrentía superficial agrícola y urbana.
- Tratamiento de fangos de depuradoras convencionales, mediante deposición superficial en humedales de flujo subsuperficial donde se deshidratan y mineralizan (García *et al.*, 2004).

Los humedales eliminan contaminantes mediante varios procesos que incluyen sedimentación, degradación microbiana, acción de las plantas, absorción, reacciones químicas y volatilización (Stearman *et al.*, 2003). Reemplazan así el tratamiento secundario e inclusive, bajo ciertas condiciones, al terciario y primario de las aguas residuales.

El funcionamiento de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos: la actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de los vegetales, además de servir como material filtrante. En conjunto, estos elementos eliminan materiales disueltos y suspendidos en el agua residual (Reed en Kolb, 1998) y biodegradan materia orgánica hasta mineralizarla y formar nuevos organismos (Hu en Kolb, 1998).

Los humedales tienen tres funciones básicas que les confieren atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales: fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica, utilizan y transforman los elementos por medio de los microorganismos y logran niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento (Lara, 1999).

La fitodepuración, en este caso, se refiere a la depuración de aguas contaminadas por medio de plantas superiores (macrófitas) en los humedales o sistemas acuáticos, ya sean éstos naturales o artificiales. El término macrófitas, dado su uso en el lenguaje científico, abarca a las plantas acuáticas visibles a simple vista, incluye plantas acuáticas vasculares, musgos, algas y helechos (Fernández *et al.*, 2004). Constituyen “fitosistemas”, porque emplean la energía solar a través de la fotosíntesis. Básicamente, se trata de captar la luz solar y transformarla en energía química, que es usada en su metabolismo para realizar

funciones vitales. Al realizar la planta sus funciones vitales, colabora en el tratamiento de las aguas.

1.3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES

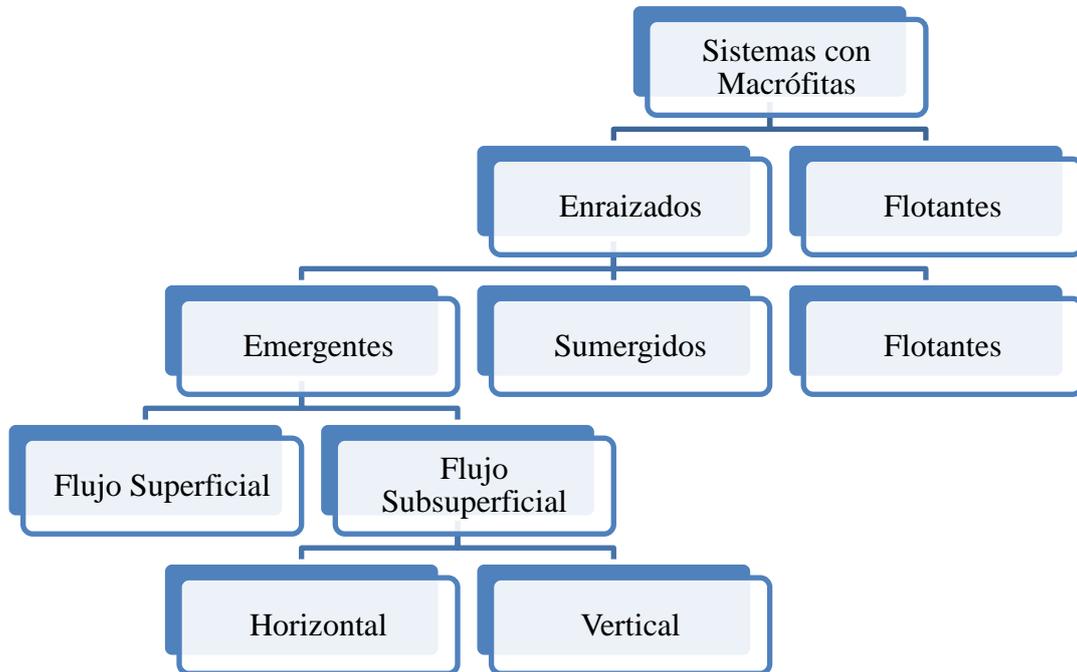
Los humedales artificiales pueden ser clasificados según el tipo de macrófitas que empleen en su funcionamiento: macrófitas fijas al sustrato (enraizadas) o macrófitas flotantes libres.

Considerando la forma de vida de estas macrófitas, los humedales artificiales pueden ser clasificados en:

- *Sistemas de tratamiento basados en macrófitas de hojas flotantes:* Principalmente angiospermas sobre suelos anegados. Los órganos reproductores son flotantes o aéreos. El jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna sp.*) son las especies más utilizadas para este sistema.
- *Sistemas de tratamiento basados en macrófitas sumergidas:* comprenden algunos helechos, numerosos musgos y carófitas y muchas angiospermas. Se encuentran en toda la zona fótica (a la cual llega la luz solar), aunque las angiospermas vasculares sólo viven hasta los 10 m de profundidad aproximadamente. Los órganos reproductores son aéreos, flotantes o sumergidos.

En la figura 6 sintetizamos los distintos tipos de humedales artificiales:

Figura 6 Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas.



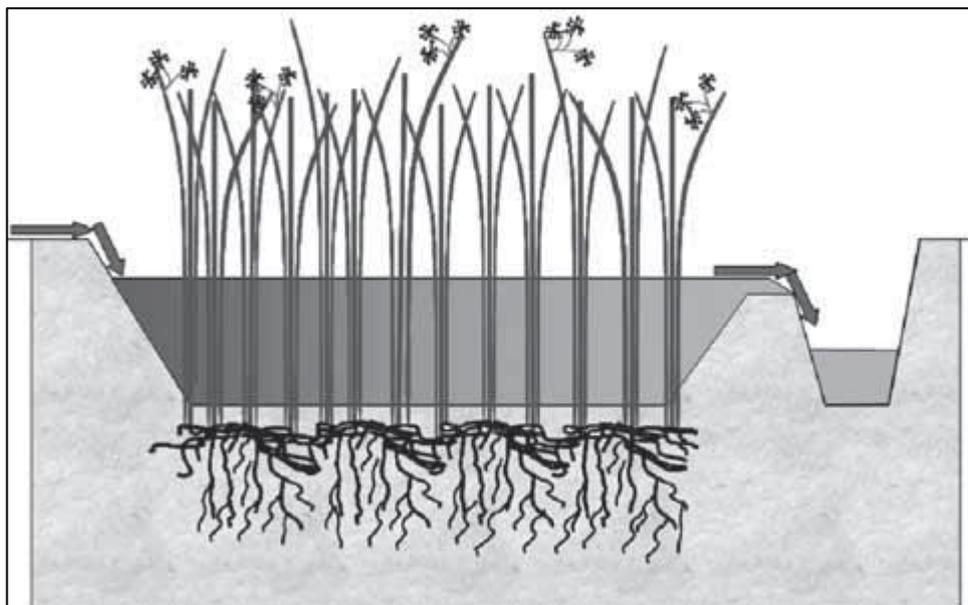
Fuente: Delgadillo & Camacho, 2010

A continuación desarrollaremos las características de los humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial, basados en macrófitas enraizadas emergentes, por ser los que interesan en nuestro caso.

1.3.1.1 Humedales artificiales de flujo superficial

Los sistemas de flujo superficial (conocidos en inglés como *surface flow constructed wetlands* o *free water surface constructed wetlands*) son aquellos donde el agua circula preferentemente a través de los tallos de las plantas y está expuesta directamente a la atmósfera. Este tipo de humedales es una modificación al sistema de lagunas convencionales. A diferencia de éstas, tienen menor profundidad (no más de 0,6 m) y tienen plantas (figura 7).

Figura 7 Humedal artificial de flujo superficial.



Fuente: Delgadillo & Camacho, 2010

En términos de paisaje, este sistema es bastante recomendable por su capacidad de albergar distintas especies de peces, anfibios, aves, etcétera. Pueden constituirse, en lugares turísticos y en sitios de estudio de diferentes disciplinas por las complejas interacciones biológicas que se generan y establecen.

1.3.1.2 Humedales de flujo subsuperficial

Los sistemas de flujo subsuperficial (conocidos en inglés como *subsurface flow constructed wetlands*), se caracterizan por que la circulación del agua en los mismos se realiza a través de un medio granular (subterráneo), con una profundidad de agua cercana a los 0,6 m. La vegetación se planta en este medio granular y el agua está en contacto con los rizomas y raíces de las plantas. Los humedales de flujo subsuperficial pueden ser de dos tipos: (a) en función de la forma de aplicación de agua al sistema: humedales de flujo subsuperficial horizontal y (b) humedales de flujo subsuperficial vertical.

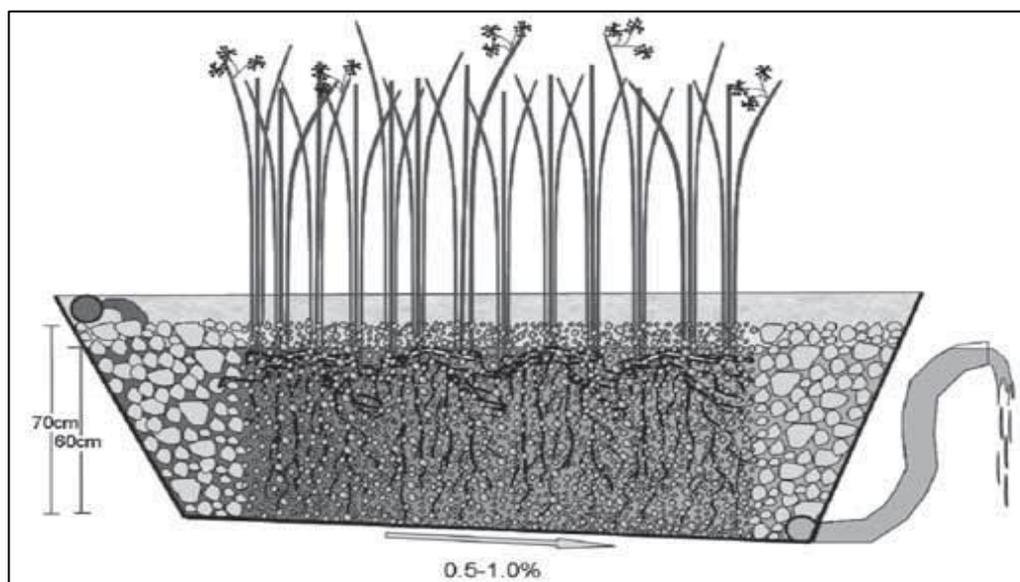
1.3.1.2.1 Humedales subsuperficiales de flujo horizontal.

Son los sistemas más utilizados en Europa y tienen su origen en la investigación de Seidel (1967) y Kickuth (1977). El diseño de estos sistemas por lo general consiste en una cama, ya sea de tierra o arena y grava, plantada con macrófitas acuáticas, en la mayoría de los casos con la caña común o carrizo (*Phragmites australis*). Toda la cama es recubierta por una membrana impermeable para evitar filtraciones en el suelo (Kolb, 1998).

El agua ingresa en forma permanente. Es aplicada en la parte superior de un extremo y recogida por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior.

El agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso (flujo pistón). La profundidad del lecho varía entre 0,45 m a 1 m y tiene una pendiente de entre 0,5 % a 1 % (figura 8).

Figura 8 Humedal subsuperficial de flujo horizontal (vista corte sección).



Fuente: Delgadillo & Camacho, 2010

El agua residual no ingresa directamente al medio granular principal (cuerpo), sino que existe una zona de amortiguación generalmente formada por grava de mayor tamaño.

El sistema de recogida consiste en un tubo de drenaje cribado, rodeado con grava de igual tamaño que la utilizada al inicio. El diámetro de la grava de ingreso y salida oscila entre 50 mm a 100 mm.

La zona de plantación está constituida por grava fina de un solo diámetro, en entre 3 mm a 32 mm.

Es fundamental que el agua residual que ingresa al sistema se mantenga en un nivel inferior a la superficie (5-10 cm), lo cual se logra regulando el nivel del dispositivo de salida en función a este requerimiento.

1.3.1.2.2 Humedales subsuperficiales de flujo vertical

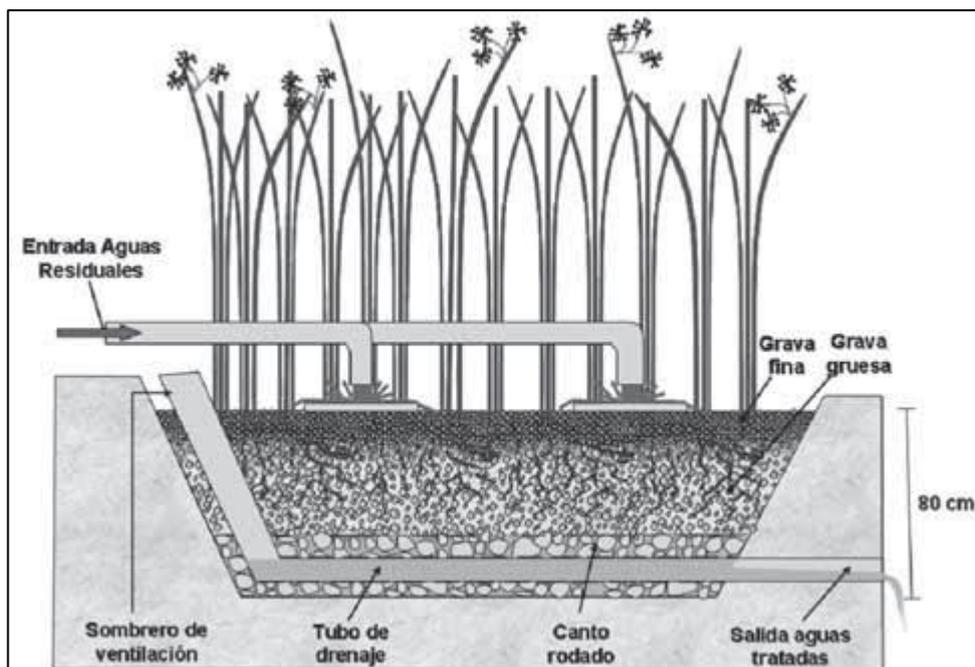
Los sistemas verticales con flujo subsuperficial son cargados intermitentemente.

De esta forma, las condiciones de saturación con agua en la cama matriz son seguidas por períodos de insaturación, estimulando el suministro de oxígeno.

Hay muchas posibilidades de variar la distribución de intervalos, la composición de la cama matriz, etcétera, y los resultados que se han obtenido son promisorios (Kolb, 1998).

También conocidos como filtros intermitentes, este tipo de humedales reciben las aguas residuales de arriba hacia abajo, a través de un sistema de tuberías de aplicación de agua (figura 9).

Figura 9 Humedal subsuperficial de flujo vertical (vista corte sección).



Fuente: Delgadillo & Camacho, 2010

Las aguas infiltran verticalmente a través de un sustrato inerte (arenas, gravas) y se recogen en una red de drenaje situada en el fondo del humedal. La aplicación de agua se efectúa de forma intermitente, para preservar y estimular al máximo las condiciones aerobias. La vegetación emergente se planta también en este medio granular.

Adicionalmente, para favorecer las condiciones aerobias del medio poroso, se suele colocar un sistema de aeración con chimeneas, que son tuberías cribadas con salidas al exterior. A diferencia del humedal subsuperficial de flujo horizontal, el sustrato está constituido por varias capas, encontrándose las más finas en la parte superior, aumentando el diámetro de la grava hacia abajo.

1.3.2 PARTES DE LOS HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

Los humedales artificiales de flujo subsuperficial están constituidos básicamente por cuatro elementos: agua residual, sustrato, vegetación y microorganismos.

1.3.2.1.1 Agua residual

Las aguas residuales son las que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población. Después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias, son recogidas por una red de alcantarillado que las conducirá hacia el humedal, en este caso (Rolim, 2000).

De acuerdo a Lara (1999), la hidrología es el factor de diseño más importante en un humedal construido porque reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario decisivo en su éxito o fracaso, por los siguientes motivos.

- Pequeños cambios en la hidrología pueden tener efectos importantes en un humedal y en la efectividad del tratamiento.
- Debido al área superficial del agua y su poca profundidad, un sistema actúa recíproca y fuertemente con la atmósfera a través de la lluvia y la evapotranspiración (la pérdida combinada de agua por evaporación del suelo y transpiración de las plantas).
- La densidad de la vegetación en un humedal afecta fuertemente su hidrología, obstruyendo caminos de flujo siendo sinuoso el movimiento del agua a través de la red de raíces y rizomas y bloqueando la exposición al viento y al sol.

1.3.2.1.2 Sustrato (medio granular)

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

El sustrato, sedimentos y los restos de vegetación en los humedales artificiales son importantes por varias razones:

- Soportan a muchos de los organismos vivientes en el humedal.
- La permeabilidad del sustrato afecta el movimiento del agua a través del humedal.
- Muchas transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas) tienen lugar dentro del sustrato.
- Proporciona almacenamiento para muchos contaminantes.
- La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de materia orgánica en el humedal. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, fijación de microorganismos y es una fuente de carbono que es a la vez, la fuente de energía para algunas de las más importantes reacciones biológicas en el humedal (Lara, 1999).

El medio es responsable directo de la extracción de algunas sustancias contaminantes mediante interacciones físicas y químicas.

El tamaño del medio granular afecta directamente al flujo hidráulico del humedal y por ende en el caudal de agua a tratar. Si el lecho granular está constituido por elevadas cantidades de arcilla y limo, se consigue una mayor capacidad de absorción y una mejor filtración, ya que la adsorción es alta y el diámetro de los huecos es pequeño. Pero también este medio presenta una elevada resistencia hidráulica y requiere velocidades de flujo muy bajas, limitando el caudal a tratar (Arias, 2004).

Por el contrario, si el lecho granular está formado por gravas y arenas, disminuye la capacidad de adsorción y el poder filtrador del medio, pero aumenta la conductividad hidráulica.

De forma indirecta, el medio granular contribuye a la eliminación de contaminantes porque sirve de soporte de crecimiento de las plantas y colonias de microorganismos que llevan a cabo la actividad biodegradadora (biopelículas).

1.3.2.1.3 Vegetación

El papel de la vegetación en los humedales está determinado fundamentalmente por las raíces y rizomas enterrados. Las plantas son organismos foto autótrofos, es decir que recogen energía solar para transformar el carbono inorgánico en carbono orgánico.

Tienen la habilidad de transferir oxígeno desde la atmósfera a través de hojas y tallos hasta el medio donde se encuentran las raíces. Este oxígeno crea regiones aerobias donde los microorganismos utilizan el oxígeno disponible para producir diversas reacciones de degradación de materia orgánica y nitrificación (Arias, 2004).

De acuerdo a Lara (1999), las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual y esorrentía de varias maneras:

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

1.3.3 MECANISMOS DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES

En un humedal artificial se desarrollan diferentes mecanismos de remoción de contaminantes del agua residual. Evidentemente, un amplio rango de procesos biológicos, químicos y físicos tiene lugar. Por lo tanto, la influencia e interacción de cada componente involucrado es bastante compleja.

En el siguiente cuadro, se muestran los principales procesos y mecanismos que ocurren en los humedales construidos.

Tabla III Mecanismos de remoción en los sistemas de tratamiento basados en macrófitas.

Parámetro Evaluado	Mecanismo de Remoción
Sólidos Suspendedos	Sedimentación /Filtración.
DBO	Degradación microbiana (aeróbica y anaeróbica. Sedimentación (acumulación de materia orgánica/lodo en la superficie del sedimento)
Nitrógeno Amoniacal	Momificación seguida por nitrificación y denitrificación amoniacal. Captado por la planta.
Patógenos	Sedimentación filtración. Declinación. Radiación ultravioleta. Excreción de antibióticos por las raíces de las macrófitas.

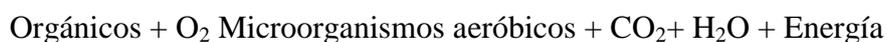
Fuente: Kolb, 1998

A continuación se explican los mecanismos de remoción de contaminantes que ocurren en los humedales construidos, cuyo contenido está basado principalmente en el texto de Kolb (1998).

1.3.3.1 Remoción de sólidos suspendidos

Aunque la mayor parte de los sólidos suspendidos y sedimentables son removidos en el tratamiento previo, los humedales filtran y sedimentan los remanentes, complementando esta remoción. En efecto, las raíces de las macrófitas y el sustrato reducen la velocidad

del agua, favoreciendo ambos procesos. El tratamiento previo es muy importante para evitar obstrucciones y la rápida colmatación del humedal.



1.3.3.2 Remoción de materia orgánica

La remoción de materia orgánica tiene lugar principalmente mediante biodegradación aeróbica o anaeróbica. Una pequeña porción también es removida por procesos físicos como la sedimentación y filtración, cuando la materia orgánica es fijada a los sólidos suspendidos. La biodegradación es realizada por los microorganismos, los cuales están adheridos a la planta, en particular a las raíces y a la superficie de los sedimentos (Kolb, 1998).

Todos los microorganismos involucrados en este proceso de tratamiento requieren una fuente de energía y carbono para la síntesis de nuevas células, como también otros nutrientes y elementos traza. De acuerdo a su fuente de nutrientes, están clasificados como heterótrofos o autótrofos. Los heterótrofos requieren material orgánico como fuente de carbono para la síntesis de nuevos microorganismos, en cambio, los autótrofos no utilizan materia orgánica sino dióxido de carbono como fuente de carbono (Kolb, 1998).

Ambos grupos usan luz o una reacción química de oxidación-reducción como fuente de energía para todas las síntesis y son llamados fotótrofos y quimiótrofos, respectivamente (Cooper, 1996). Dos clases diferentes de biodegradación microbial, la aeróbica o la anaeróbica, tienen lugar en los humedales construidos, dependiendo de la presencia de oxígeno disuelto.

En la degradación aeróbica, dos grupos de microorganismos participan en este proceso de degradación: aeróbicos quimioheterótrofos, oxidando compuestos orgánicos y liberando amonio; y aeróbicos quimioautótrofos, los cuales oxidan el nitrógeno amoniacal a nitrito

y nitrato. El último proceso es llamado nitrificación. Sin embargo, debido a la tasa de metabolismo más alta, los heterótrofos son principalmente responsables para la remoción del material orgánico; por lo tanto, la presencia de oxígeno disuelto es un factor limitante.

La degradación anaeróbica puede ser resumida en la siguiente reacción:

Orgánicos alcohol, ácidos + nuevas células CH_4 , H_2S , NH_3 , H_2 , nuevas células

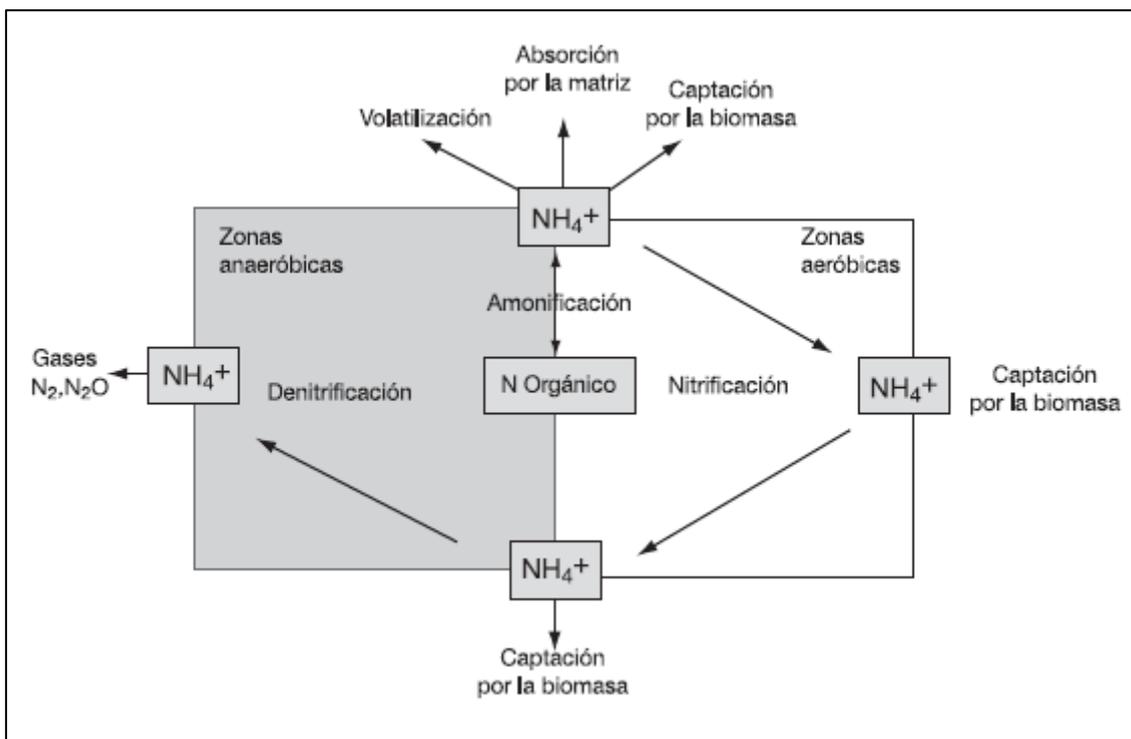
Éste es un proceso de cuatro pasos, realizado por heterótrofos anaeróbicos. Es menos eficiente comparado a la degradación aeróbica, pero predominará si el oxígeno no está disponible (Cooper, 1996).

1.3.3.3 Remoción de nitrógeno

Al momento que ingresa agua residual al humedal construido, la mayor parte del nitrógeno está presente como amonio o en forma de un compuesto inestable, que es fácilmente transformado a amonio. Los principales mecanismos de remoción de nitrógeno en humedales construidos son la nitrificación y la denitrificación, que ocurren en diferentes zonas del sustrato. Todo el proceso puede ser dividido en pasos, iniciando con la amonificación, seguido por la nitrificación y denitrificación.

La amonificación ocurre en las zonas aeróbicas, como también en zonas anaeróbicas, por la mineralización del nitrógeno contenido en los orgánicos (figura 10).

Figura 10 Diagrama del metabolismo del nitrógeno.



Fuente: Cooper et al., 1996

La nitrificación requiere la presencia de oxígeno disuelto (condiciones aeróbicas), amonio o nitrito como fuente de energía y dióxido de carbono como fuente de carbono. La oxidación en sí ocurre en dos estadios, cada uno involucra diferentes especies de bacterias nitrificantes quimioautótrofas.

El primer paso es la oxidación de iones amonio a nitrito (nitrosificación).



En este paso, la liberación de iones de hidrógeno baja el pH, por lo que es necesario un medio fuertemente alcalino para mantener un pH en el rango de 7.5 a 8.6 (Cooper, 1996).

El género bacteriano que es considerado para catalizar esta reacción es Nitrosomas, en cambio el género Nitrobacter es responsable para la transformación de nitrito a nitrato.



Toda la reacción necesita un alto ingreso de oxígeno: alrededor de 4.5 kg por cada kg de amonio-nitrógeno ($\text{NH}_4^+\text{-N}$) oxidado. Las bacterias son sensibles a un amplio rango de inhibidores; así, altas concentraciones de nitrógeno amoniacal son inhibidores. También concentraciones de oxígeno disuelto por más de 1 mg O₂/l son requeridos y temperaturas por debajo de 100 °C reducen el desempeño significativamente.

La denitrificación es el paso final en la remoción de nitrógeno. Ocurre bajo condiciones anóxicas, esto significa, que no hay oxígeno disuelto presente (o con una concentración < a 2% de saturación) pero donde el oxígeno está disponible en fuentes tales como el nitrato, nitrito o incluso sulfato.

Un amplio rango de bacterias anaeróbicas facultativas, siendo las más comunes *Pseudomonas sp.*, *Achromobacter sp.* y *Aerobacter sp.*, realizan el proceso. Toda la reacción que incluye como primer paso la conversión de nitrato a nitrito, seguida por la producción de óxido nítrico y gas nitrógeno, puede ser resumida como sigue:



Los tres productos son gaseosos, pero mayormente el gas nitrógeno es perdido en la atmósfera debido a que los primeros dos productos son pasajeros en la mayoría de los casos.

Similar al proceso de nitrificación, la denitrificación es también fuertemente dependiente de la temperatura y es necesario suficiente carbono como fuente de energía para que la bacteria realice la conversión.

1.3.3.4 Remoción de fósforo

El fósforo está presente en la alcantarilla en tres distintas formas: como ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. El último es un constituyente menor de la alcantarilla y como los polifosfatos, requieren una posterior descomposición a una forma de ortofosfato más asimilable. Cerca del 25% del fósforo total fijado en la alcantarilla está presente como ortofosfatos tales como: PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4 , que están disponibles

para el metabolismo biológico inmediato. Por lo tanto, en términos de utilización, en la planta de tratamiento lo que importa es la concentración de fosfato orgánico antes que la concentración de fósforo total (Gray, 1989).

La remoción de ortofosfato ocurre principalmente como una consecuencia de la adsorción, complejización y reacciones de precipitación con Al, Fe, Ca y materiales arcillosos en la matriz del sustrato. El consumo de fósforo por la planta puede ser considerado como insignificante comparado con los efectos de adsorción, valores de alrededor del 3% de la carga anual han sido reportados (Boerner en Kolb, 1998). Dependiendo del valor de pH dentro del sustrato, el fósforo está presente en la forma de sal soluble o minerales insolubles, lo cual significa que el fósforo puede ser transferido dentro de un humedal construido. Debido al contenido de óxidos metálicos en el sustrato, la fijación de fósforo como fosfatos por medio de la adsorción varía (Wissing en Kolb, 1998).

1.3.3.5 Remoción de metales pesados

Los metales traza tienen una alta afinidad para la adsorción y complejización con material orgánico y se acumulan en la matriz de un humedal construido. Los metales pueden encontrarse en formas solubles o como partículas asociadas, siendo las primeras las formas más biodisponibles.

La adsorción involucra la unión de las partículas (o sustancias disueltas en solución), en partes de la planta o a la superficie de la matriz. En una reacción de intercambio catiónico, los iones metálicos positivamente cargados en solución se unen a los sitios negativamente cargados en la superficie del material adsorbente.

La fuerza atractiva para el intercambio catiónico es electrostática y la medida de esta fuerza depende de un amplio rango de factores. La capacidad de intercambio catiónico (CIC) de un material es una medida del número de puntos de unión por masa o volumen.

En cuanto a los procesos microbianos mediados, es necesario tener en cuenta que en un humedal construido se pueden distinguir dos zonas: la zona aeróbica, que contiene una

alta proporción de material orgánico y la zona anaeróbica, dominada por materia inorgánica.

Entre estas dos principales zonas también existen zonas anóxicas. La presencia de bacterias que oxidan metales en las zonas aeróbicas y bacterias que reducen sulfatos en las zonas aeróbicas, que causarán la precipitación de óxidos de metal y sulfatos respectivamente, ha sido establecida por Cooper (1996).

1.3.3.6 Remoción de bacterias

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

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

Finalmente, los factores químicos son la oxidación, adsorción y la exposición a toxinas fijadas por otros microorganismos y exudadas por las raíces de las plantas (aunque la cantidad de estos antibióticos causa dudas respecto a su efectividad para afectar a los patógenos).

1.3.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES

Para conocer las ventajas y las desventajas que tienen los diferentes tipos de humedales artificiales, se presentan a continuación dos cuadros comparativos. El primero compara humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial (Tabla IV), y el segundo compara humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical y horizontal (Tabla V).

En términos de costos, los humedales artificiales superficiales requieren menor inversión en relación a los de flujo subsuperficial ya que en los primeros no se incurren en los gastos mayores: la impermeabilización y la provisión y colocación del sustrato de grava.

Tabla IV Comparación entre diferentes sistemas de flujo humedal.

	Flujo Superficial	Flujo Subsuperficial
Tratamiento	Tratamiento de flujos secundarios (aguas ya tratadas por otros medios, ej: lagunas, biodiscos, fangos activados, etcétera)	Para tratar flujos primarios (aguas pre-tratadas ej. Tanques imhoff, pozos sépticos).
Operación	Opera con baja carga orgánica	Altas tasas de cargas orgánicas.
Olor	Puede ser controlado	No existe.
Insectos	Control es caro	No existe
Protección térmica	Mala, las bajas temperaturas afectan al proceso de remoción.	Buena, por acumulación de restos vegetales y el flujosubterráneo el agua mantiene una temperatura casi constante.
Área	Requieren superficies de mayor tamaño.	Requieren superficies de menor tamaño.
Costo	Menor costo en relación al superficial	Mayor costo debido al material granular que puede llegar a incrementar al precio hasta un 30%
Valor Ecosistema	Mayor valor como ecosistema para la vida salvaje, el agua es accesible a la fauna.	Menor valor como ecosistema para la vida, el agua es difícilmente accesible a la fauna.
Usos generales	Son de restauración y de creación de nuevos ecosistemas	Tratamiento de aguas residuales, principalmente

		para casas aisladas y núcleos menores de 200 habitantes.
Operación	Son tratamientos adicionales a los sistemas convencionales (usadas para tratamiento terciario y mejoramiento de calidad de agua)	Puede usarse como tratamiento secundario.

Fuente: Folch, s.f.

Cabe destacar que los sistemas de flujo horizontal tienen mayor riesgo de colapsar en términos de circulación del agua (taponamiento del sustrato), por tanto requieren que el agua a tratarse tenga menor material en suspensión.

En cuanto a la operación, en términos generales, ambos tipos requieren baja intensidad, pero continua, aunque no debe confundirse requerimientos mínimos con ningún requerimiento. (Delgadillo, 2010)

Tabla V Comparación entre humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal y vertical.

	HORIZONTAL	VERTICAL
Funcionamiento	Continuo	Discontinuo
Estado Oxidación	Más reducido	Mas oxidado
Eficiencia	Más superficie	Menos superficie
Carga superficial	4-8 g DBO ₅ /m ² .dia	20-40 g DBO ₅ /m ² .dia
Nitrificación	Complicada	Se consigue
Operación	Sencilla	Más compleja

Fuente: Folch, s.f.

1.4 MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES

Se tiene como objetivo principal del muestreo el obtener una parte representativa del recurso de estudio en este caso el agua residual, teniendo como finalidad el análisis de ciertos parámetros considerados para el diseño de la PTAR.

Para lograr cumplir con los requerimientos de diseño en cuanto al análisis de las muestras, éstas deben conservar las concentraciones originales del medio de muestreo evitando un cambio brusco en su composición, previo a su análisis.¹

El diseño del programa de muestreo debe considerar los siguientes factores a fin de asegurar que las muestras sean representativas:

- Ubicación del lugar de muestreo.
- Tiempo y frecuencia del muestreo.
- Volumen de muestra.
- Procedimiento de recolección.
- Muestras simples o compuestas.
- Transporte, preservación y almacenamiento de muestras.
- Datos de campo recogidos con cada muestra. (Santa, 2006)

1.4.1 TIPOS DE MUESTRAS

Hay dos tipos de muestras que se puede tomar:

- a. **Muestra Simple:** nos da las características del agua residual en el momento en que la muestra es tomada, se usa generalmente cuando:
 - El caudal de agua residual y su composición es relativamente constante;
 - El flujo de agua residual es intermitente, y
 - Las muestras compuestas pueden ocultar condiciones extremas de las aguas residuales (pH y temperatura).
 - El volumen mínimo de una muestra simple debe estar entre 1 y 2 litros.

¹ Toma y preservación de la muestra, Disponible en :
http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_DeAguas/Toma_De_Muestra

- b. **Muestra compuesta:** son originadas por una mezcla de muestras individuales tomadas en diferentes momentos. La cantidad de cada muestra individual que se añada a la mezcla compuesta debe ser proporcional al flujo de caudal en el momento en que la muestra fue tomada.

1.4.1.1.1 Volumen de muestra requerida

El volumen requerido de cada muestra instantánea para formar la muestra compuesta se determinara con la siguiente expresión.

$$\frac{V}{n * Q_m} = \frac{V_i}{Q_i} \quad \text{Ecuación 6}$$

Suponiendo que V es el volumen total de la muestra compuesta que hay que tomar; Vi el volumen de cada muestra individual i de la muestra compuesta; Qm, el caudal medio; Qi el caudal instantáneo en el momento en que la muestra i es tomada y n, el número de muestras que deben ser mezcladas; entonces obtenemos:

El volumen de la muestra requerida por unidad de caudal será:

$$V_i = \frac{V}{n * Q_m} Q_i \quad \text{Ecuación 7}$$

La frecuencia del muestreo depende de la variabilidad del caudal y la carga contaminante. Para pequeñas variaciones sólo hace falta que las muestras se tomen a intervalos entre 2 y 24 horas. Sin embargo, para grandes variaciones puede ser necesario tomar muestras hasta cada 15 minutos. Las muestras individuales de la compuesta deben tener entre 25 y 100mL y el volumen compuesto debe tener entre 2 y 4 litros. (Ramalho, 2003)

1.4.2 HOJA DE REMISIÓN DE MUESTRAS

A la muestra se le asigna una hoja de remisión. La persona responsable del muestreo debe llenar su parte correspondiente. El personal del laboratorio debe completar la siguiente información:

- Nombre de la persona que recibe la muestra
- Número de la muestra
- Fecha de recepción de la muestra
- Ensayos por realizar (OPS, 2005)

En el ANEXO IV se muestra el formato de la hoja de campo y cadena de custodia para las muestras a ser analizadas.

1.4.3 PRESERVACIÓN DE LAS MUESTRAS.

Es prácticamente imposible la preservación completa e inequívoca de las muestras de aguas residuales domésticas e industriales y de aguas naturales.

Independientemente de la naturaleza de la muestra, nunca puede lograrse la completa estabilidad de todos sus constituyentes; en el mejor de los casos, las técnicas de preservación solamente pueden retardar los cambios químicos y biológicos, que continúan inevitablemente después de que la muestra se retira de su fuente.²

Cabe destacar que la mejor forma de preservar las muestras es efectuando el análisis lo más pronto posible. Hasta el momento de efectuar el análisis de muestra deberá refrigerarse a aproximadamente 4°C, sin que las muestras se congelen.

² Toma y preservación de la muestra, Disponible en :
http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_DeAguas/Toma_De_Muestra

1.5 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA PEQUEÑAS POBLACIONES

En los últimos 15 años se han adoptado sistemas de tratamiento para agua residual clasificando a las poblaciones en pequeñas y grandes, por lo que cada una requiere de un sistema de tratamiento apropiado para lo cual se han desarrollado nuevas tecnologías de tratamiento de aguas residuales, necesarias para proteger la salud de las comunidades, y también cuidar el ambiente de la contaminación.

Los sistemas de tratamiento para poblaciones pequeñas como: hogares, conjuntos habitacionales, comunidades aisladas, industrias o instituciones; así como también de sectores de comunidades existentes cerca del punto de generación de residuos; requieren de sistemas de tratamiento descentralizados de manejo de aguas residuales; que consisten en la recolección, tratamiento, y vertimiento o reutilización de aguas residuales.

Estos sistemas de tratamiento deben estar diseñados de acuerdo al costo, flexibilidad y disposición de recursos físicos y económicos. (Crites, 2000)

Según su uso precedente, estas aguas resultan de la combinación de líquidos y residuos sólidos que provienen de residencias, oficinas, edificios comerciales e instituciones, junto con residuos de industrias, de actividades agrícolas, así como las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación (Rolim, 2000). Los contaminantes de interés en el tratamiento de las aguas residuales se presentan en la tabla VI.

Tabla VI Contaminantes importantes de interés en el tratamiento de las aguas residuales

Contaminantes	Importancia
Sólidos Suspendidos	Los sólidos suspendidos pueden llevar al desarrollo de depósitos de lodo y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados son lanzados al ambiente acuático.
Materia orgánica Biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasa. Por lo general, se mide en términos de DBO Y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su

	estabilización biológica puede llevar la consumo de las fuentes de oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas.
Microorganismos patógenos	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades.
Nutrientes	Cuando son los lanzados en el ambiente acuático, pueden llevar al crecimiento de vida acuática indeseable. Cuando son aplicados al suelo en cantidades excesivas pueden contaminar también el agua subterránea.
Compuestos Tóxicos	Compuestos orgánicos e inorgánicos seleccionados en función de su conocimiento o sospecha de carcinogenicidad, mutanogenicidad, teratogenicidad o elevada toxicidad. Muchos de estos compuestos se encuentran en las aguas residuales.
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamientos de aguas residuales. Ejemplos típicos incluyendo detergentes, fenoles y pesticidas agrícolas.
Metales pesados	Los metales pesados son normalmente adicionados mediante actividades humanas. Tienen una alta persistencia en el ambiente, lo que incrementa su posibilidad de acumulación y toxicidad.
Sólidos inorgánicos	Componentes inorgánicos, como calcio, sodio y sulfato, deben ser removidos si se van a usar nuevamente en agua residual, por ser potencialmente degradados del suelo.

Fuente: Metcalf y Eddy en Rolim, 2000

Los objetivos de sistemas pequeños y sistemas descentralizados de manejo de aguas residuales son:

- a. Proteger la salud pública.
- b. Proteger de la degradación o de la contaminación al ambiente receptor.
- c. Reducir los costos de tratamiento mediante la retención de aguas y sólidos cerca de su punto reutilizándolos. (Crites, 2000)

1.5.1 CANAL DE LLEGADA

Antes de realizar el dimensionamiento de las rejillas es recomendable diseñar un canal de llegada, por el cual será conducida el agua residual hacia el proceso de tratamiento con el fin de controlar y conseguir que las velocidades estén afines con las especificaciones para el diseño de las rejillas.

1.5.1.1 Dimensionamiento del canal de llegada.

Para esto es necesario definir los siguientes datos y las características propias del diseño como son:

- Tipo de sección: en este caso será rectangular
- Dimensiones propuestas: Base de la sección, que se propone sea de 0.5m
- Caudal
- Coeficiente de rugosidad de Manning: las unidades se construirán en hormigón.(Maita, 2012)

La velocidad se calcula con la ecuación de Manning:

$$V = \frac{1}{n} RH^{2/3} S^{1/2} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

V= Velocidad de flujo, m/s

RH= Radio Hidraulico, m

S= Pendiente, m/m

n= Coeficiente de rugosidad de Manning.

Para verificar la velocidad que debe manejarse en el canal se procede de la siguiente manera:

a) Calcular el coeficiente de Manning (K)

$$K = \frac{Q * n}{\frac{8}{b^3} * S^{\frac{1}{2}}} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

Q_{MD} : Caudal medio diario, m³/s

n : Coeficiente de rugosidad de Manning

b : Base del canal, m

S : Pendiente del canal, m/m

b) Calcular la altura de agua en el canal(h)

$$h = 1.6624 * K^{0.74232} * b \quad \text{Ecuación 10}$$

c) Obtener el radio Hidráulico (RH)

El radio hidráulico para el caudal medio diario es:

$$RH = \frac{b * h}{b + 2h} \quad \text{Ecuación 11}$$

1.5.2 REJILLAS

La primera operación unitaria obligada en el tratamiento de aguas residuales es el cribado, esta operación se realiza usando rejillas y circulando el agua a través de ellas. Sus principales objetivos son:

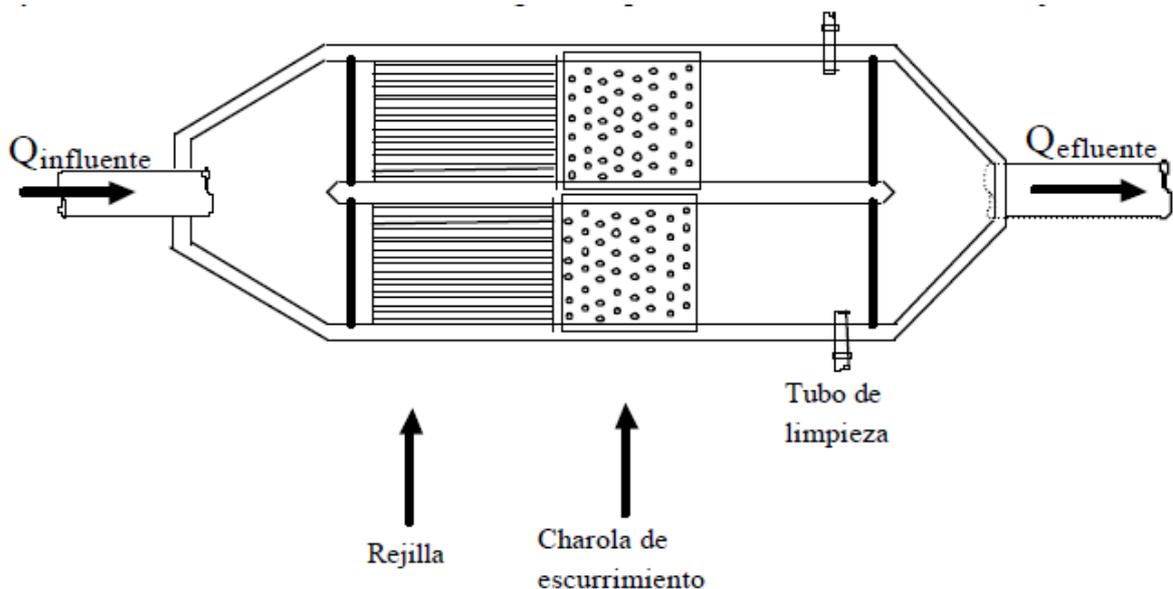
- Reducir los sólidos en suspensión de distintos tamaños que trae consigo el influente de aguas residuales crudas,
- Evitar la obstrucción de los conductos,
- Proteger los equipos y
- Reducir al mínimo la absorción de oxígeno

La distancia o la abertura de las barras de las rejillas dependen del tamaño de las partículas que se desean retener y eliminar mediante esta operación y de su limpieza.

Las rejillas o cribas pueden clasificarse de acuerdo a su colocación en fijas o móviles; por la sección transversal de sus barras en cuadradas, rectangulares, circulares o aerodinámicas; por el tamaño de la materia que se desea remover en micro rejillas, finas (0.1 - 1.5 cm), medianas (1.5 - 2.5 cm) y gruesas (2.5 - 5.0 cm); y, de acuerdo con su forma de limpieza en manuales o mecánicas.

Básicamente el sistema de rejillas está formado por barras de hierro. Éstas regulan el paso de papeles, excretas y materiales finos, reteniendo en cambio materias de mayor tamaño, como piedras, palos, envases, etc. (Allende, 1994)

Gráfico 1 Vista planta de un sistema manual de rejillas con dos cámaras



Fuente: Allende. 1994

1.5.2.1 Dimensionamiento

El procedimiento para el dimensionamiento es el siguiente:

- a) **Calcular el Área libre al paso del agua (A_L, m^2)**

Para su cálculo se requiere conocer el flujo de diseño y la velocidad mínima entre barras recomendada, y se usa la expresión:

$$A_L = \frac{Q_{DISEÑO}}{V_{Bm}}$$

Ecuación 12

Donde:

$Q_{DISEÑO}$ = Caudal de Diseño, m³/s

V_{Bm} = Velocidad a través de las rejillas, m/s

b) Calcular el tirante del agua en el canal (h, m).

Se obtiene a partir de la ecuación:

$$A_L = b * h ; h = \frac{A}{b}$$

Ecuación 13

Donde:

b = ancho del canal, m

c) Cálculo de la altura del canal (H):

$$H = h + H_s$$

Ecuación 14

Donde:

H_s = Altura de seguridad asumida

d) Proponer las características de las rejillas

Espesor (s) y separación entre barras (e)

e) Calcular la longitud de las barras (Lb, m)

Para lo que se aplica:

$$\text{sen } \alpha = \frac{h}{Lb} ; Lb = \frac{h}{\text{sen } \alpha} \quad \text{Ecuación 15}$$

f) Calcular el número de barras (Nb)

A partir de la expresión:

$$Nb = \frac{b}{e + s} \quad \text{Ecuación 16}$$

1.5.2.2 Pérdida de carga a través rejillas

Las pérdidas hidráulicas a través de rejillas se encuentran en función de la velocidad de aproximación del fluido y de la velocidad del flujo a través de las barra; y se pueden determinar por medio de la siguiente ecuación:

$$hf = \frac{1}{0.7} * \left(\frac{V_{Bm} - V_{apx}^2}{2g} \right) \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

hf: pérdida de carga, m

V_{Bm}: Velocidad a través de la rejilla, m/s

V_{apx}: velocidad en el canal de aproximación, m/s

g: aceleración de gravedad, 9.81m/s.

1.5.3 CANAL PARSHALL

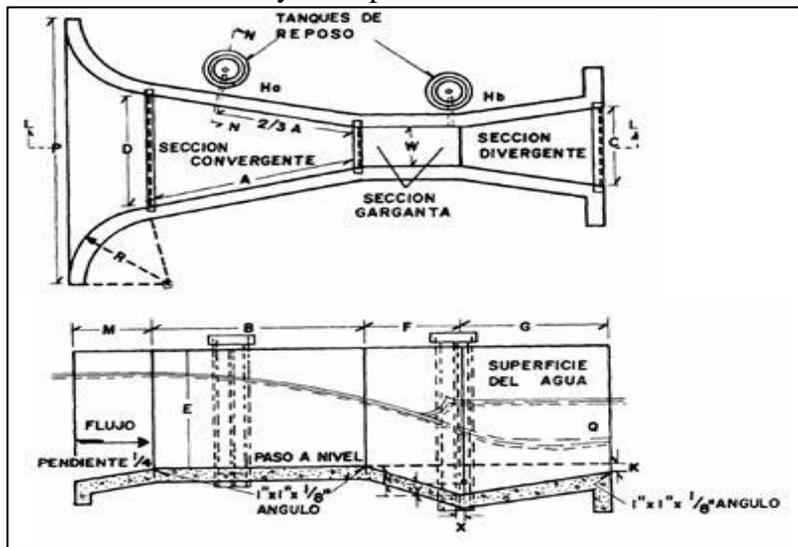
Esta estructura aforadora, consiste esencialmente de una contracción lateral en un canal a superficie libre, la contracción se forma por una elevación de la plantilla y el estrechamiento de la sección transversal.

El medidor Parshall está constituido por tres partes fundamentales: Entrada, garganta y salida. La estructura tiene dos tanques de reposo que sirven para medir la carga (Ha), a la

entrada del medidor antes de la garganta y la carga (H_b), cerca del extremo inferior de la garganta, estando colocados a los lados de la estructura y comunicados a ella por tubería, en estas cámaras se alojan los flotadores de los limnigrafos, medidores de nivel electrónicos o simplemente escalas graduadas.³

A continuación se presenta un croquis con la planta y elevación de un medidor Parshall, en el que se indican con literales, las medidas necesarias para construir este tipo de medidor.

Gráfico 2 Corte y vista planta de un medidor Parshall



FUENTE: Comisión Nacional del Agua Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. México 2007

Del Gráfico 2 tenemos la siguiente denotación de cada una de sus lados representados en letras:

³ Canal Parshall.

W =Tamaño del canal

A =Longitud de las paredes laterales de la sección convergente

B =Longitud axial de la sección convergente

C =Ancho del extremo aguas abajo del canal

D =Ancho del extremo aguas arriba del canal

E = Profundidad del canal

F = Longitud de la garganta

G = Longitud de la sección divergente

K = Diferencia en elevación entre el extremo inferior del canal y la cresta

M = Longitud del piso de la entrada

N = Profundidad de la depresión en la garganta de bajo de la cresta

P = Ancho entre los extremos de las paredes curvas de entrada

R = Radio de las paredes curvas de la entrada

X = Distancia horizontal desde el punto bajo en la garganta al punto de medida Hb.

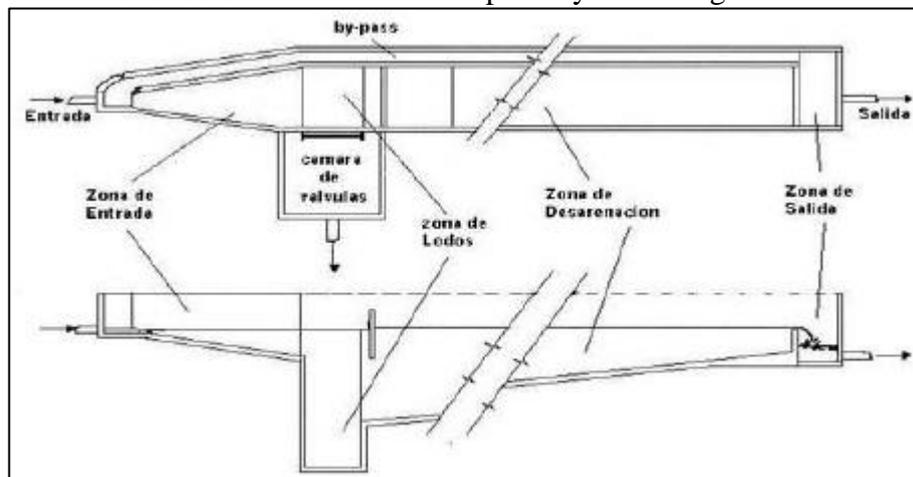
Y = Distancia vertical desde el punto bajo en la garganta al punto de medida Hb.

1.5.4 DESARENADOR

Tiene por objeto separar del agua cruda la arena y partículas en suspensión gruesa, con el fin de evitarla formación de depósitos pesados en tuberías, conductos y canales; disminuir la frecuencia de limpieza de la arena acumulada en tanques de sedimentación primaria y digestores de lodos, y minimizar la pérdida de volumen en tanques de tratamiento biológico. El desarenado se refiere normalmente a la remoción de las partículas superiores a 0,2 mm.

1.5.4.1 Componentes

Gráfico 3 Desarenador vista planta y corte longitudinal



Fuente: OPS/CEPIS/05.158.UNATSABAR

a. Zona de entrada: Tiene como función el conseguir una distribución uniforme de las líneas de flujo dentro de la unidad, uniformizando a su vez la velocidad.

b. Zona de desarenación: Parte de la estructura en la cual se realiza el proceso de depósito de partículas por acción de la gravedad.

c. Zona de salida: Conformada por un vertedero de rebose diseñado para mantener una velocidad que no altere el reposo de la arena sedimentada.

d. Zona de depósito y eliminación de la arena sedimentada: Constituida por una tolva con pendiente mínima de 10% que permita el deslizamiento de la arena hacia el canal de limpieza de los sedimentos. (Parshall, 1950)

1.5.4.2 Consideraciones de diseño

a. Geometría: En la tabla siguiente aparecen las características geométricas y recomendadas para un desarenador de flujo horizontal:

Tabla VII Geometría recomendada para un desarenador de flujo horizontal

Parámetro	Dimensiones
Relación Largo: Ancho	2.5: 1-5:1
Relación Ancho: Profundidad	1: 1-5:1

Fuente: Adaptado Ras 2000. Título E

b. Localización: Deben localizarse después de rejillas y antes de tanques de sedimentación primaria y estaciones de bombeo.

c. Velocidad mínima del agua: Los desarenadores deben diseñarse de manera tal que la velocidad pueda controlarse. La variación debe estar únicamente en un rango entre 0.2 m/s y 0.4 m/s.

d. Número: El número de desarenadores es característico a cada diseño. Se recomienda un mínimo de dos unidades. Cada unidad debe tener la capacidad para operar con los caudales de diseño cuando la otra unidad está en limpieza.

e. Tasa de desbordamiento superficial: Se recomienda un rango entre 700 y 1600 m³/m²/día. Estos valores pueden ser expresados en términos de velocidad de sedimentación, variando aproximadamente entre 30 m/h y 65 m/h.

f. Tiempo de retención hidráulico: El tiempo de retención debe basarse en el tamaño de las partículas que deben separarse; (20 segundos y 3 minutos). (RAS, 2000)

Tabla VIII Relación entre diámetro de las partículas y velocidad de sedimentación.

Material	Ø Límite de las partículas (cm)	# de Reynolds	vs	Régimen	Ley Aplicable
Grava	>1.0	>10 000	100	Turbulento	$vs = 1.82\sqrt{dg} \frac{\rho_a - \rho}{\rho}$ Newton
Arena Gruesa	0,100 0.080 0.050 0.050 0.040 0.030	1000 600 180 27 17 10	10.0 8.3 6.4 5.3 4.2 3.2	Transición	$vs = 0.22 \left(\frac{\rho_a - \rho}{\rho} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\phi}{\frac{\mu}{\rho}} \right)^{\frac{1}{3}}$ Allen

	0.020 0.015	4 2	2.1 1.5		
Arena Fina	0.010 0.008 0.006 0.005 0.004 0.003 0.002 0.001	0.8 0.5 0.24 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0	0.8 0.6 0.4 0.3 0.2 0.13 0.06 0.015	Laminar	$v_s = \frac{1}{18} g \left(\frac{\rho_a - \rho}{n} \right) d^2$ <p style="text-align: center;">Stokes</p>

FUENTE: OPS/cepis5.158. Unatsabar

1.5.4.3 Dimensionamiento de un desarenador rectangular de flujo horizontal

En los desarenadores de flujo horizontal, el agua a tratar pasa a través de la cámara en dirección horizontal y la velocidad lineal del flujo se controla con las dimensiones del canal, ubicando compuertas especiales a la entrada para lograr una mejor distribución del flujo, o utilizando vertederos de salida con secciones especiales. (RAS, 2000)

Según la Guía para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores el dimensionamiento se realiza de la siguiente manera:

a) Determinar la Velocidad de Sedimentación

De acuerdo a los criterios indicados anteriormente en relación a los diámetros de las partículas, la partícula y el régimen de flujo considerados son de 0.015cm y de transición respectivamente, por lo que se aplica la Ley de Allen:

$$v_s = 0.22 \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} * g \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\phi}{n} \right)^{\frac{1}{3}}$$

Ecuación 18

Donde:

V_s : Velocidad de sedimentación (cm/s)

ϕ : Diámetro de la partícula (cm)

ρ : Densidad del agua (g/m^3)

ρ_s : Densidad de la partícula (g/m^3)

n : Viscosidad cinemática del agua (cm^2/s)

b) Calcular el número de Reynolds (Re):

$$Re = \frac{v_s * d}{n} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

V_s : velocidad de sedimentación, cm/s .

ϕ : diámetro de la partícula, cm .

η : Viscosidad cinemática del agua, cm^2/s .

c) Determinar el coeficiente de arrastre (CD)

Se obtiene con el valor del número de Reynolds

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34 \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

C_D : coeficiente de arrastre

d) Determinar la velocidad de sedimentación de la partícula en la zona de transición:

$$v_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} + (\rho_s - 1) * \phi} \quad \text{Ecuación 21}$$

e) Determinar la velocidad límite o velocidad de arrastre (v_a): Es aquella que resuspende el material, se calcula con la expresión:

$$va = 125[(\rho_s - \rho)\phi]^{1/2}$$

Ecuación 22

f) Determinar el área superficial mediante la expresión:

$$A_s = \frac{Q_{DISEÑO}}{v_s}$$

Ecuación 23

Donde:

A_s : Área superficial, m²

$Q_{Diseño}$: Caudal de diseño, m³/s

V_s : velocidad de sedimentación, m/s

g) Determinar las dimensiones del desarenador:

Longitud, ancho y profundidad; según las consideraciones de diseño mencionadas en la tabla VIII.

h) Cálculo del Área total

$$A = l_D * b$$

Ecuación 24

i) Determinar la velocidad horizontal mediante:

$$V_h = \frac{Q_{DISEÑO}}{A}$$

Ecuación 25

Donde:

V_h : velocidad horizontal, m/s

A : área total, m²

j) Verificar que se cumpla que:

$$va > v_h$$

k) Calcular el tiempo de retención:

$$tr = \frac{V}{Q_{DISEÑO}}$$

Ecuación 26

Donde:

$Q_{DISEÑO}$: caudal de diseño, m³/s

tr : tiempo de retención, s

Para lo que se calcula el volumen del tanque desarenador con:

$$V = L_D * b * H_D$$

Donde:

V : volumen del tanque desarenador, m³

L_D : longitud del desarenador, m

b : ancho del desarenador, m

H_D : profundidad del desarenador, m

l) Calcular la longitud de transición al ingreso del desarenador:

$$Lt = \frac{B - b_1}{2 \operatorname{tg} \theta}$$

Ecuación 27

Donde:

B : Ancho del desarenador, m

b_1 : ancho del canal de llegada a la transición (Canal Parshall)

θ : Ángulo de divergencia = 12° 30'

1.5.5 LECHOS DE SECADO

Este sistema por su simplicidad y bajo costo es el primero que se utilizó y aun se sigue utilizando en depuradoras pequeñas; permiten la deshidratación de lodos digeridos. Una vez seco, el lodo se retira y se evacua a vertederos controlados o se utiliza como acondicionador de suelos. (Valdez, 2003)

El lecho típico de secado es de forma rectangular poco profundo con fondos porosos colocados sobre un sistema de drenaje. Su diseño depende de diferentes factores como: clima, características y pre-tratamiento del lodo. (Cargua, 2009)

Tabla IX Ventajas y desventajas de las eras o lechos de secado

Ventajas	Desventajas
Costo bajo si hay terreno disponible	Diseño empírico que no permite análisis económico certero
No requiere operación especial	Requiere de lodo Estable
Consumo de energía Bajo	Sensible a cambios de clima
Poco sensible a los cambios en las características de los lodos.	Visible
Consumo de químicos bajo, contenido alto de sólidos en la pasta.	Requiere de mano de obra para operación.

Fuente: Adaptado de Cargua E. Tesis

1.5.5.1 Consideraciones para el diseño

a. Geometría

Un lecho de secado típico debe ser diseñado para retener en una o más secciones, el volumen total de lodo removido del digestor. Los elementos estructurales del lecho incluyen los muros laterales, tuberías de drenaje, capas de arena y grava, divisiones o tabiques, decantadores, canales de distribución de lodo y muros.

Los muros laterales deben tener un borde libre entre 0.5 y 0.9 m por encima de la arena. Debe asegurarse que no existan filtraciones laterales a través de los muros separadores.

b. Drenajes

- **Medios:** Se recomienda utilizar como medios de drenaje capas de grava y de arena.
- **Espesores:** Se recomienda que la capa de grava tenga un espesor entre 200 y 460 mm. y la capa de arena un espesor entre 300 y 460 mm.

Granulometrías: Las partículas de grava deben presentar un diámetro entre 3 y 25 mm. La arena debe presentar las siguientes especificaciones:

- Partículas limpias, duras, durables y libres de arcilla, polvo, ceniza u otro material extraño.
- El coeficiente de uniformidad debe estar entre 3.5 y 4.0.
- El tamaño efectivo de los granos de arena debe estar entre 0.3 y 0.75 mm.

b. Recolección de percolados

La recolección de percolados se efectuará a través de tuberías de drenaje de plástico o de teja de arcilla vitrificada con junta abierta. Las tuberías de drenaje principal deben tener no menos de 100 milímetros de diámetro y una pendiente no menor a 1%; deben espaciarse entre 2.5 y 6 m y debe tenerse en cuenta el tipo de remoción de lodo que se emplee. Se localizarán por debajo de la capa de grava con no menos de 150 mm de este material por encima de ellas. Se recomienda que los canales laterales de alimentación de las tuberías principales tengan un espaciamiento entre 2.5 y 3 m.

En los casos en que la infiltración sea un peligro para las aguas subterráneas, debe sellarse el fondo del lecho con un bitumen u otra membrana impermeable. El área situada alrededor de las tejas de drenaje debe rellenarse con grava.

d. Necesidad de Cobertura

La cubierta proporciona un techo al lecho de arena. La necesidad de utilizarla depende de las condiciones ambientales de la zona. Su uso se recomienda en zonas de alta precipitación. Sin embargo, el diseñador estará en libertad para decidir si se coloca o no cobertura al lecho. En condiciones climatológicas favorables, la evaporación es más rápida en los lechos descubiertos que en los cubiertos. En los cubiertos es conveniente mantener las ventilaciones cerradas durante la etapa de escurrimiento, para mantener la temperatura, y abrirlas durante la etapa de evaporación para que se renueve el aire. (RAS, 2000)

1.5.5.2 Dimensionamiento

El procedimiento para el dimensionamiento según la Guía Para El Diseño De Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización, es el siguiente:

a) Determinar la carga de sólidos que ingresa al desarenador.

Se estima la carga en función a la contribución per cápita de sólidos en suspensión, del modo siguiente:

$$C = \frac{\text{poblacion} * \text{contribucion percapita} \left(\frac{gss}{kg}\right)}{1000} \quad \text{Ecuación 28}$$

b) Determinar la masa de Sólidos que conforman los lodos:

$$Msd = (0.5 * 0.7 * 0.5 * C) + (0.5 * 0.3 * C) \quad \text{Ecuación 29}$$

c) Determinar el Volumen diario de lodos digeridos:

$$Vld = \frac{Msd}{\rho \text{ lodo} * \left(\frac{\%solidos}{100}\right)} \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde:

ρ lodos: densidad de lodos= 1,03Kg/L

% *Solidos*: contenidos en el lodo = 12%

d) Determinar el Volumen a extraerse del Tanque

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000} \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde:

Vld: Volumen de lodo de cámara de digestión

Td: Tiempo de digestión de lodos

e) Determinar el Área Lecho de secado

$$Als = \frac{V}{Hal} \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde:

Als: Área Lecho de secado

V: Volumen de lodo que llegará al área de secado.

Hal: Profundidad de aplicación, entre 0,20 a 0,40m (OPS, 2005)

1.5.6 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE HUMEDALES ARTIFICIALES

El diseño hidráulico de un humedal es crítico para obtener buenos rendimientos en la eficiencia de depuración. En los modelos de diseño se asume un flujo en condiciones uniformes y de tipo pistón.

Para llegar a poder intentar acercarse al modelo ideal (flujo pistón) es muy importante realizar un cuidadoso diseño hidráulico y los métodos constructivos apropiados.

El flujo del agua en el interior del humedal debe romper las resistencias creadas por la vegetación, capa de sedimentos, raíces y sólidos acumulados en los humedales.

La energía para romper esta resistencia está dada por la pérdida de carga entre el ingreso y salida del humedal, para dar esta energía se le asigna al fondo del humedal una pendiente con una salida de altura variable.

Para el diseño de humedales se deben considerar los siguientes criterios:

- Se consideran reactores biológicos.
- Se considera que el flujo a través del medio poroso es flujo pistón y en forma uniforme.
- La ley de Darcy describe el flujo a través del medio poroso.

1.5.6.1 Dimensionamiento del humedal subsuperficial de flujo horizontal

Para el diseño de este tipo de humedales los pasos a seguirse son:

- Cálculo del área necesaria.
- Profundidad del humedal.
- Pendiente.
- Sustrato.
- Relación largo – ancho

1.5.6.1.1 Cálculo del 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 la DBO₅.

$$AS_L = \frac{Q_D * \ln\left(\frac{C_o}{C_f}\right)}{K_T * h * n_p}$$

Ecuación 33

Donde:

Q_D = caudal de diseño del humedal ($m^3/día$)

C = concentración DBO_5 efluente (mg/l)

C_o = concentración DBO_5 afluente (mg/l)

K_T = Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura (d-1)

h = profundidad del humedal (m)

n_p = porosidad del medio granular (porcentaje expresado en fracción)

La constante de reacción de primer orden se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$K_T = 1.104 * 1.06^{T_2-20}$$

Ecuación 34

Donde:

T_2 = temperatura del agua ($^{\circ}C$)

La profundidad del humedal generalmente varia de 0,3 a 1 m (valor usual 0,6m), con una pendiente de 0,1 a 1%, siendo el valor usual de 0,5%.

1.5.6.1.2 Sustrato

Para el diseño se recomienda utilizar grava con menos de 30 mm (3/4") de diámetro que parece ser la que funciona mejor.

Si se utiliza grava con diámetros muy grandes de sustrato, origina que se incremente la velocidad del paso del agua, resultando en un flujo turbulento y que no se cumpla la ley de Darcy para el diseño.

Caso contrario ocurre con grava de tamaño demasiado pequeño, esta reduce la velocidad del paso de agua originando zonas con presencia de agua en la superficie y flujos preferenciales, pero tienen la ventaja de proporcionar una mayor área superficial para la actividad microbiana y la adsorción.

Antes del inicio del diseño se recomienda realizar pruebas de conductividad y porosidad del substrato (grava), esto para definir exactamente el tipo de material a emplearse. Asimismo, se recomienda multiplicar el valor de la conductividad por 1/3 o bien por 0.1 (10%) para evitar problemas de atascamiento por acumulación de lodos, raíces y otros.

Con relación a la uniformidad del material este debe tener un coeficiente de uniformidad entre 1 y 6.

En la tabla X se muestra las características principales de los substratos usados en los humedales.

Tabla X Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales horizontales.

Tipo de Material	Tamaño Efectivo D10 (mm)	Conductividad Hidraulica, ks (m ³ /m ² /d)	Porosidad, n (%)
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: Fuente: Reed et al., 1995

1.5.6.1.3 Relación Largo – Ancho

Para calcular el ancho del humedal consideramos la ley de Darcy para flujo en medio poroso.

Principio de Darcy para flujo en medios porosos:

$$Ac = \frac{Q_{MD}}{(k_s * S)} \quad \text{Ecuación 35}$$

Donde:

Ac= área transversal del lecho, m²

Q_{MD}= caudal medio, m³/s

k_s= Conductividad hidráulica, (m/s)

S = pendiente, (m/m)

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

$$W = \frac{Ac}{h} \quad \text{Ecuación 36}$$

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

$$L = \frac{A_s}{w} \quad \text{Ecuación 37}$$

Donde:

A_s= Área superficial del humedal (m²)

W= ancho del humedal (m)

Posteriormente calculamos la relación largo-ancho (L/A). Mientras mayor es la relación largo-ancho se tiene mejor depuración de las aguas, pero se tiene problemas de cortocircuitos, flujos preferenciales, presencia de agua sobre el lecho de grava y otros.

Por ello se recomienda relación largo – ancho de: 2 a 1, 3 a 1 y 4 a 1

En la tabla se muestra un resumen de los principales parámetros de diseño de los humedales sub superficiales de flujo horizontal.

1.6 NORMATIVA AMBIENTAL

Para el cálculo, diseño y dimensionamiento, de las plantas de tratamiento, se aplican las siguientes normas técnicas.

- Norma de Diseño para Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, Disposición de Excretas y Residuos Líquidos en el Área Rural, publicadas en 1995, Décima Parte (X) Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Proyecto de Código Ecuatoriano para el diseño de la Construcción de Obras Sanitarias Co 10.07 – 601 Abastecimiento de Agua Potable y Eliminación de Aguas Residuales en el Área Rural (SSA).
- Normas recomendadas por la Subsecretaría de Saneamiento Ambiental del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.

La caracterización se realiza al agua residual y calidad del efluente que se descarga al Río Napo. Se registrará la presente investigación a la normativa emitida por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente “TULSMA”.

Para tener un referencial normativo con respecto a esta investigación, consideramos a este reglamento como sustento básico, ya que en el Cantón Aguarico y en la provincia de Orellana, no existe una normativa, ordenanza o ley que regule la descarga de agua residual. (Ecuador, TULSMA)

Tabla XI Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Potencial de Hidrogeno	pH	-	5-9
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0.3
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O ₅	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O	mg/L	250
Fósforo Total	P	mg/L	10
Nitrógeno Kjeldahl total	N	mg/L	15
Coliformes Fecales	Nmp/100 mL	Remoción > al 99,9 %	
Potencial hidrógeno	pH		5-9
Sólidos Suspendidos		mg/L	100
Sólidos sedimentables		mg/L	1.0
Sólidos totales		mg/L	1 600
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	1000
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/L	0,5

FUENTE: TULSMA. Libro VI. Anexo 1.

CAPITULO II

GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO

CAPITULO II

2 GENERALIDADES DEL AREA DE ESTUDIO

El sistema de alcantarillado combinado del centro poblado de Tiputini fue diseñado por el Departamento de Alcantarillado Sanitario y Agua Potable del Municipio de Aguarico el año de 2004; y, con un mantenimiento de nuevas conexiones en el 2012

Una vez conocidos los antecedentes para la realización de esta investigación, en este capítulo se enmarca en una ejecución sistemática de las etapas investigativas; iniciando con la medición del caudal de descarga, seguido de la caracterización del agua residual; para luego realizar el levantamiento topográfico del emplazamiento en el cual se va a construir la planta de tratamiento y finalmente dimensionar las unidades de tratamiento.

2.1 LOCALIZACION DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

País:	Ecuador
Región:	Oriente
Provincia:	Orellana
Cantón:	Aguarico
Parroquia:	Tiputini
Sector:	Tiputini

2.1.2 MACROLOCALIZACIÓN

Figura 11 Localización de la Provincia Orellana en el Ecuador

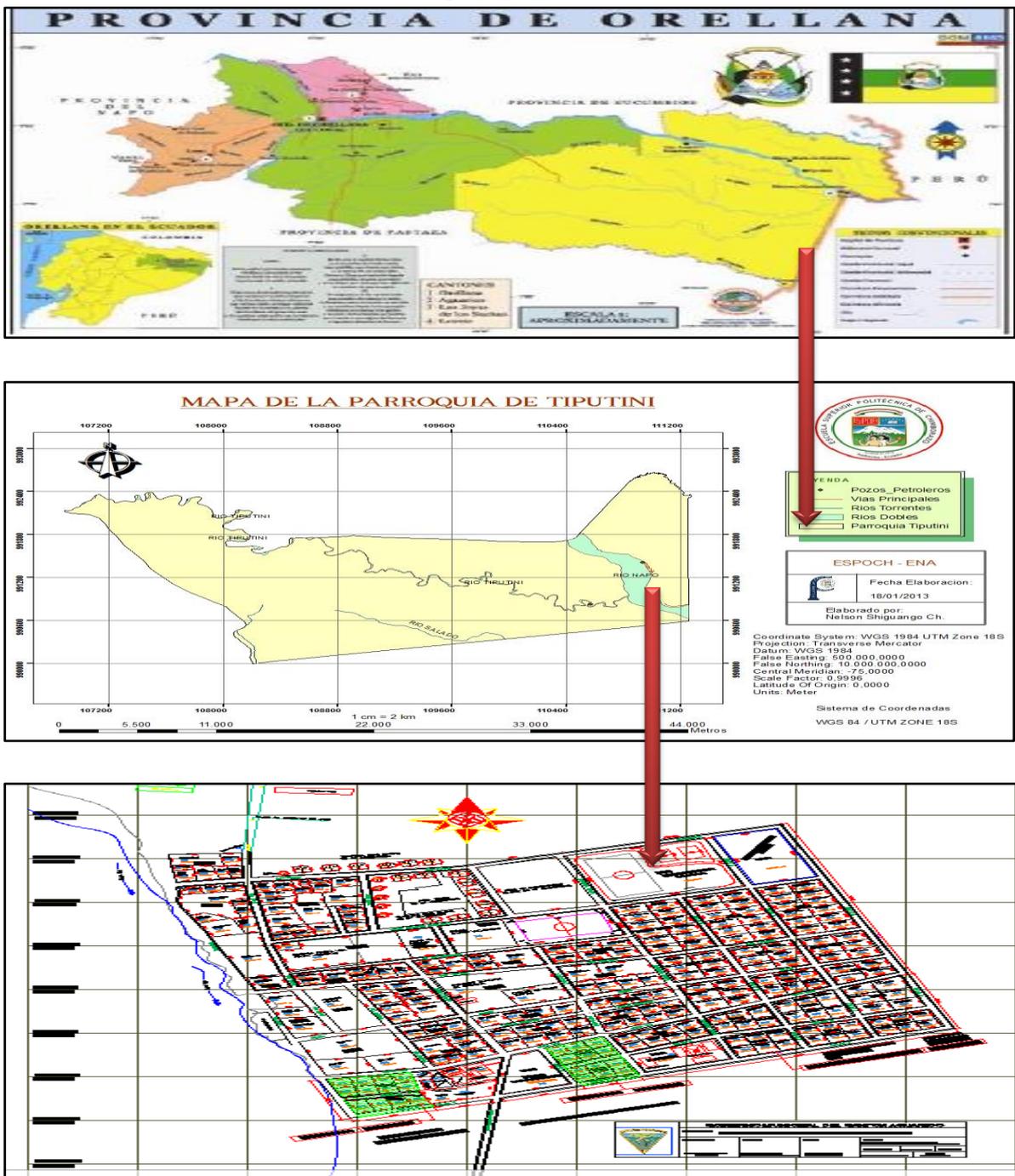


Fuente: Instituto Geográfico Militar, 2013

2.1.3 LOCALIZACIÓN DEL CENTRO POBLADO DE TIPUTINI

El centro poblado de Tiputini tiene una altura media de 182 msnm y está ubicada geográficamente entre las siguientes coordenadas UTM 18S: Latitud S: 441389; Longitud O: 9912180

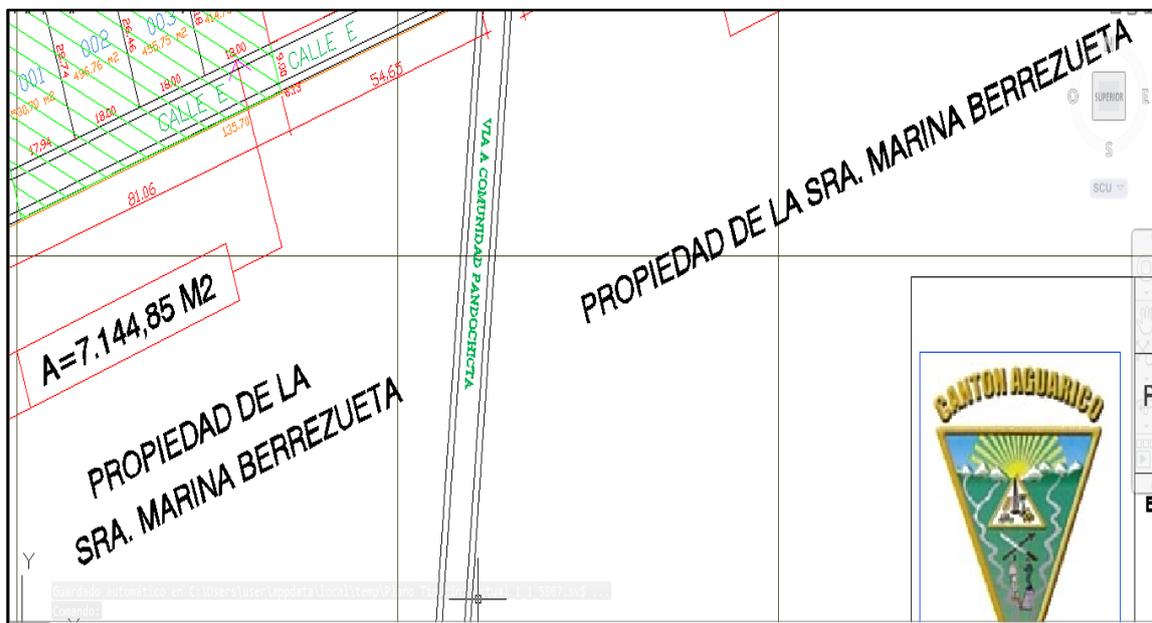
Figura 12 Ubicación del Centro Poblado de Tiputini dentro de la provincia de Orellana.



Fuente: Municipio de Aguatico, 2013

2.1.4 MICROLOCALIZACIÓN

Figura 13 Ubicación del Colector Común de las Aguas Residuales.



Fuente: Municipio de Aguarico, 2013

Se realizó el presente estudio con el inicio de la etapa de monitoreo, muestreo y medición de caudales en el colector común de la aguas residuales del Centro Poblado de Tiputini, perteneciente al Cantón Aguarico, Provincia de Orellana., del monitoreo se tiene los siguientes datos geográficos: una altitud de 182 msnm y sus coordenadas UTM 18S: 441359 X; 9912237 Y.

2.1.5 CLIMATOLOGÍA

Durante el monitoreo que se realizó durante los meses de Diciembre 2013 y enero 2014 se evidenciaron las siguientes variaciones de temperaturas: mañana 24°C ; medio día 42°C (totalmente despejado); y noche 26°C . Así también se logró evidenciar la intensidad de las lluvias que en cuestión de segundo dio lugar a la formación de charcas, cabe señalar que las aguas lluvias son drenadas a través del alcantarillado pluvial que luego es descargado al río.

2.1.6 CARACTERÍSTICAS TOPOGRÁFICAS

El terreno del Centro poblado es casi plano con pendientes que no superan en 1%. Es por tales motivos que para la descarga de las aguas residuales se emplean dos bombas tipo campana de 6HP para evacuar las aguas servidas almacenadas en dos tanques sépticos de 15 a 18 m³ de capacidad ubicadas en puntos estratégicos para la evacuación de las aguas residuales.

2.1.7 RIESGOS NATURALES

En el área de estudio según información recopilada a moradores del sector, el principal riesgo por causas naturales es el desborde del Rio Napo, mismo que en tiempos de invierno y cuando llueve intensamente en los afluentes de este, el rio tiende a subir de nivel inclusive llegando a causar inundaciones en la partes más bajas del centro poblado, en el área de implantación de la PTAR es una zona elevada.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Para la ejecución de este proyecto se ha utilizado los materiales y métodos que son detallados a continuación:

2.2.1 MATERIALES Y EQUIPOS

2.2.1.1 Materiales y equipos de campo

- Flexómetro
- Cronometro
- Cuerda de 6m
- Equipo de Protección personal (traje impermeabilizador).
- Cinta métrica
- Libreta de notas
- Cámara Fotográfica

- GPS
- Hojas de Campo.

2.2.1.2 Materiales de muestreo

- Guantes
- Mascarilla
- Termómetro
- Balde (20 L)
- Frascos Ambar (1L)
- Envases de plástico estéril (200mL)
- Cooler
- Etiquetas y Cinta de embalaje

2.3 MÉTODOS

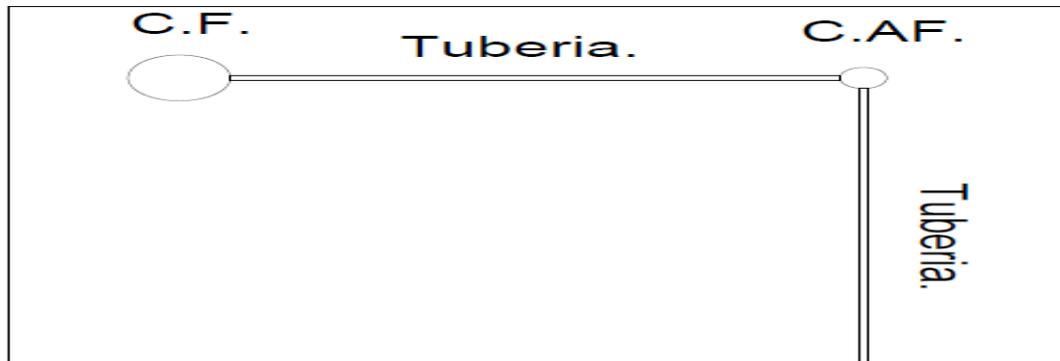
2.3.1 MÉTODO DE MEDICIÓN DE CAUDAL

Por las dificultades de acceso al colector y al diseño del colector (tanque séptico circular \varnothing 2,18m) en donde la tubería está ubicada al nivel del piso del colector, se procedió a emplear una técnica volumétrica en la que se consideró cierto volumen de agua residual acumulada en el colector hasta una altura conocida por un determinado tiempo.

Para la estimación del volumen total de agua residual acumulada se considera el volumen del colector final (CF), el volumen de un colector antes del colector final (CAF) y la longitud de tubería hasta una determinada altura según la pendiente de la misma.

En la gráfica siguiente se detallan la ubicación de los componentes utilizados para la medición del caudal.

Gráfico 4 Componentes utilizados para la medición del caudal.



Fuente: El autor, 2014

2.3.2 MÉTODO DE MUESTREO

Las muestras fueron tomadas en el colector final del sistema de alcantarillado ubicado en las coordenadas UTM 18S (X: 441359; Y 9912237), ya que desde este punto se realiza la descarga hacia el cuerpo receptor; para realizar el muestreo y en especial la toma de muestra se tiene en cuenta las horas en las que se registra un caudal máximo.

Para los análisis físico - químicos se realizó un muestreo compuesto, manual, las muestras fueron tomadas durante cinco días, durante 45 minutos diario, ya que la variabilidad del caudal era pequeña, se recogió 500mL cada 15 min, para conseguir un volumen final de 2000mL.

La toma de muestra para realizar los análisis microbiológicos se realizó de manera puntual teniendo en cuenta el caudal máximo diario, la muestra se recolecto en un frasco estéril aproximadamente 200 ml.

Las muestras debidamente etiquetadas y colocadas en un cooler fueron transportadas de manera inmediata al laboratorio (LABCESTTA). Para garantizar la confiabilidad de los resultados se envían: 2 envases de vidrio (ámbar) (2L), y 1 envase plástico esterilizado (200mL), por cada día de muestreo.

2.3.3 MÉTODO DE CARACTERIZACIÓN FÍSICO – QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL AGUA RESIDUAL.

La caracterización de las aguas residuales se fundamenta en métodos analíticos; se emplean tanto cuantitativos, para determinar las características químicas y microbiológicas, así como análisis cualitativos para el conocimiento de las características físicas.

Las muestras fueron enviadas al laboratorio LABCESTTA en la ciudad de Riobamba, en este laboratorio se utilizaron métodos descritos en el siguiente cuadro:

Tabla XII Métodos y normas para los análisis físicos químicos y bacteriológicos del agua residual

Análisis solicitado	Procedimiento Específico LABCESTTA	Método / Norma
Potencial hidrógeno	PEE-LABCESTTA-05	SM 4500-H ⁺ B
Sólidos suspendidos**	PEE-LABCESTTA-13	SM 2540 D
Sólidos totales	PEE-LABCESTTA-10	SM 2540 B
Sólidos sedimentables	PEE-LABCESTTA-56	SM 2540 F
Sulfatos	PEE-LABCESTTA-18	SM 4500-SO ₄ ⁼ E
Nitritos (N-NO ₂)	PEE-LABCESTTA-17	SM 4500-NO ₂ B
Nitratos (N-NO ₃)	PEE-LABCESTTA-16	SM 4500-NO ₃
Fósforos**	PEE-LABCESTTA-21	SM 4500-P B5/4500-PC
Demanda Bioquímica de Oxígeno**	PEE-LABCESTTA-46	SM 5210 B
Demanda química de Oxígeno	PEE-LABCESTTA-09	SM 5220 D
Aceites y grasas**	PEE-LABCESTTA-42	SM 5520 B
Detergentes/ Tensoactivos	PEE-LABCESTTA-44	SM 5540 C
Coliformes fecales	PEE-LABCESTTA-48	SM 9222 D Y 92221

FUENTE: Laboratorio LABCESTTA

Los análisis de las aguas residuales fueron realizados en el Laboratorio de Aguas y Suelos LABCESTTA, el laboratorio utiliza los métodos descritos en las normas: APHA/AWWA/Standard Methods (N° 5540C); APHA (5520C, 5210B, 5220D, 4500P, 4500 H+, 2540D, 2540B, 4500 S, 9222, 9221).

2.3.4 MÉTODOS TOPOGRÁFICOS

Pará obtener las características topográficas del terreno donde se ubicará la PTAR se inició con la toma de datos mediante el empleo de una estación total con apreciación angular de un segundo, que fue ubicada a 441368 Longitud, 9912235 Latitud, a 182 msnm; se tomó 8 puntos de detalle en el perímetro del predio y un punto topográfico o de referencia, se aplicó los métodos planimétricos para obtener las coordenadas de los puntos y métodos altimétricos para determinar la diferencia de altura entre estos.

2.3.5 MÉTODO PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El dimensionamiento de la planta de tratamiento para las aguas residuales generadas por el centro poblado de Tiputini se realiza mediante la descripción metodológica a continuación:

- Espacio disponible para la ubicación de la planta de tratamiento.
- Características topográficas, geológicas e hidrológicas del sector.
- Condiciones ambientales y socioculturales.
- Se procede a registrar y obtener los datos de las encuestas y monitoreo de campo tales como: población actual, promedio de caudales: de diseño, medio diario, máximo diario, mínimo diario.
- De los resultados de análisis de laboratorio se realiza un análisis de los valores obtenidos con la tabla comparativa de la norma ambiental aplicable (TULSMA LIBRO 6 ANEXO 1 TABLA 12). Posterior a esto se propone y se procede a dimensionar el sistema de tratamiento de las aguas residuales para la planta.
- El diseño de las unidades que forman parte del sistema de tratamiento para la planta se realizó utilizando los criterios y ecuaciones sugeridas en las siguientes normas y guías: Normas Para Estudio y Diseño Sistemas De Agua Potable y Disposición Aguas Residuales Para Poblaciones Mayores A 1000 Habitantes. Décima Parte (X) República del Ecuador. Subsecretaria de Saneamiento Ambiental, Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias.1992, Norma Técnica RAS

2000, Títulos E, B; así como la Norma OS.90 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, la Guía para el diseño de tanque séptico, tanque Imhoff y laguna de Estabilización. OPS/CEPIS/ Lima – Perú. 2005. Guía para el Diseño Desarenadores y Sedimentadores., OPS/CEPIS/Lima – Perú 2005.

2.3.6 MÉTODO PARA LA ELABORACIÓN DE PLANOS

Obtenidas las dimensiones de las unidades para el sistema de tratamiento se procedió a la elaboración de los planos para lo cual se utilizó el Software AUTOCAD, para la interpretación de los planos se utilizaron escalas de 1:25, 1:9 y 1:6.

2.3.7 MÉTODO DE IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.

La normativa ambiental vigente sugiere una identificación y evaluación de los posibles impactos que genere una obra o actividad humana es por tal motivo que como parte de la investigación de este estudio también se realizó un estudio de las posibles afectaciones que se dieran por la construcción, funcionamiento y mantenimiento de la planta de tratamiento.

En la actualidad existen muchas metodologías que ayudan al proceso de identificación y evaluación del impacto ambiental las mismas que citamos a continuación:

- Métodos de valoración de impactos: Matriz de Leopold.
- Métodos de identificación de impactos: como trabajo de equipos interdisciplinarios (caso: Método Delphi), listas de chequeo de efectos, flujo - gramas y redes causales, cartografía ambiental, y métodos de valoración de impactos

La metodología utilizada para la identificación y evaluación de los impactos ambientales es a través de una matriz interactiva causa – efecto o matriz de Leopold, en esta matriz de doble entrada se relacionan las acciones o actividades del proyecto con los factores

ambientales, en las columnas se señalan las acciones del proyecto y, en las filas, los componentes del medio y sus características.; siendo posible su modificación o simplificación de acuerdo a lo requerido por lo cual en algunos estudios es conocida como Matriz de Leopold Modificada.

En esta matriz interaccionan las acciones con cada uno de los componentes del medio pudiendo la misma acción afectar varios factores ambientales detectando así los impactos positivos o negativos.

2.3.7.1 Caracterización de los Impactos Ambientales.

La Categorización de los impactos ambientales identificados y evaluados, se ha realizado en base al Valor del Impacto, determinado en el proceso de predicción.

Se han conformado 4 categorías de impactos:

- Altamente Significativos.
- Significativos.
- Despreciables.
- Benéficos.

La categorización proporcionada a los impactos ambientales, se lo puede definir de la siguiente manera:

a) **Impactos Altamente Significativos:** Son aquellos de carácter negativo, cuyo Valor del Impacto es mayor o igual a 6.5 y corresponden a las afecciones de elevada incidencia sobre el factor ambiental, difícil de corregir, de extensión generalizada, con afección de tipo irreversible y de duración permanente.

b) **Impactos Significativos:** Son aquellos de carácter negativo, cuyo Valor del Impacto es menor a 6.5 pero mayor o igual a 4.5, cuyas características son: factibles de corrección, de extensión local y duración temporal.

c) **Despreciables:** Corresponden a todos los aquellos impactos de carácter negativo, con Valor del Impacto menor a 4.5. Pertenecen a esta categoría los impactos capaces plenamente de corrección y por ende compensados durante la ejecución del Plan de Manejo Ambiental, son reversibles, de duración esporádica y con influencia puntual.

d) **Benéficos:** Aquellos de carácter positivo que son benéficos para el proyecto.

2.3.7.2 Metodología De Evaluación De Impactos Ambientales

2.3.7.2.1 Rangos de Calificación de impactos.

Una vez determinados los impactos ambientales positivos y negativos, se procede a la calificación cuantitativa de los mismos para determinar su Importancia Ambiental. La importancia de realizar una evaluación cuantitativa, se debe a que se disminuye la subjetividad de la Evaluación de Impactos Ambientales, obteniéndose datos ajustados a la realidad que permitirían al proponente priorizar la implementación de medidas ambientales.

A continuación se muestra la TABLA XIV en la cual se establecen los criterios y rangos de calificación de los impactos ambientales identificados para el proyecto:

Tabla XIII Categorización del impacto Ambiental

<i>CATEGORIZACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL</i>		
<i>NEGATIVOS</i>		
<i>Rango</i>	<i>Tipo</i>	<i>Indicador</i>
<i>$6,5 \leq VI$</i>	<i>Altamente Significativo</i>	
<i>$4,5 < VI < 6,5$</i>	<i>Significativo</i>	
<i>$VI \leq 4,5$</i>	<i>Despreciable</i>	
<i>POSITIVOS O BENEFICOS</i>		

Fuente: Nelson Shiguango, 2014

CAPITULO III

CÀLCULOS Y ANÀLISIS DE RESULTADOS

CAPITULO III

3 CÁLCULOS Y RESULTADOS

3.1 CÁLCULOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

3.1.1 POBLACIÓN DE DISEÑO

Para determinar la población actual en el centro poblado de Tiputini se realizó el levantamiento de información mediante encuestas.

Según datos del INEC en el censo de Población y vivienda realizada en el año 2010, arroja que la población en el centro poblado de Tiputini es de 580 habitantes, con una tasa de crecimiento del 7.5%.

Para obtener la población de diseño se emplea una proyección demográfica la que se calcula con el método geométrico mediante la siguiente ecuación:

$$Pf = Pa \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde:

Pf: Población futura (hab)

Cuadro 1 Datos para el cálculo de la población de diseño

	Parámetro	Unidad	Dato
Pa:	Población actual (2013)	Hab.	776
r:	tasa de crecimiento anual en forma decimal	%	7.55
n	periodo de diseño	años	20

Fuente: CENSO INEC, 2010 & Encuesta Nelson Shiguango, 2013

$$Pf = Pa \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n$$

$$Pf = 776 \left(1 + \frac{7.55}{100}\right)^{20}$$

$$Pf = 3327 \text{ habitantes}$$

3.1.2 CAUDAL DE DISEÑO

$$Q_{DISEÑO} = Q_M * F + Q_{INF} + Q_{CE}$$

Ecuación 39

Donde:

$Q_{Diseño}$: Caudal de diseño (L/s)

Q_M : Caudal medio de aguas residuales (L/s)

F : Factor de mayoración (L/s)

Q_{INF} : Caudal de infiltración (L/s)

Q_{CE} : Caudal de conexiones erradas (L/s)

3.1.2.1 Cantidad de agua residual.

Según referencia bibliográfica se dice que el 85 % del total de agua potable consumida, se convierte en agua residual, en el ANEXO I constan los hidrogramas diarios; en los

cuales se aprecia los volúmenes del agua residual generada por el centro poblado de Tiputini en base a las mediciones de caudales por el método volumétrico.

Los resultados de los hidrogramas arrojaron un promedio de agua residual de 117.5 m³/día; los mismo que se detallan en la siguiente tabla y gráfico correspondiente.

Cuadro 2 Resumen de los resultados de medición del Caudal de las aguas residuales.

Día	Volumen (m ³)	Tiempo (min)	Caudal (m ³ /min)
1	6.54	80.1	0.0821
2	6.54	80.2	0.0819
3	6.54	80.6	0.0815
4	6.54	80.1	0.0822
5	6.54	81.3	0.0808
6	6.54	81.2	0.0809
7	6.54	80.5	0.0815
Promedio	6.54	80.6	0.0816
		Caudal (m ³ /día)	117.465

Fuente: Nelson Shiguango, 2014

Para determinar la dotación de agua se emplea el dato de medición del caudal de agua residual y la población actual:

$$Dotacion \left(\frac{L}{hab * dia} \right) = \frac{Q_{prom} * 1000 L/m^3}{Pa}$$

$$Dotacion \left(\frac{L}{hab * dia} \right) = \frac{117.465 m^3/dia * 1000 L/m^3}{776 hab}$$

$$Dotacion \left(\frac{L}{hab * dia} \right) = 151.37 \frac{L}{hab * dia}$$

3.1.2.2 Caudal medio de aguas residuales

$$Q_M = \frac{P_f * D * C}{86400 \text{ s/día}} \quad \text{Ecuación 40}$$

Donde:

P_f : Población futura (hab)

D : Dotación del agua (L/hab*día)

C : Coeficiente de retorno

Cuadro 3 Datos para el cálculo del caudal medio de aguas residuales

Parámetro	Unidad	Valor
Población actual	Hab.	776
Población futura	hab.	3327
Dotación de agua	L/hab*día	151.37
Coeficiente de retorno	-	0.7

Reemplazando datos tenemos:

$$Q_M = \frac{3327 \text{ hab} * 151.37 \frac{\text{L}}{\text{hab} * \text{día}} * 0.7}{86400 \text{ s/día}}$$

$$Q_M = 4.08 \text{ L/s}$$

3.1.2.3 Factor de Mayoración

El factor de mayoración considera a las variaciones en el consumo de agua por parte de la población, es así que este valor disminuye en la medida en que el número de habitantes considerado aumenta. La estimación de este valor debe ser determinada a partir de mediciones de campo. Sin embargo en muchos de los casos esto no es posible, por lo cual es necesario estimarlo con base en relaciones aproximadas como la de Harmon válida para poblaciones de 1 000 a 1000000 habitantes, rango dentro del cual se

encuentra la población del área en estudio por lo que se puede determinar de manera teórica este valor mediante la siguiente ecuación:

$$F = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{P_f}{1000}}} \quad \text{Ecuación 41}$$

$$F = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{3327}{1000}}}$$

$$F = 3.404$$

3.1.2.4 Caudal de infiltración

Para el cálculo del caudal de infiltración primeramente se define a este caudal como toda agua que entra a la red de alcantarillado proveniente del suelo a través de conexiones a construcciones, tuberías defectuosas, uniones de tubería, conexiones no controladas o por las paredes de los pozos de inspección.

Para obtener el caudal de infiltración se utiliza los datos de Aportes por infiltración en redes de sistemas de recolección y evacuación de aguas residuales establecidos en la RAS 2000 Título D, que son: 0.15 – 0.4 L/s*Ha, por lo que tenemos:

$$Q_{INF} = 0.20 \frac{L}{s*Ha} * Ha \quad \text{Ecuación 42}$$

$$Q_{INF} = 0.20 \frac{L}{s * Ha} * 4.65 Ha$$

$$Q_{INF} = 0.93 L/s$$

3.1.2.5 Caudal de conexiones erradas

También se considera los aportes de aguas lluvias al sistema de alcantarillado sanitario, provenientes de malas conexiones de bajantes de techos y patios. Estos aportes son función de la efectividad de las medidas de control sobre la calidad de las conexiones

domiciliarias y de la disponibilidad de sistemas de recolección y evacuación de aguas lluvias. Para obtener este dato se emplea la siguiente ecuación:

$$Q_{CE} = 0.10 * (Q_M * F + Q_{INF}) \quad \text{Ecuación 43}$$

$$Q_{CE} = 0.10 * (4.080 \frac{L}{S} * 3.404 \frac{L}{S} + 0.93 \frac{L}{S})$$

$$Q_{CE} = 1.482 \frac{L}{S}$$

Una vez realizados el cálculo de los parámetros para determinar el caudal de Diseño, reemplazamos los valores:

$$Q_{DISEÑO} = Q_M * F + Q_{INF} + Q_{CE} \quad \text{Ecuación 44}$$

$$Q_{DISEÑO} = 4.080 \frac{L}{S} * 3.404 + 0.93 \frac{L}{S} + 1.482 \frac{L}{S}$$

$$Q_{DISEÑO} = 16.301 \frac{L}{S}$$

3.1.2.6 Caudal mínimo de diseño ($Q_{\text{mínDiseño}}$)

La determinación de este caudal es utilizando las mismas ecuaciones que se aplicó anteriormente para obtener el caudal de diseño pero considerando a la población actual; y se obtiene:

$$Q_{\text{mínDiseño}} = Q_M * F + Q_{INF} + Q_{CE} \quad \text{Ecuación 45}$$

$$Q_{\text{mínDiseño}} = 0.952 \frac{L}{S} * 3.868 \frac{L}{S} + 0.93 \frac{L}{S} + 0.461 \frac{L}{S}$$

$$Q_{\text{mínDiseño}} = 5.073 \frac{L}{S}$$

3.1.2.7 Cálculo para el caudal medio diario

La determinación de este caudal se realiza con la sumatoria del caudal medio, el caudal de infiltración y el de conexiones erradas.

$$Q_{MD} = Q_M + Q_{INF} + Q_{CE} \quad \text{Ecuación 46}$$

$$Q_{MD} = 4.080 \frac{L}{s} + 0.93 \frac{L}{s} + 1.482 \frac{L}{s}$$

$$Q_{MD} = 6.492 \frac{L}{s}$$

3.1.3 DIMENSIONAMIENTO DEL CANAL DE LLEGADA.

El canal de llegada es diseñado de modo que se obtengan las velocidades establecidas en la Norma para Estudio y Diseño de sistemas de agua potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes; para el caudal medio diario la velocidad debe ser mayor a 0.6m/s y para el caudal máximo o de diseño será menor a 2.5m/s.

Para verificar que lo anterior se cumpla se utiliza las ecuaciones, que se mencionó en el capítulo II, los datos requeridos para los cálculos se resumen en la siguiente tabla:

Tabla XIV Datos para el cálculo de verificación de la velocidad

Parámetro	Abreviatura	Unidad	Datos
Caudal medio diario	Q_{MD}	m^3/s	0.006492
Caudal de diseño	$Q_{Diseño}$	m^3/s	0.0163
Material del canal	-	-	Hormigón
Coefficiente de rugosidad de Manning *	N	-	0.016
Base del canal(asumida)	b	M	0.5
Altura del canal(asumida)	H	M	0.6
Pendiente del canal (asumida)	S	%	0.5

***Fuente:** Normas Ecuatorianas Para Estudio Y Diseño De Sistemas De Agua Potable Y Disposición De Aguas Residuales.

3.1.3.1 Coeficiente de Manning

Para el caudal medio diario tenemos:

$$K = \frac{Q_{MD} * N}{b^{8/3} * S^{1/2}}$$

$$K = \frac{0.006492m^3/s * 0.016}{0.5^{8/3} * 0.005^{1/2}}$$

$$K = 0.00933$$

Para el caudal de diseño:

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

$$K = \frac{0.0163m^3/s * 0.016}{0.5^{8/3} * 0.005^{1/2}}$$

$$K = 0.0234$$

Por lo que h, para el caudal medio diario es:

$$h = 1.6624 * K^{0.74232} * b$$

$$h = 1.6624 * 0.00933^{0.74232} * 0.5m$$

$$h = 0.0259 m$$

Mientras que para el caudal de diseño h es igual a:

$$h = 1.6624 * K^{0.74232} * b$$

$$h = 1.6624 * 0.0234^{0.74232} * 0.5m$$

$$h = 0.0512 m$$

3.1.3.2 Cálculo del Radio Hidráulico (RH)

El radio hidráulico para el caudal medio diario es:

$$RH = \frac{b * h}{b + 2h}$$

$$RH = \frac{0.5m * 0.0259m}{0.5 + 2 * 0.0259}$$

$$RH = 0.0234 m$$

El radio hidráulico para el caudal de diseño es:

$$RH = \frac{b * h}{b + 2h}$$

$$RH = \frac{0.5 m * 0.0512 m}{0.5 m + 2 * 0.0512m}$$

$$RH = 0.0425 m$$

Con estos resultados se puede emplear la ecuación de Manning para verificar la velocidad:

3.1.3.2.1 Verificación de la velocidad

En el caso del caudal medio diario la velocidad es:

$$V = \frac{1}{n} RH^{2/3} * S^{1/2}$$

$$V = \frac{1}{0.016} 0.0234^{2/3} * 0.005^{1/2}$$

$$V = 0.362 m/s$$

En tanto que para el caudal de diseño tenemos

$$V = \frac{1}{n} R H^{2/3} S^{1/2}$$

$$V = \frac{1}{0.016} 0.0425^{2/3} 0.005^{1/2}$$

$$V = 0.538 \text{ m/s}$$

3.1.4 DIMENSIONAMIENTO DE REJILLAS

Referencia bibliográfica sugiere que para caudales inferiores a 0.0538 m³/s se recomienda instalar rejillas de limpieza manual, que estarán ubicadas a continuación del canal de llegada con la finalidad de retener el material grueso que lleva consigo el agua residual. En la Norma Ecuatoriana para Estudio y Diseño de sistemas de agua potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes se sugiere que las barras sean de sección rectangular y que se dispongan con una inclinación de 44 a 60° con respecto a la horizontal.

Tabla XV Parámetros para el dimensionamiento de rejillas

Parámetro	Abreviatura	Unidad	Valor recomendado	Valor escogido
Caudal de diseño	Q _{Diseño}	m ³ /s		0.0163
Velocidad mínima de aproximación*	V _a	m/s	0.3 – 0.6	0.50
Velocidad mínima entre barras*	V _{Bm}	m/s	0.3 – 0.6	0.5
Aceleración de la gravedad	G	m/s ²	9.8	-
Altura de seguridad	H _s	M	0.50	
Ancho del canal (propuesto)	L	M	0.5	-
Espesor de barra**	S	Mm	5 -15	12
Separación entre barras*	e	Mm	15 - 50	25
Angulo de Inclinación **	A	°	44 - 60	50
Pérdida máxima de carga	H _f	m	0.015	0.015

admisible+				
------------	--	--	--	--

FUENTE: *RAS 2000 Título E., +Metcalf & Eddy 1996.

3.1.4.1 Cálculo del Área libre al paso del agua

$$A_L = \frac{Q_{DISEÑO}}{V_{Bm}}$$

$$A_L = \frac{0.0163m^3/s}{0.5m/s}$$

$$A_L = 0.0326m^2$$

3.1.4.2 Calcular el tirante del agua en el canal

$$h = \frac{A_L}{b}$$

$$h = \frac{0.0326m^2}{0.5m}$$

$$h = 0.0652m$$

3.1.4.3 Cálculo de la altura del canal (H):

$$H = h + H_s$$

$$H = 0.0652m + 0.5m$$

$$H = 0.565m$$

3.1.4.4 Cálculo de la longitud de las barras (Lb, m)

$$Lb = \frac{H}{\text{sen } \alpha}$$

$$Lb = \frac{0.565}{\text{sen } 50}$$

$$Lb = 0.738m$$

3.1.4.5 Cálculo del número de barras

$$Nb = \frac{L}{e + s}$$

$$Nb = \frac{0.5m}{0.025m + 0.012m}$$

$$Nb = 13.5 \rightarrow 14 \text{ barras}$$

3.1.4.6 Pérdida de carga.

$$hf = \frac{1}{0.7} * \left(\frac{V_{Bm} - Va^2}{2g} \right)$$

$$hf = \frac{1}{0.7} * \left(\frac{0.5m/s - (0.5m/s)^2}{2 \left(\frac{9.81m^2}{s} \right)} \right)$$

$$hf = 0.0182m$$

3.1.4.7 Velocidad en el canal de aproximación

$$V_{apx} = \frac{Q_D}{A_L}$$

$$V_{apx} = \frac{0.0163m^3/s}{0.0326m^2}$$

$$V_{apx} = 0.5m/s$$

3.1.5 DIMENSIONAMIENTO DEL CANAL PARSHALL

El objetivo de la Canaleta Parshall es servir como estructura de aforo, es decir, permitir medir el caudal de agua residual que ingresa diariamente a la PTAR con el fin de poder llevar una medición y a su vez un mejor control de los procesos. El dimensionamiento parte de los caudales máximo y mínimo de agua residual.

Cuadro 4 Datos para el dimensionamiento de la canaleta Parshall

Parámetro	Abreviatura	Unidad	Resultado
Caudal mínimo de diseño	$Q_{\text{mínDiseño}}$	m^3/s	0.00507
Caudal máximo o de diseño	$Q_{\text{Diseño}}$	m^3/s	0.0163

Fuente: Nelson Shiguango, 2013

3.1.5.1 Ancho de garganta (W)

El valor se obtiene de la tabla: dimensiones y capacidad de canales Parshall, para distintos anchos de garganta W; se especifica en el Anexo II, tabla XXXII; en base a los caudales mínimo y máximo, de la revisión y análisis de los caudales en la tabla anteriormente mencionada se adopta un valor para el ancho de garganta igual a:

$$W = 0.15m$$

Para el dimensionamiento del canal se plantea que el Parshall, trabaje con descarga libre, procediéndose de esta manera a determinar las cargas de H_a y H_b para definir el comportamiento del canal parshall.

Para tal efecto el valor del grado de sumergencia S, está dado por la expresión:

$$S = \frac{H_b}{H_a}$$

Donde:

Ha: carga a la entrada del canal Parshall

Hb: carga cerca del extremo inferior en la garganta del Parshall

3.1.5.2 Grado de sumersión

El valor del grado de sumersión para descarga libre y sumergida, varía en función del ancho de garganta (W), según el Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento”, Libro III, pág 84, para este caso los valores son los siguientes:

Tabla XVI Valor de grado de sumersión

Ancho de Garganta	Descarga Libre	Con Sumersión
$W < 0.30 \text{ m}$	$S < 0.60$	$0.60 < S < 0.95$

FUENTE: Comisión Nacional del Agua Manual De Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Selección e Instalación de Equipos de Macromedición. México 2007

Entonces para el valor de sumergencia considerando que la descarga es libre el valor es de 0.60 o igual a una relación de:

$$\frac{Hb}{Ha} = 0.60 = 60\%$$

De la expresión anterior se debe obtener el valor de la carga *Hb*, para lo cual es necesario primeramente conocer el valor de *Ha*, el cual se puede determinar con el caudal que circulará a través del Parshall mediante la siguiente expresión:

$$Q = mH^s$$

Donde:

m y *s*: Constantes que varían en función de W, en la tabla XVIII, se especifican las fórmulas para evaluar el gasto en función de estas.

Tabla XVII Fórmulas para evaluar el gasto

ANCHO DE GARGANTA	FÒRMULA
$W < 0.15\text{m}$	$Q = 0.03812 H^{1.58}$
$0.30 > W < 2.5\text{m}$	$Q = 0.3716W(3.281 H)^{1.522W^{0.26}}$
$2.50 > W < 15\text{m}$	$Q = (2.292W + 0.474) H^{1.6}$

FUENTE: Comisión nacional del Agua Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento. Selección e instalación de equipos de Macromedición, México 2007.

La ecuación correspondiente a $W = 0.15\text{m}$ es:

$$Q = 0.3812H^{1.58}$$

Al despejar se tiene:

$$Ha = \sqrt[1.58]{\frac{Q}{0.381}}$$

Ha máx: Carga correspondiente al caudal máximo o de diseño

$$Ha = \sqrt[1.58]{\frac{Q_D}{0.381}}$$

$$Ha = \sqrt[1.58]{\frac{0.01630 \text{ m}^3/\text{s}}{0.381}}$$

$$Ha = 0.136\text{m}$$

Ha min: Carga correspondiente al caudal mínimo de diseño

$$Ha = \sqrt[1.58]{\frac{Q_{MD}}{0.381}}$$

$$H_a = \sqrt[1.58]{\frac{0.00507 \text{ m}^3/\text{s}}{0.381}}$$

$$H_a = 0.0649 \text{ m}$$

$$\frac{H_b}{H_a} = 0.60$$

$$H_b = 0.60 H_a$$

Hb_{máx}

$$H_b = 0.60 * H_a \text{ max}$$

$$H_b = 0.60 * 0.136 \text{ m}$$

$$H_b = 0.0816 \text{ m}$$

Hb_{min}

$$H_b = 0.60 * H_a \text{ min}$$

$$H_b = 0.60 * 0.0649 \text{ m}$$

$$H_b = 0.0389 \text{ m}$$

Ahora:

$$\frac{H_{a \text{ max}} - Z}{H_{a \text{ min}} - Z} = \frac{Q_{\text{max}}}{Q_{\text{min}}}$$

Resolviendo la ecuación y despejando la incógnita Z, tenemos la siguiente expresión:

$$Z = \frac{(Q_{\text{min}} * H_{a \text{ max}}) - (Q_{\text{max}} * H_{a \text{ min}})}{(Q_{\text{min}} - Q_{\text{max}})}$$

$$Z = \frac{(0.00507 \text{ m}^3/\text{s} * 0.136 \text{ m}) - (0.0163 \text{ m}^3/\text{s} * 0.0649 \text{ m})}{(0.00507 \text{ m}^3/\text{s} - 0.0163 \text{ m}^3/\text{s})}$$

$$Z = 0.0328 \text{ m}$$

3.1.6 DIMENSIONAMIENTO DE DESARENADOR

La normas RAS 2000 Título E sugiere que se diseñe dos desarenadores, esto con la finalidad de facilitar el mantenimiento y la continuación en el tratamiento del agua residual cruda, sin embargo tomando cuenta que el caudal es bajo y por cuestiones de disponibilidad de espacio y económicas se dimensionará un desarenador. Los datos necesarios se indican en la siguiente tabla:

Tabla XVIII Parámetros para el dimensionamiento del desarenador

Parámetros	Expresado como	Unidad	Datos
Caudal de diseño	$Q_{\text{DISEÑO}}$	m ³ /s	0.0163
Diámetro de la partícula*	ϕ	cm	0.015
Densidad de la arena*	ρ_s	g/cm ³	2.65
Densidad del agua residual, T=20° *	ρ	g/cm ³	0.99823
Viscosidad cinemática del agua*	N	cm ² /s	0.010105
Aceleración de gravedad	G	cm/s ²	981
Ancho del tanque desarenador*	B	m	0.5
Relación largo : ancho			2.5-5 : 1
Relación ancho : profundidad			1 : 1
Tiempo de retención hidráulico+	TRH	S	20 - 180

Fuente:*OPS/CEPIS/05.163,+Valor escogido de los sugeridos en la Norma RAS 2000 Título E.

3.1.6.1 Verificación del cumplimiento de:

$$v_a > v_s$$

A fin de garantizar que no exista arrastre de las partículas depositadas en la zona de desarenación; se realiza los siguientes cálculos.

3.1.6.2 Cálculo de la velocidad de sedimentación.

$$v_s = 0.22 \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} * g \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\phi}{(n)^{\frac{1}{3}}} \right)$$

$$v_s = 0.22 \left(\frac{2.65 \text{g/cm}^3 - 0.998 \text{g/cm}^3}{0.998 \text{g/cm}^3} * 981 \text{cm/s}^2 \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{0.015 \text{cm}}{(0.0101 \text{cm}^2/\text{s})^{\frac{1}{3}}} \right)$$

$$v_s = 2.108 \text{cm/s} \rightarrow 0.02108 \text{m/s}$$

3.1.6.3 Calcular el número de Reynolds (Re):

$$Re = \frac{v_s * d}{n}$$

$$Re = \frac{2.108 \text{ cm/s} * 0.015 \text{ cm}}{0.0101 \text{ cm}^2/\text{s}}$$

$$Re = 3.130$$

3.1.6.4 Cálculo del coeficiente de arrastre (CD)

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$$

$$C_D = \frac{24}{3.130} + \frac{3}{\sqrt{3.130}} + 0.34$$

$$C_D = 9.705$$

3.1.6.5 Cálculo de velocidad de sedimentación de la partícula en la zona de transición:

$$v_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{g}{C_D} + (\rho_s - 1) * \phi}$$

$$v_s = \sqrt{\frac{4}{3} * \frac{981 \text{cm/s}^2}{9.705} + (2.65 \text{g/cm}^3 - 1) * 0.015 \text{cm}}$$

$$v_s = 11.61 \text{cm/s} \rightarrow 0.116 \text{m/s}$$

3.1.6.6 Cálculo de la velocidad límite o velocidad de desplazamiento:

$$va = 125[(\rho_s - \rho)\phi]^{1/2}$$
$$va = 125 \left[\left(\frac{2.65g}{cm^3} - \frac{0.998g}{cm^3} \right) 0.015cm \right]^{1/2}$$
$$va = 19.676 \frac{cm}{s} \rightarrow 0.1967m/s$$

3.1.6.7 Cálculo del área superficial mediante la expresión:

$$As = \frac{Q_{DISEÑO}}{va}$$
$$As = \frac{0.0163 m^3/s}{0.1967 m/s}$$
$$As = 0.083 m^2$$

3.1.6.8 Cálculo de las dimensiones del desarenador:

3.1.6.8.1 Longitud del desarenador

Se utiliza la relación largo ancho 5:1, entonces

$$\frac{L_D}{B} = \frac{1}{5} \Rightarrow L_D = 5 * B$$

$$L_D = 5 * B$$

$$L_D = 5 * 0.5m$$

$$L_D = 2.5m$$

3.1.6.8.2 Profundidad del desarenador (H_D)

Para determinar H_D se aplica la relación ancho profundidad: 1:1

$$\frac{B}{H_D} = \frac{1}{1} \Rightarrow H_D = \frac{B}{1}$$

Despejando:

$$H_D = \frac{B}{1}$$

$$H_D = \frac{0.5m}{1}$$

$$H_D = 0.5m$$

3.1.6.8.3 Cálculo del Área total

$$At = L_D * B$$

$$At = 2.5m * 0.5m$$

$$At = 1.25 m^2$$

3.1.6.9 Cálculo de la velocidad horizontal:

$$Vh = \frac{Q_{DISEÑO}}{At}$$

$$Vh = \frac{0.0163 m^3/s}{1.25m^2}$$

$$Vh = 0.01304m/s$$

Entonces verificamos que:

$$va > Vh \Rightarrow 0.1967 m/s > 0.01304m/s \quad \textbf{Cumple}$$

3.1.6.10 Cálculo del periodo de retención:

$$V = L_D * B * H_D$$

$$V = 2.5m * 0.5m * 0.5m$$

$$V = 0.625m^3$$

$$tr = \frac{V}{Q_{DISEÑO}}$$

$$tr = \frac{0.625m^3}{0.0163 m^3/s}$$

$$tr = 38.34 s$$

3.1.6.11 Cálculo de la longitud de transición al ingreso del desarenador

$$Lt = \frac{B - b_1}{2 \operatorname{tg} \theta}$$

$$Lt = \frac{0.5m - 0.136m}{2 \operatorname{tg} 12.5^\circ}$$

$$Lt = 0.821 m$$

3.1.7 DIMENSIONAMIENTO DEL LECHO DE SECADO

El diseño del lecho de secado se realiza en base a los siguientes datos:

Tabla XIX Datos para el diseño del lecho de secado

Caudal de diseño	$Q_{Diseño}$	$m^3/día$	1408.39
Caudal mínimo	$Q_{mín}$	$m^3/día$	438.27
Población actual	P_a	hab	776
Población futura	P_f	hab	3327
Densidad de lodos	ρ_{lodo}	Kg / L	1.03
Sólidos suspendidos	SS	mg/L	120.2
% Sólidos	%	%	13
Tiempo de digestión*	Td	días	50
Profundidad de aplicación*	Hal	m	0.5

Fuente: *Normas OPS/CEPIS. Lima 2005

3.1.7.1 Determinar la carga de sólidos que ingresa al Desarenador.

$$120.2SS \frac{mg}{l} * \frac{1}{3327 \text{ hab}} * 1408.39 \frac{m^3}{dia} \frac{1000L}{1m^3} * \frac{1g}{1000mg} = 218.15 g \frac{SS}{had. dia}$$

$$C = \frac{\text{poblacion} * \text{contribucion percapita} (\frac{gSS}{kg})}{1000}$$

$$C = \frac{3327 \text{ hab} * 218.155 (\frac{gSS}{hab. kg})}{1000}$$

$$C = 725.832 \text{ KgSS}/dia$$

3.1.7.2 Determinar la masa de Sólidos que conforman los lodos:

$$Msd = (0.5 * 0.7 * 0.5 * C) + (0.5 * 0.3 * C)$$

$$Msd = (0.5 * 0.7 * 0.5 * 725.83 \text{ KgSS}/dia) + (0.5 * 0.3 * 725.83 \text{ KgSS}/dia)$$

$$Msd = 235.895 \text{ KgSS}/dia$$

3.1.7.3 Determinar el Volumen diario de lodos digeridos:

$$Vld = \frac{Msd}{\rho \text{ lodo} * (\frac{\%solidos}{100})}$$

$$Vld = \frac{235.895 \text{ KgSS}/dia}{1.03 \text{ Kg}/L * (\frac{12}{100})}$$

$$Vld = 1761.73 \text{ L}/dia$$

3.1.7.4 Determinar el Volumen a extraerse del Desarenador

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000}$$

$$Vel = \frac{1761.73 \text{ L/dia} * 50}{1000}$$

$$Vel = 88.086 \text{ m}^3$$

3.1.7.5 Determinar el Área Lecho de secado

$$Als = \frac{V}{Hal}$$

$$Als = \frac{88.086 \text{ m}^3}{1.2 \text{ m}}$$

$$Als = \frac{73.405 \text{ m}^2}{4 \text{ unidades}} = 18.35 \text{ m}^2$$

Largo del lecho 2.5m.

Ancho del lecho:

$$Ancho = \frac{18.35 \text{ m}^2}{2.5 (4) \text{ m}} = 1.835 \text{ m}$$

3.1.8 DIMENSIONAMIENTO DE LA LAGUNA ARTIFICIAL

3.1.8.1 Cálculo del área superficial

$$As_L = \frac{Q_D * \ln\left(\frac{C_0}{C_f}\right)}{K_T * h * n_p}$$

$$As_L = \frac{1408.391 \text{ m}^3/\text{dia} * \ln\left(\frac{244.4 \text{ mg/L}}{90 \text{ mg/L}}\right)}{1.394/\text{dia} * 0.7 \text{ m} * 0.38}$$

$$As_L = 3795.011 \text{ m}^2$$

3.1.8.2 Cálculo del ancho de la laguna

$$As_L = L * W$$

$$L = 2W \rightarrow 2W * W = As_L$$

$$W = \sqrt{\frac{As_L}{2}}$$

$$W = \sqrt{\frac{3795.011 \text{ m}^2}{2}}$$

$$W = 43.56 \text{ m}^2$$

3.1.8.3 Cálculo del largo de la laguna

$$L = 2W$$

$$L = 2 * 43.56 \text{ m}$$

$$L = 87.12 \text{ m}$$

3.1.8.4 Cálculo del Flujo o capacidad hidráulica de la laguna

$$Q = K_S * A * S$$

$$* K_S = K_S * 0.334$$

$$* A = h * W$$

$$* S = \left(\frac{h}{L}\right) * 0.1$$

$$Q = (K_S * 0.334) * (h * W) * \left(\frac{h}{L}\right) * 0.1$$

$$Q = (100 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dia} * 0.334) * (0.7 \text{ m} * 43.56 \text{ m}) * \left(\frac{0.7 \text{ m}}{87.12 \text{ m}}\right) * 0.1$$

$$Q = 0.813 \text{ m}^3/\text{dia}$$

3.1.8.5 Tiempo de Retención Teórico

$$Tr = \frac{\ln(Co) - \ln(Cf)}{K^T}$$
$$Tr = \frac{\ln(244.4 \text{ mg/L}) - \ln(90 \text{ mg/L})}{1.394/\text{dia}}$$
$$Tr = 0.717 \text{ dia}$$

3.1.8.6 Área transversal del lecho

$$Ac = \frac{Q_{MD}}{K_S * S}$$
$$Ac = \frac{1408.391 \text{ m}^3/\text{dia}}{9250 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ dia} * 0.005}$$
$$Ac = 30.45 \text{ m}^2$$

3.1.8.7 Ancho del humedal

$$W = \frac{Ac}{h}$$
$$W = \frac{30.45 \text{ m}^2}{0.7 \text{ m}}$$
$$W = 43.5 \text{ m}$$

3.1.8.8 Largo del humedal

$$L = \frac{A_s}{w}$$
$$L = \frac{3795.011 \text{ m}^2}{43.5 \text{ m}}$$

105

$$L = 87.24 \text{ m}$$

Dentro de la unidad de tratamiento final se implementaran dos lagunas por lo que las dimensiones anteriormente calculadas se dividen para dos (2) siendo las medidas de ancho y largo las siguientes:

$$W = 21.75 \text{ m} \quad L = 43.62 \text{ m}$$

3.2 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.2.1 RESULTADO DEL CENSO REALIZADO

La realización de la presente investigación se la llevo con actividades de campo, una de estas fue la realización de un censo a manera de encuesta para conocer la población actual, la disponibilidad de los servicios básicos y la actividad económica en el área de estudio.

El levantamiento de la información se realizó el día martes 3 de diciembre del 2013 con la ayuda de un plano facilitado por el departamento de planificación del Municipio de Aguarico y con los formatos de encuesta especificados en el ANEXO III

Los resultados de la encuesta se resumen a continuación:

Tabla XX Resultado de la encuesta de Población y vivienda

POBLACION Y VIVIENDA											
			Tipo de Vivienda			Población				Promedio	
# Lotes	Casas	No	Madera	Cemento	Mixta /pisos	Familias	Mayores Edad > 16	Menores de Edad <16	Hab/casa	Hab/familia	a
138	159	6	102	44	7	185	468	308			

	153	153	185	776	5.071	4.195
--	-----	-----	-----	-----	-------	-------

FUENTE: Nelson Shiguango, 2013

Como resultado de la encuesta de población y vivienda realizado al área de estudio se obtuvo que actualmente habitan Tiputini 776 personas, así también se logró evidenciar que existen 159 viviendas de la cuales 6 no están habitadas y se están construyendo 25 viviendas con el proyecto de MIDUVI. El promedio de habitantes por casa es de 5.071 y el de habitante por familia es de 4.195.

Tabla XXI Resultado de la encuesta de Servicios Básicos

SERVICIOS BASICOS													
Abastecimiento de Agua			Eliminación de Excretas		Servicio de Tv CABLE		Eliminación de Basura			Teléfono Convencional		Telefonía Celular	
Red publica	Pozo	Ninguno	Red Alcantarillado	Fosa Séptica	Con servicio	Sin Servicio	Carro Recolector	Otra forma	Con Servicio	Sin Servicio	Con servicio	Sin Servicio	
153	0	0	145	8	94	59	153		76	77			
153			153		153		153			153		204	7

Fuente: Nelson Shiguango, 2013

En base a los resultados de la encuesta realizada para los servicios básicos se detalla a continuación el análisis de cada parámetro.

3.2.1.1 Abastecimiento de agua

En el área de estudio en 100% de la población se abastece del agua suministrada por la red de agua potable dotada por la municipalidad.

3.2.1.2 Eliminación de Excretas

La eliminación de las excretas en la mayor parte de los hogares (95%) son descargadas a la red de alcantarillado sanitario, el 5% lo realiza a fosa sépticas.

Gráfico 5 Eliminación de excretas

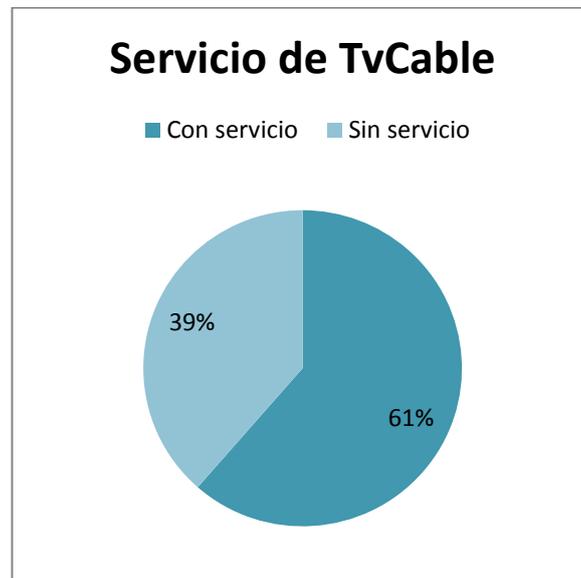


Fuente; Nelson Shiguango, 2013

3.2.1.3 Servicio de TvCable

Del total de las viviendas el 39% tiene el servicio de TvCable brindado por la Operadora de CNTTv y DirectTv; y el 61% no cuenta con este servicio.

Gráfico 6 Servicio de TvCable



Fuente: Nelson Shiguango, 2013

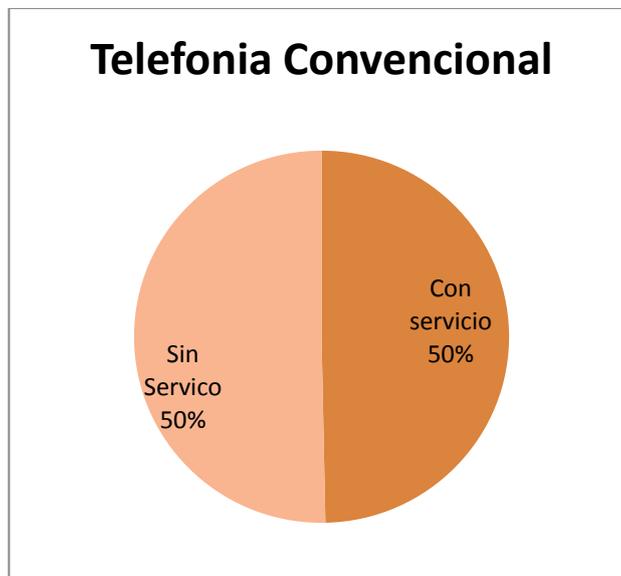
3.2.1.4 Eliminación de la Basura

Actualmente el municipio de Aguarico bajo la coordinación con el departamento de ambiente y residuos sólidos, presta el servicio de recolección de la basura a toda la población de Tiputini mediante una camioneta, es decir el 100% de la población entrega la basura al carro recolector para su disposición final en el relleno sanitario.

3.2.1.5 Servicio de teléfono convencional

El 50 % de la población cuenta con el servicio de telefonía convencional y el otro 50% no posee este servicio, Este servicio es brindado por la operadora de CNT. EP.

Gráfico 7 Servicio de teléfono convencional

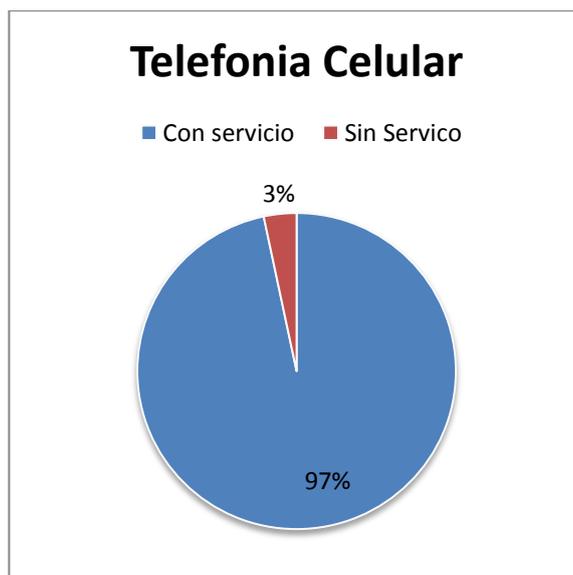


Fuente: Nelson Shiguango, 2013

3.2.1.6 Telefonía Celular

El 97% de la población tiene celular y el restante 3% no cuenta con este servicio, el mismo que es realizado por la operadora de CLARO.

Gráfico 8 Telefonía Celular



Fuente: Nelson Shiguango, 2013

3.2.1.7 Otros servicios básicos.

Entre estos servicios tenemos el abastecimiento de energía eléctrica que es realizado por la empresa pública de CENEL, misma que es generada por generadores ubicados a las afueras del centro poblado.

El servicio de internet es limitado y solo cuentan con esto las instalaciones del Municipio, el Infocentro y CNT.

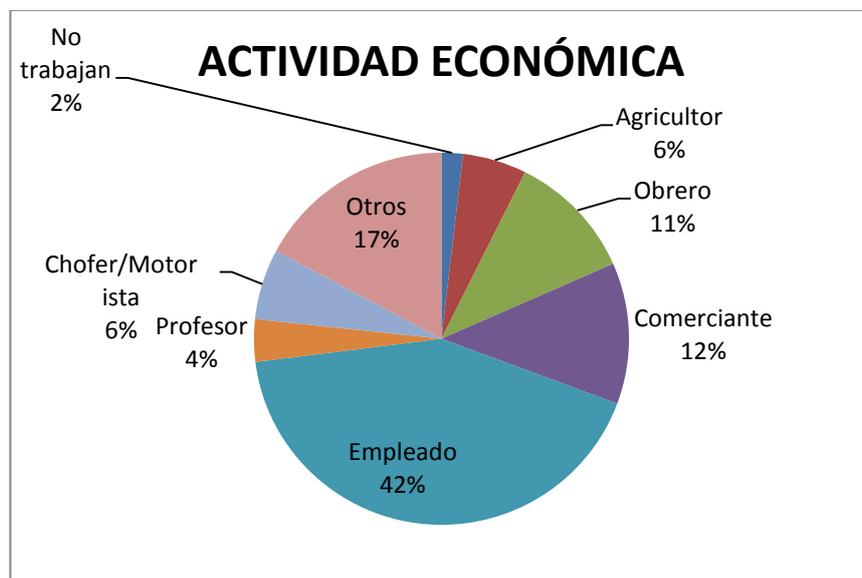
Tabla XXII Resultados de la encuesta de Actividad Económica

ACTIVIDAD ECONOMICA								
TRABAJAN	NO TRABAJA	AGRICULTOR	OBRERO	COMERCIANTE	EMPLEADO	PROFESOR	CHOFER/MOTORISTA	OTROS
163	3	9	18	20	69	6	10	28

Fuente: Nelson Shiguango, 2013

De las 163 personas que trabajan el 2% no trabaja, el 6% se dedica a la agricultura, el 11% es obrero, el 12% es comerciante, el 69% es empleado de las entidades públicas, el 4% es profesor, el 6% es chofer siendo esta actividad desempeñada como motoristas y el 17% restante cumple labores como: bombero, guardia, militar.

Gráfico 9 Principales actividades Económicas



Fuente: Nelson Shiguango, 2013

3.2.2 RESULTADO DE LA MEDICION DE CAUDAL

Esta medición se la realizó en el colector final de las aguas residuales generadas por el centro poblado de Tiputini ubicado en las coordenadas UTM 18S (X: 441359; Y 9912237), para finalmente ser descargadas a un pantano afluente del río Napo. Los resultados de caudal se muestran en el ANEXO I, dando como resultado un caudal de diseño igual a 117.46 m³/día.

3.2.3 RESULTADO DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

De la caracterización de las aguas residuales del centro poblado de Tiputini se muestran en la TABLA XXIV.

Tabla XXIII Caracterización física, química y microbiológica de las Aguas Residuales

Parámetro	Unidad	Sábado	Lunes	Miércoles	Viernes	Domingo	Promedio	Límite Permisible	Cumplimiento NORMATIVA
Fecha de Análisis		30-11-2013	02-12-2013	04-12-2013	25-12-2013	21-01-2014			
Potencial Hidrogeno	Unidades de pH	7.09	7.64	7.49	7.36	6.59	7.23	5-9	CUMPLE
Coliformes Fecales	UFC/100ml	8.2* 10 ⁵	6.0* 10 ⁶	2.4*1 0 ⁵	1.2* 10 ⁵	>1*1 0 ⁸	2.14* 10⁷	Remoción > al 99.9%	NO CUMPLE
Sólidos Suspendidos	mg/L	144	109	131	101	116	120.2	100	NO CUMPLE
Sólidos Totales	mg/L	894. 97	838. 59	816	724	770	808.7 1	1600	CUMPLE
Sólidos Sedimentables	mg/L	10	10	60	40	50	34	1.0	NO CUMPLE
Sulfatos	mg/L	<10	<10	<10	19.4 6	<8	9.5	1000	CUMPLE
Nitritos	mg/L	<0.0 3	<0.0 3	<0.03	<0.0 3	<0.03	0.03	10	CUMPLE
Nitratos	mg/L	8	6	10.96	8.79	9.88	8.73	10	CUMPLE
Fosfatos	mg/L	4.74	4.71	4.86	12.2	12.69	7.84	0.1	NO CUMPLE
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	357. 75	371. 52	498	469	484	436.0 5	250	NO CUMPLE
Demanda	mg/L	222	220	312	208	260	244.4	100	NO CUMPLE

Bioquímica de Oxígeno (5días)									
Grasas y Aceites	mg/L	12.3	11.7	14.26	12.14	13.2	12.72	0.3	NO CUMPLE
Tensoactivos	mg/L	5.2	5.72	6.09	4.5	5.3	5.362	0.5	NO CUMPLE

Fuente: Laboratorio LABCESTTA, 2014

3.3 IMPACTO AMBIENTAL

Al igual que la ejecución de cualquier actividad o proyecto, la implementación de una planta de tratamiento para las aguas residuales será causante de impactos durante cada una de sus fases, es por tales motivos que consideramos de la implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales los posibles impactos que se ocasionen para su construcción, operación y mantenimiento, afectándose de manera directa a los componentes ambientales y culturales del área de influencia.

Dentro de la metodología para la identificación y evaluación en cada uno de los criterios de evaluación de las interacciones se empleara la matriz de doble entrada (Matriz de Leopold Causa - Efecto) durante la ejecución del proyecto y los factores ambientales que se verán afectados.

3.4 METODOLOGIA DE IDENTIFICACION Y EVALUACION DE IMPACTOS.

3.4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES.

La Categorización de los impactos ambientales identificados y evaluados, se ha realizado en base al Valor del Impacto, determinado en el proceso de predicción.

Se han conformado 4 categorías de impactos:

- Altamente Significativos.
- Significativos.
- Despreciables.
- Benéficos.

La categorización proporcionada a los impactos ambientales, se lo puede definir de la siguiente manera:

a) **Impactos Altamente Significativos:** Son aquellos de carácter negativo, cuyo Valor del Impacto es mayor o igual a 6.5 y corresponden a las afecciones de elevada incidencia sobre el factor ambiental, difícil de corregir, de extensión generalizada, con afección de tipo irreversible y de duración permanente.

b) **Impactos Significativos:** Son aquellos de carácter negativo, cuyo Valor del Impacto es menor a 6.5 pero mayor o igual a 4.5, cuyas características son: factibles de corrección, de extensión local y duración temporal.

c) **Despreciables:** Corresponden a todos los aquellos impactos de carácter negativo, con Valor del Impacto menor a 4.5. Pertenecen a esta categoría los impactos capaces plenamente de corrección y por ende compensados durante la ejecución del Plan de Manejo Ambiental, son reversibles, de duración esporádica y con influencia puntual.

d) **Benéficos:** Aquellos de carácter positivo que son benéficos para el proyecto.

3.4.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

3.4.2.1 Rangos de Calificación de impactos.

Una vez determinados los impactos ambientales positivos y negativos, se procede a la calificación cuantitativa de los mismos para determinar su Importancia Ambiental.

La importancia de realizar una evaluación cuantitativa, se debe a que se disminuye la subjetividad de la Evaluación de Impactos Ambientales, obteniéndose datos ajustados a la realidad que permitirían al proponente priorizar la implementación de medidas ambientales.

3.4.3 PRINCIPALES ACCIONES QUE SE REALIZARÁN DURANTE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE IMPLEMENTACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

3.4.3.1 Fase De Construcción

Desbroce y limpieza del terreno:

El terreno para la construcción y operación de la PTAR debe quedar libre de árboles, troncos, raíces, etc. En general, se retirará todo obstáculo que impide la ejecución de esta fase del proyecto afectando principalmente a la cobertura vegetal.

Excavación:

La excavación se realizara sobre determinadas zonas del área total del proyecto con la finalidad de remover el suelo y cambiarlo por otro de mejores condiciones para la adecuada construcción de las unidades de tratamiento y las obras complementarias. La operación de la maquinaria implica ruido y modificaciones en el suelo; así como de la vegetación.

Desalojo del material excavado:

El material excavado deberá ser transportado hacia un lugar para su almacenamiento o disposición final, para lo cual se requiere el transporte de este material mediante el uso de volquetas lo que ocasionará emisiones gases, material particulado y ruido hacia la atmosfera.

Trasporte de materiales de construcción:

Esta actividad conllevará el movimiento de vehículos desde donde se consiga el material (STOCK) hasta el lugar de construcción de la PTAR, provocando principalmente alteraciones a la calidad del aire ambiente.

Cimentación de estructuras de concreto:

Estas estructuras permanecerán en el lugar de construcción de la PTAR durante la vida útil de la planta siendo afectada la escena paisajística del lugar.

Cerramiento del predio:

El levantamiento de paredes y mallas de seguridad para las unidades de la PTAR serán necesarias de implementar como medida de protección.

Implementación o mejoramiento de vía de acceso:

Vista el estado actual de la vía que conduce al colector común donde se ubicara la planta de tratamiento será necesario el arreglo de esta, mediante un recubrimiento con material pétreo.

Contratación de mano de obra:

Esta acción tendrá un impacto benéfico significativo contribuyendo a la economía local mediante la generación de fuentes de empleo.

3.4.3.2 Fase De Operación

Proceso de Canales Parshall.

La operación de esta unidad causara la emisión de olores que afectara directamente al área de la planta y los que transitan por la vía.

Laguna Artificial

La implementación de las lagunas ocasionara un impacto visual ya que ocuparan la mayoría del área de implementación para la planta de tratamiento, así también por la funcionalidad se emitirán olores desagradables.

Vertido del agua tratada al ambiente

Una vez obtenido el efluente podrá reincorporarse al ambiente sin alterar la calidad del agua del cuerpo receptor.

3.4.3.3 Fase De Mantenimiento

Limpieza de rejillas:

Para la limpieza de las rejillas cuando estas se encuentran saturadas de residuos sólidos será realizado de manera manual para evitando así las obstrucciones en el flujo del agua residual y evitar variaciones en la velocidad de ingreso a la unidad de tratamiento siguiente; así como variaciones en el caudal o rebose del agua en el canal de la rejilla, los residuos serán adecuadamente recolectados y trasportados al relleno sanitario.

Mantenimiento desarenador:

El diseño de la planta contempla la construcción de dos desarenadores de tal forma que cuando uno este el mantenimiento, el otro de continuidad a la operación de la planta, este mantenimiento se realizara cuando el nivel de las arenas abarquen el 70% del volumen del desarenador, y luego de ser recolectadas serán llevadas al sitio de disposición final.

Control de la laguna artificial.

Se deberá dar un control de la población de plantas, el desbroce incluye la remoción de vegetación vieja, misma que será llevada al relleno sanitario para su disposición final.

3.4.4 MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

Se efectuó una matriz de causa efecto, también conocida como matriz de Leopold o doble entrada, en dicha matriz se ubicaron las actividades realizadas por cada una de las fases del proyectos en las columnas; mientras que los factores ambientales afectados se colocan en las filas; de la intersección de estas dos variables (causa-efecto) se identifican las afecciones y el grado de afección de cada actividad.

Una vez conocida las actividades que se realizaran durante las fases de implementación de la planta de tratamiento de aguas residuales para el centro poblado de Tiputini, se procede a la identificación de las interacciones de los impactos ambientales, luego se realiza la valoración según la metodología y los rangos de evaluación detallados en la TABLA XIII, para luego evaluar el número de impactos negativos e impactos positivos, tanto a nivel de filas como de columnas

Las matrices de identificación y evaluación de impactos ambientales se detallan a continuación:

3.4.4.1 Matriz de identificación y Evaluación de impactos ambientales.

EVALUACION IMPACTO AMBIENTAL																				
MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN "DISEÑO DE LA PTAR CENTRO POBLADO TIPUTINI"																				
FASES DEL PROYECTO	MANTENIMIENTO	14	Mantenimiento de la laguna artificial												SUBTOTAL NEGATIVOS	SUBTOTAL POSITIVOS				
		13	Mantenimiento de Desarenador																	
		12	Limpieza de rejillas																	
	OPERACIÓN	11	Descarga de agua tratada																	
		10	Tratamiento en las unidades																	
		9	Ingreso de agua residual cruda																	
	CONSTRUCCION	8	Contratación de mano de obra																	
		7	Apertura de vía de acceso																	
		6	Cerramiento del predio																	
		5	Cimentación de estructuras de concreto																	
		4	Trasporte de materiales de construcción																	
		3	Desalojo de material excavado																	
		2	Excavación																	
		1	Desbroce y limpieza del terreno																	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14			
MEDIO FISICO	SUELO	Alteración de la calidad del suelo	-	-	-	-	-	-	-									6		
	AGUA	Alteración del régimen superficial		-				-								-		3		
		Calidad físico-química y bacteriológica													+		+	+	3	
	AIRE	Emanación de gases y partículas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	10	1
		Ruido	-	-	-	-	-	-	-										6	
MEDIO BIOTICO	USOS DEL TERRITORIO	Afectación a zonas rurales			-			+	+					+				1	3	
	ESTÉTICOS Y DE INTERÉS HUMANO	Modificación de panoramas y paisajes	-	-	-			-	-			-	-	-	+			7	1	
		Especies menores de flora y fauna	-	-	-														2	
MEDIO SOCIO ECONOMICO	NIVEL CULTURAL Y SOCIOECONÓMICOS	Cambios en los estilos de vida							+	+	+	+	+	+				5		
		Afectación a la seguridad laboral y salud		-		-	-			-	-	-	-	+	-	-	-		9	1
		Demanda de mano de obra	+	+				+	+		+	+	+			+	+	+	0	10

		Aceptación social	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	+			+	1	11
		SUBTOTAL NEGATIVOS	5	7	6	4	5	2	3	1	3	3		3	2	1		45	
		SUBTOTAL POSITIVOS	2	2		1	2	3	3	3	3	3	6	1	2	4			35
																	45	35	
IDENTIFICACION: - = impacto negativo ; + = impacto positivo																	TOTAL IMPACTOS		80

	AGUA	Alteración del régimen superficial	5, 2				2, 1					2, 5				1	2		-3	3	86																		
		Calidad físico-química y bacteriológica											+	+	+				3	0																			
	AIRE	Emanación de gases y partículas	2, 5	2, 1	3, 4	2, 6	3, 6		1, 8		5, 5	5, 1		3, 3	3, 6	+	2	8	1	-10																			
		Ruido	2, 9	2, 3	2, 1	2, 7	3, 8		1, 4									6		-6																			
MEDIO BIOTICO	USOS DEL TERRITORIO	Afectación a zonas rurales			3, 5			+	+				+				1	3	-1																				
	ESTÉTICOS Y DE INTERÉS HUMANO	Modificación de panoramas y paisajes	3, 2	4, 5	3, 6		3, 4	3, 6			5, 2	4, 4	+				1	6	1	-7	1	16,6																	
		Especies menores de flora y fauna	3, 4	4, 3														2		-2		4																	
MEDIO SOCIO ECONOMICO	NIVEL CULTURAL Y SOCIOECONÓMICOS	Cambios en los estilos de vida							+	+	+	+	+						5	0																			
		Afectación a la seguridad laboral y salud		2, 5		3, 6	2, 9			3, 6	4, 4	4, 2	+	3, 8	3, 5	3, 2		9	1	-9	3	44,0																	
		Demanda de mano de obra	+	+				+	+		+	+	+		+	+	+			1	0	0	7																
		Aceptación social	+	+	2, 4	+	+	+	+	+	+	+	+					1	1	-1		48																	
TOTAL (Σ)																																					8		
																																						4	100
INTERACCIONES AMBIENTALES	ALTAMENTE SIGNIFICANTE																			0		0,00																	
	SIGNIFICANTE			2		1					2	1								6		7,50																	
	DESPRECIABLE		5	5	6	3	5	2	3	1	1	2		3	2	1					3	9	48,75																
	BENEFICIOSO		2	2		1	2	3	3	3	3	3	6	1	2	4						3	5	43,75															
IMPA (-)		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						3																		
		5	7	6	4	5	2	3	1	3	3	0	3	2	1					45	5	100																	
																					80		100																

3.4.4.3 Discusión de resultados de la identificación y evaluación de impactos ambientales

De la matriz de identificación y evaluación de impactos ambientales se concluye que se identificaron 45 impactos negativos y 35 impactos positivos, que se llegaran a dar en el momento que se de paso a la construcción, operación y mantenimiento de la plata de tratamiento.

Una vez realizada la valoración de los impactos ambientales se determinó los siguientes porcentajes de afecciones: 0% de afecciones altamente significativas, 7.5% de afecciones significativas, 48.75% de afecciones despreciables y 43.75% de afecciones positivas. En conclusión la construcción, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento no causara muchas afecciones a los alrededores ya que es un proyecto que beneficia al ambiente y sociedad con el tratamiento de las aguas crudas generadas por el centro poblado de Tiputini.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO IV

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se determinó el caudal de agua residual generado por el centro poblado empleando el método volumétrico, dando como resultado el caudal máximo 1.46L/s, caudal mínimo 1.27L/s y caudal promedio semanal 1.4L/s. De los cálculos para determinar el caudal de diseño se obtuvo un valor igual a 16.3 L/s, un caudal mínimo de diseño de 5.073L/s, caudal medio diario de 6.49L/s, procediéndose a dimensionar las unidades para su tratamiento.
- Los resultados de la caracterización física, química y microbiológica detallados en la TABLA XXIV, dan como resultado que ciertos parámetros están fuera del límite máximo permisible, tales como: Los coliformes fecales ($2.14 \cdot 10^7$ UFC/100ml), Solidos Suspendidos (120.2 mg/L), Solidos Sedimentables (34 mg/L), Fosfatos (7.84 mg/L), DQO (436.05 mg/L), DBO₅ (244.4 mg/L), Grasas y aceites (12.72mg/L) y Tensoactivos (5.36 mg/L). Siendo la tabla comparativa TULSMA, LIBRO 6 ANEXO I, TABLA 12.

- El dimensionamiento de las unidades de tratamiento se realizó acorde con la determinación de los caudales de diseño, la caracterización de las aguas residuales crudas, el terreno disponible para la implementación de la planta.
- El diseño de la planta de tratamiento para el centro poblado de la parroquia Tiputini, misma que tiene un sobredimensionamiento del 17% en todas sus unidades y para un tiempo de vida útil de 20 años, El canal de llegada de dimensiones: $L= 1.5\text{m}$, $A= 0.5\text{m}$ $h= 0.61\text{m}$; Rejilla: $L_{\text{varilla}}= 0.74\text{m}$, $e_{\text{varilla}}= 12\text{mm}$, $n_{\text{varillas}}= 14$; Canal Parshall: $L= 1.52\text{m}$, $W= 0.15\text{m}$, $A= 0.39$, $h= 0.62\text{m}$; Desarenador: $L= 2.5\text{m}$, $A= 0.7\text{m}$, $h= 0.7 - 0.8\text{m}$, Lechos de secado (4 unidades): $L= 2.5\text{m}$, $A= 1.83\text{m}$, $h= 0.6-1\text{m}$; Laguna Artificial (2): $L= 43.62\text{m}$, $A= 21.75\text{m}$, $h= 0.7 - 0.9\text{m}$; $S= 0.005$.

4.2 RECOMENDACIONES

- Al momento del levantamiento de información y caracterización de las aguas residuales no se evidencio la presencia de industrias, por lo que de ser el caso y llegarse a implementar una en el centro poblado, se deberá cumplimiento a la normativa que regula la descarga de aguas industriales antes de ingresar al sistema de alcantarillado, esto con la finalidad de garantizar la correcta función de la planta de tratamiento.
- Para una correcta funcionalidad de la planta de tratamiento se deberá capacitar al personal, esto mediante la coordinación de la municipalidad del Cantón Aguarico, en temas de manejo de las unidades, normas de seguridad e higiene, evitando accidentes laborales.
- Se deberá monitorear constantemente la calidad del agua tratada, y dar el mantenimiento a cada una de las unidades de tratamiento evitando el colapso y posteriores afecciones a los alrededores de la planta de tratamiento.
- Se recomienda considerar en el diseño de la plata de tratamiento la construcción de cubetos en el contorno de las unidades de tratamiento, esto debido a las elevadas precipitaciones que se dan en la zona, evitando de esta manera un desborde de las aguas residuales fuera de la planta y que estas recirculen al comienzo del sistema de tratamiento.
- Debido a la elevada carga contaminante en los sedimentos provenientes del desarenador y las tuberías, mismas que previo a su mantenimiento para ser retiradas y luego ser tratadas mediante procesos químicos o biológicos, están deberán cumplir con los parámetros permisibles según la disposición final de los lodos.
- Se recomienda el uso de pasto elefante en las lagunas artificiales, ya que esta especie es muy eficiente en el tratamiento de las aguas residuales.

CAPITULO V

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFÍA

1. **ALLENDE, A.**, Manual de tratamiento de aguas residuales Urbanas., Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría., La Habana - Cuba., 1994., Pp. 246
2. **CRITES, R y TCHOBANOGLIOUS, G.**, Tratamientos de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones., Bogotá - Colombia., McGraw Hill., 2000., Pp 33, 42 –44, 46 – 48, 168
3. **METCALF y EDDY, Inc .**, Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización., 3a.ed., Madrid – España., McGraw-Hill., 1995., Pp. 41 – 60, 95 – 102
4. **RAMALHO, R.**, Tratamiento de Aguas Residuales., 2a ed., Reveté S.A., Sevilla – España., 2003., Pp. 78
5. **RIGOLA, M y LAPEÑA, B.**, Tratamiento de Aguas Industriales.,

6. **DELGADILLO, O y CAMACHO A.,** Depuración de aguas Residuales por medio de Humedales artificiales., Universidad de Barcelona., Cochabamba – Bolivia., 2010., Pp. 7-20
http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf

7. **GARCÍA, E y PÉREZ, A.,** Aguas Residuales., Composición., Aspectos sanitarios del estudio de las aguas., Universidad de Granada., Servicio de Publicaciones. Granada., 1985.
<http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/composicion.pdf>

8. **MAITA, J.,** Dimensionamiento de una planta de tratamiento de Aguas residuales para la cabecera parroquial de Licán., Facultad de Ciencias., Ingeniería en Biotecnología Ambiental., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Riobamba - Ecuador., **TESIS.,** 2012., Pp 22
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2010/1/236T0062.pdf>

9. **BORJA, M.,** Diseño de una planta de tratamiento de Aguas Residuales de la Ciudad de Guaranda., Facultad de Ciencias., Ingeniería en Biotecnología Ambiental., Escuela Superior

Politécnica de Chimborazo., Riobamba - Ecuador., **TESIS.**,
2011., Pp 45-66

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1626/1/236T0043.pdf>

10. **VALDEZ, C y VÁZQUEZ, A.**, Ingeniería De Los Sistemas De Tratamiento y Disposición De Aguas Residuales., Fundación ICA., México D.F. – México., 2003., Pp. 3 – 7.

11. **COLOMBIA, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO DIRECCIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO.**, Reglamento Técnico del de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000., Tratamiento De Aguas Residuales., Bogotá - Colombia., 2000., Pp. 15 – 16– 38 – 39 – 50 – 52 – 113.

12. **ECUADOR, MINISTERIO DE AMBIENTE.**, Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente TULSMA., Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua., Libro VI, Anexo I., Pp 331-333

13. **PERU, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD.**, Guía Para el Diseño de Tanques Sépticos: Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización., Lima – Perú., 2005. Pp. 5 – 30

14. **PERU, ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD.**,

Centro Interamericano., Guía para el Diseño de Desarenadores., Lima – Perú., 2005., Pp. 8-10, 11, 14, 16.

15. CANAL PARSHALL.

http://virtual.cocef.org/Proyectos_certificados/Proyecto485/Final%20Design

2013/11/25

16. EL AGUA., CICLO DEL AGUA

http://www.acepesa.org/media/documentos/Folleto1_Final_no_v.pdf

2013/11/22

17. U.S. EPA., Guía para el diseño y construcción de

Un humedal construido con flujos subsuperficiales.

<https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=40001CXS.TXT>

2013/12/25

18. INGENIERÍA HIDRÁULICA Y AMBIENTAL, VOL. XXXII.,

Metodología para el diseño de humedales con flujo subsuperficial horizontal.

www.scribd.com/doc/91094453/Guia-Humedal-SubSuperficial-EPA-1993

2013/12/25

19. TOMA Y PRESERVACIÓN DE LA MUESTRA.

http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_DeAguas/Toma_De_Muestra

2013/11/25

ANEXOS

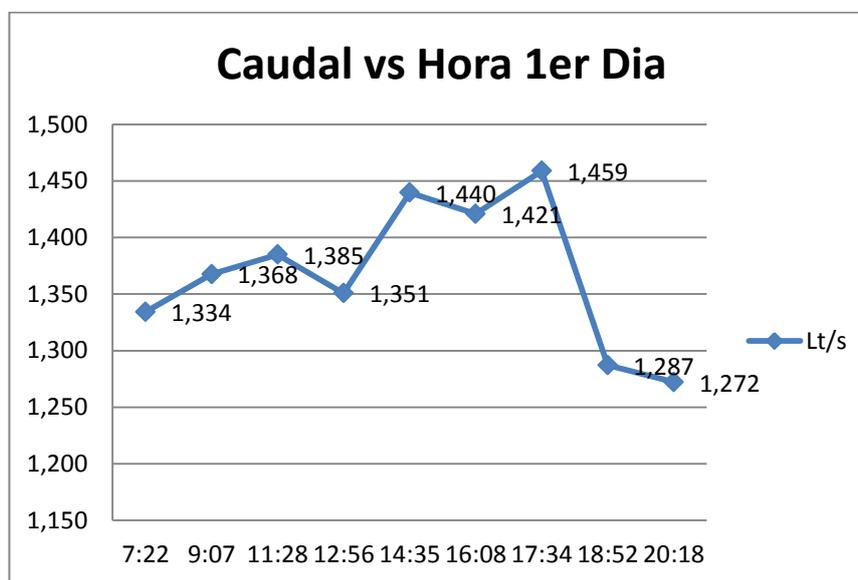
Anexo I Registro de los caudales durante los 7 días de monitoreo

Tabla XXIV Registro de Caudal 1ER día.

Repeticiones	HORA	Tiempo (min)	Volumen (m ³)	Caudal (m ³ /min)	Caudal (Lt/s)
1	7:22	82	6.564	0,08005315	1,334
2	9:07	80	6.564	0,08205448	1,368
3	11:28	79	6.564	0,08309315	1,385
4	12:56	81	6.564	0,08104146	1,351
5	14:35	76	6.564	0,08637314	1,440
6	16:08	77	6.564	0,08525141	1,421
7	17:34	75	6.564	0,08752478	1,459
8	18:52	85	6.564	0,07722775	1,287
9	20:18	86	6.564	0,07632975	1,272
PROMEDIO		80,1111111	6.564	0,08210545	1,36842

Fuente: Nelson Shiguango, 2014

Gráfico 10 Caudal Vs Hora del primer día



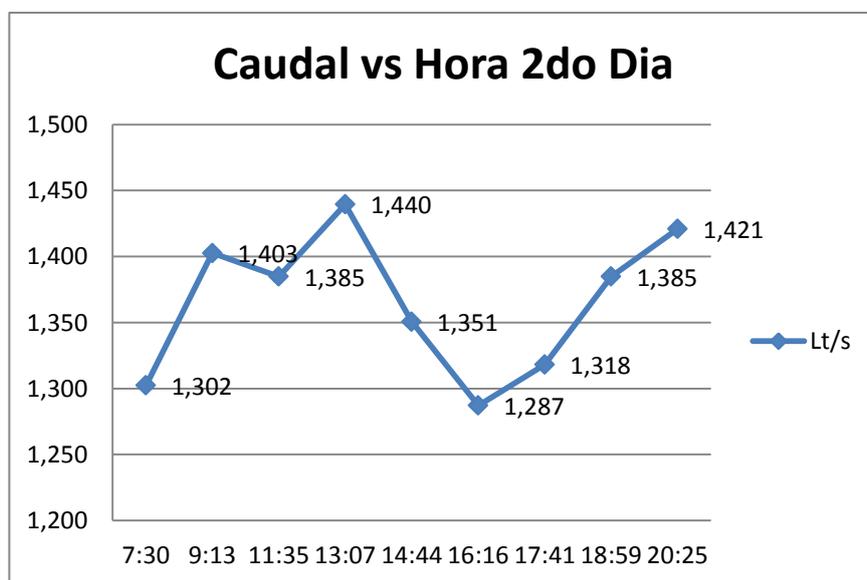
Fuente: Nelson Shiguango, 2014

Tabla XXV Registro de Caudal 2DO día.

Repeticiones	HORA	Tiempo (min)	Volumen (m ³)	Caudal (m ³ /min)	Caudal (Lt/s)
1	7:30	84	6.564	0,07814713	1,302
2	9:13	78	6.564	0,08415844	1,403
3	11:35	79	6.564	0,08309315	1,385
4	13:07	76	6.564	0,08637314	1,440
5	14:44	81	6.564	0,08104146	1,351
6	16:16	85	6.564	0,07722775	1,287
7	17:41	83	6.564	0,07908866	1,318
8	18:59	79	6.564	0,08309315	1,385
9	20:25	77	6.564	0,08525141	1,421
PROMEDIO		80,2222222	6.564	0,08194159	1,36569

Fuente: Nelson Shiguango, 2014

Gráfico 11 Caudal Vs Hora del segundo día



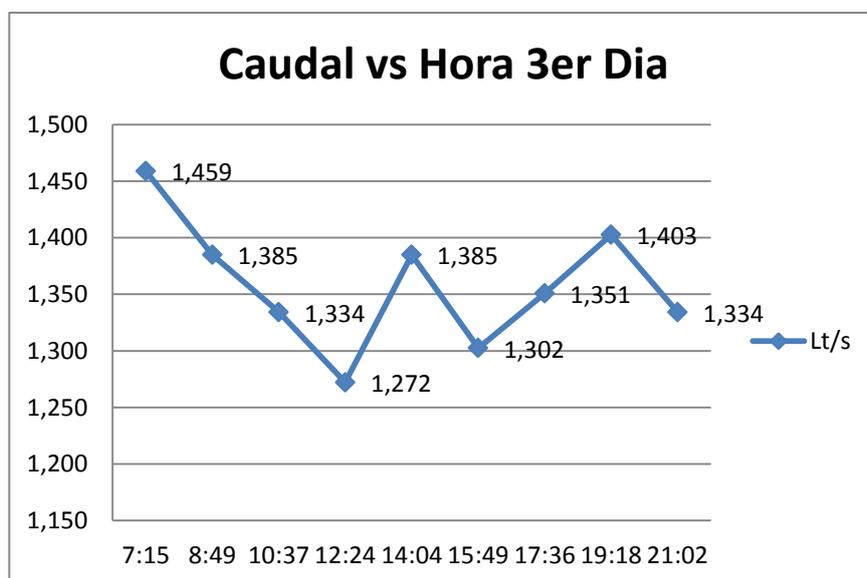
Fuente: Nelson Shiguango, 2014

Tabla XXVI Registro de Caudal 3ER día.

Repeticiones	HORA	Tiempo (min)	Volumen (m ³)	Caudal (m ³ /min)	Caudal (Lt/s)
1	7:15	75	6.564	0,08752478	1,459
2	8:49	79	6.564	0,08309315	1,385
3	10:37	82	6.564	0,08005315	1,334
4	12:24	86	6.564	0,07632975	1,272
5	14:04	79	6.564	0,08309315	1,385
6	15:49	84	6.564	0,07814713	1,302
7	17:36	81	6.564	0,08104146	1,351
8	19:18	78	6.564	0,08415844	1,403
9	21:02	82	6.564	0,08005315	1,334
PROMEDIO		80,6666667	6.564	0,08149935	1,35832

Fuente: Nelson Shiguango, 2014

Gráfico 12 Caudal vs Hora del Tercer día



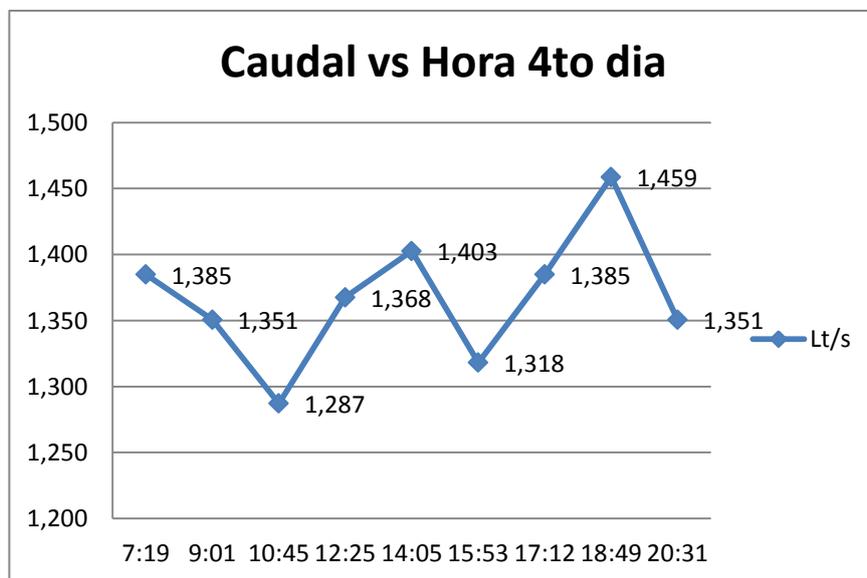
Fuente: Nelson Shiguango, 2014

Tabla XXVII Registro de Caudal 4TO día

Repeticiones	HORA	Tiempo (min)	Volumen (m ³)	Caudal (m ³ /min)	Caudal (Lt/s)
1	7:19	79	6.564	0,08309315	1,385
2	9:01	81	6.564	0,08104146	1,351
3	10:45	85	6.564	0,07722775	1,287
4	12:25	80	6.564	0,08205448	1,368
5	14:05	78	6.564	0,08415844	1,403
6	15:53	83	6.564	0,07908866	1,318
7	17:12	79	6.564	0,08309315	1,385
8	18:49	75	6.564	0,08752478	1,459
9	20:31	81	6.564	0,08104146	1,351
PROMEDIO		80,11111111	6.564	0,08216023	1,36727

Fuente: Nelson Shiguango, 2014

Gráfico 13 Caudal vs Hora del cuarto día



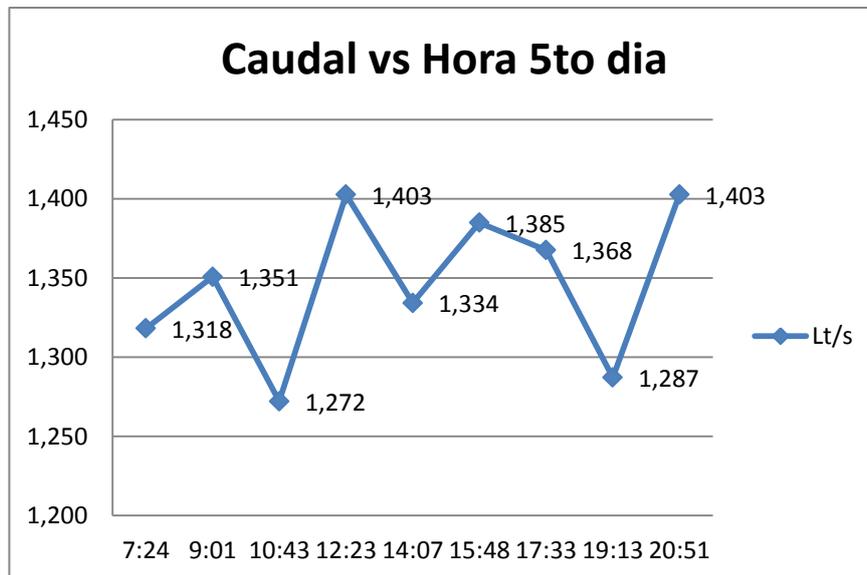
Fuente: Nelson Shiguango, 2014

Tabla XXVIII Registro de Caudal del 5TO día.

Repeticiones	HORA	Tiempo (min)	Volumen (m ³)	Caudal (m ³ /min)	Caudal (Lt/s)
1	7:24	83	6.564	0,07908866	1,318
2	9:01	81	6.564	0,08104146	1,351
3	10:43	86	6.564	0,07632975	1,272
4	12:23	78	6.564	0,08415844	1,403
5	14:07	82	6.564	0,08005315	1,334
6	15:48	79	6.564	0,08309315	1,385
7	17:33	80	6.564	0,08205448	1,368
8	19:13	85	6.564	0,07722775	1,287
9	20:51	78	6.564	0,08415844	1,403
PROMEDIO		81,33333333	6.564	0,08080059	1,34668

Fuente: Nelson Shiguango, 2014

Gráfico 14 Caudal vs Hora quinto día



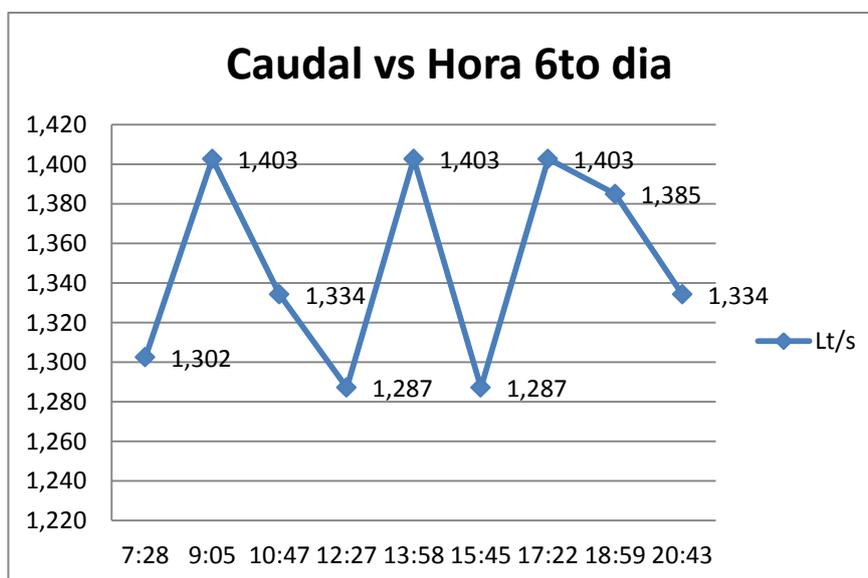
Fuente: Nelson Shiguango, 2014

Tabla XXIX Registro de Caudal 6TO día.

Repeticiones	HORA	Tiempo (min)	Volumen (m ³)	Caudal (m ³ /min)	Caudal (Lt/s)
1	7:28	84	6.564	0,07814713	1,302
2	9:05	78	6.564	0,08415844	1,403
3	10:47	82	6.564	0,08005315	1,334
4	12:27	85	6.564	0,07722775	1,287
5	13:58	78	6.564	0,08415844	1,403
6	15:45	85	6.564	0,07722775	1,287
7	17:22	78	6.564	0,08415844	1,403
8	18:59	79	6.564	0,08309315	1,385
	20:43	82	6.564	0,08005315	1,334
PROMEDIO		81,22222222	6.564	0,08091971	1,34866

Fuente: Nelson Shiguango, 2014

Gráfico 15 Caudal vs Hora sexto día



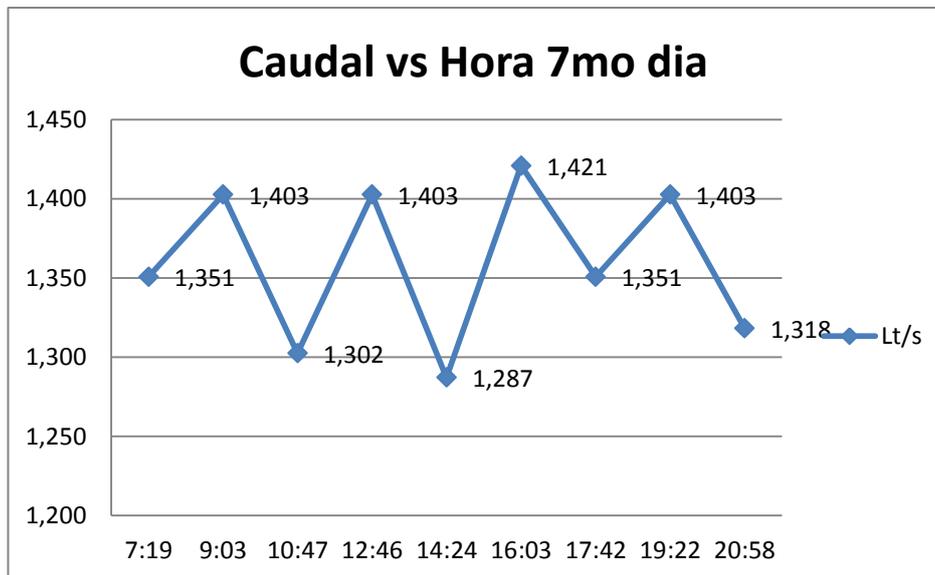
Fuente: Nelson Shiguango, 2014

Tabla XXX Registro de Caudal 7MO día.

Repeticiones	HORA	Tiempo	Volumen (m ³)	Caudal (m ³ /min)	Caudal (Lt/s)
1	7:19	81	6.564	0,08104146	1,351
2	9:03	78	6.564	0,08415844	1,403
3	10:47	84	6.564	0,07814713	1,302
4	12:46	78	6.564	0,08415844	1,403
5	14:24	85	6.564	0,07722775	1,287
6	16:03	77	6.564	0,08525141	1,421
7	17:42	81	6.564	0,08104146	1,351
8	19:22	78	6.564	0,08415844	1,403
	20:58	83	6.564	0,07908866	1,318
PROMEDIO		80,5555556	6.564	0,08158591	1,359765

Fuente: Nelson Shiguango, 2014

Gráfico 16 Caudal vs Hora séptimo día.



Fuente: Nelson Shiguango, 2014

Anexo II Tablas para el dimensionamiento del canal Parshall

Tabla XXXI Dimensiones y capacidad de canales Parshall, para distintos anchos de Gargante (W)

W	A	2/ 3 A	B	C	D	E	R	G	K	N	R	M	P	X	Y	Capacida d en flujo libre	
																QM	Q
																in Dis m ³ / s	ma x m ³ / s
0. 08	0.4 7	0. 31	0. 46	0. 18	0. 26	0. 61	0. 15	0. 30	0.0 2	0. 06	0. 41	0.3 0	0. 77	0. 02	0. 04	0.0 008	0.0 54
0. 15	0.6 20	0. 41	0. 61	0. 39	0. 40	0. 61	0. 30	0. 61	0.0 8	0. 11	0. 41	0.0 30	0. 90	0. 05	0. 08	0.0 01	0.1 10
0. 23	0.8 8	0. 59	0. 86	0. 38	0. 57	0. 76	0. 30	0. 46	0.0 8	0. 11	0. 41	0.3 0	1. 08	0. 05	0. 08	0.0 02	0.2 52
0. 30	1.3 7	0. 91	1. 34	0. 61	0. 84	0. 91	0. 61	0. 91	0.0 8	0. 23	0. 51	0.3 8	1. 49	0. 05	0. 08	0.0 03	0.4 56
0. 46	1.4 5	0. 96	1. 34	0. 76	1. 02	0. 91	0. 61	0. 91	0.0 8	0. 23	0. 51	0.3 8	1. 68	0. 05	0. 08	0.0 04	0.6 97
0. 61	1.5 2	1. 02	1. 50	0. 91	1. 21	0. 91	0. 61	0. 91	0.0 8	0. 23	0. 51	0.3 8	1. 85	0. 05	0. 08	0.0 12	0.9 37
0. 91	1.6 8	1. 12	1. 65	1. 22	1. 57	0. 91	0. 61	0. 91	0.0 8	0. 23	0. 51	0.3 8	2. 22	0. 05	0. 08	0.0 17	1.4 27
1. 22	1.8 3	1. 22	1. 79	1. 52	1. 94	0. 91	0. 61	0. 91	0.0 8	0. 23	0. 61	0.4 6	2. 71	0. 05	0. 08	0.0 37	1.9 23
1. 52	1.9 8	1. 32	1. 94	1. 83	2. 30	0. 91	0. 61	0. 91	0.0 08	0. 23	0. 61	0.4 6	3. 08	0. 05	0. 08	0.0 45	2.4 24
1. 83	2.1 3	1. 42	2. 09	2. 13	2. 66	0. 91	0. 81	0. 91	0.0 8	0. 23	0. 61	0.4 6	3. 44	0. 05	0. 08	0.0 74	2.9 31
1. 83	2.2 9	1. 52	2. 24	2. 44	3. 03	0. 91	0. 61	0. 91	0.0 8	0. 23	0. 61	0.4 6	3. 81	0. 05	0. 08	0.0 85	3.4 38
2. 44	2.4 4	1. 62	2. 39	2. 74	3. 40	0. 91	0. 81	0. 91	0.0 8	0. 23	0. 61	0.4 6	4. 17	0. 05	0. 08	0.0 99	3.9 51

FUENTE: Comisión nacional del Agua Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento. Selección e instalación de equipos de Macromedición, México 2007.

Anexo III Formato de las tablas para la realización de la encuesta

Encuesta de Población y vivienda

 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO EXTENSIÓN NORTE AMAZÓNICA Facultad de: Ciencias Carrera de: Ingeniería en Biotecnología Ambiental. ENCUESTA DE POBLACION Y VIVIENDA PROVINCIA: Orellana CANTON: Aguarico PARROQUIA: Tiputini SECTOR: Tiputini 								
Lote N°	N° Viviendas	N° Viviendas No Habitadas	Tipo de Vivienda	N° de pisos	N° Familias	Habitantes	Mayores de Edad	Menores de Edad

Encuesta de Actividades Económicas

 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO EXTENSIÓN NORTE AMAZÓNICA Facultad de: Ciencias Carrera de: Ingeniería en Biotecnología Ambiental. ENCUESTA DE SERVICIOS BASICOS PROVINCIA: Orellana CANTON: Aguarico PARROQUIA: Tiputini SECTOR: Tiputini 															
N° Lote	ABASTECIMIENTO DE AGUA			ELIMINACION DE AGUAS SERVIDAS			TV CABLE		ELIMINACION DE BASURA			TELEFONIA PÚBLICA CONVENCIONAL		TELEFONIA CELULAR	
	RED PUBLICA	POZO	NINGUNO	RED DE ALCANTARILLAD O SANITARIO	FOSEA SÉPTICA	RIO - QUEBRADA	CON SERVICIO	SIN SERVICIO	SIN SERVICIO	ENTREGA AL CARRO RECOLECTOR	ARROJA AL RIO /QUEMA	CON SERVICIO	SIN SERVICIO	CON SERVICIO (N°)	SIN SERVICIO

Encuesta de Servicios Básicos

 ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO EXTENSIÓN NORTE AMAZÓNICA Facultad de: Ciencias Carrera de: Ingeniería en Biotecnología Ambiental. ENCUESTA DE ACTIVIDAD ECONOMICA PROVINCIA: Orellana CANTON: Aguarico PARROQUIA: Tiputini SECTOR: Tiputini 								
N° de Lote	NO TRABAJAN	AGRICULTOR	COMERCIANTE	OBrero	EMPLEADO	PROFESOR	CHOFER /MOTORISTA	OTROS (MILITAR, GUARDIA, BOMBERO)

Anexo IV Hoja de revisión de muestreo, Cadena de Custodia.



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO
EXTENSIÓN NORTE AMAZÓNICA

Facultad de: Ciencias Carrera de: Ingeniería en Biotecnología Ambiental.

MONITOREO DE LAS AGUAS RESIDUALES

PROVINCIA: Orellana CANTON: Aguarico PARROQUIA: Tiputini SECTOR: Tiputini



Hoja de campo

Lugar: Colector Comunal Tiputini - Descarga de Aguas Negras y Grises.
 Fecha: 20-01-2014 Hora: 07:30
 Nombre del técnico: Nelson Shiguango
 Punto de muestreo: UM 185 441359/ 9912237

Condiciones meteorológicas	Aspecto del agua
Mayormente nublados con chubascos 23°C	Olor <u>Putrefacto</u>
	Color <u>Gris - Negra</u>
	Transparencia <u>Baja</u>
	Otros

Temperatura del agua	—	Muestra físico-química	L4
Temperatura del aire	23°C	Muestra microbiológica	L7
pH	—	Muestra patógenos	L
Conductividad	—		

Observaciones
Las muestras son del mismo punto, pero por requerimientos específicos de análisis se etiquetan frascos con sus respectivos parámetros de análisis.
 Emisión: 20-01-2014
 F: Toma MUESTRA
 F: RECEPCION MUESTRA 21-01-2014 12:12 PM

TRABAJO DE TESIS: "DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CENTRO POBLADO DE LA PARROQUIA TIPUTINI DEL CANTON AGUARICO EN LA PROVINCIA DE ORELLANA"

Anexo V Registro fotográfico de las actividades de estudio
Medición del Caudal



Materiales de monitoreo y muestreo



Recolección de muestra para análisis



Etiquetado y preservación de las muestras



Área de estudio para la Encuesta



Realización de la Encuesta





Fuente: Nelson Shiguango, 2013

Área de influencia directa para implementación de la PTAR



Anexo VI Informes de Ensayo de la Caracterización de las Aguas residuales

 LABCESTTA Tecnología & Soluciones SGC	LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03) 2998232 ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS RIOBAMBA - ECUADOR	 LABORATORIO DE ENSAYOS N° OAE LE 2C 06-008
---	--	---

INFORME DE ENSAYO No:	080
ST:	14 - 028 ANÁLISIS DE AGUAS
Nombre Peticionario:	NA
Atn.	Nelson Shiguango Ch.
Dirección:	Barrio Julio Yori - El Coca
FECHA:	29 de Enero del 2014
NUMERO DE MUESTRAS:	1
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:	2014 / 01 / 21 12:00
FECHA DE MUESTREO:	2014 / 01 / 20 07:30
FECHA DE ANÁLISIS:	2014 / 01 / 21 - 2014 / 01 / 29
TIPO DE MUESTRA:	Descarga
CÓDIGO LABCESTTA:	LAB-A 074-14
CÓDIGO DE LA EMPRESA:	NA
PUNTO DE MUESTREO:	Colector común Tiputini- Aguarico
ANÁLISIS SOLICITADO:	Físico - Químico, microbiológico
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:	Nelson Shiguango
CONDICIONES AMBIENTALES DE ANÁLISIS:	T máx.: 25.0 °C. T mín.: 15.0 °C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

PARÁMETROS	MÉTODO /NORMA	UNIDAD	RESULTADO	VALOR LÍMITE PERMISIBLE	INCERTIDUMBRE (k=2)
Potencial Hidrógeno	PEE/LABCESTTA/05 Standard Method No. 4500-H ⁺ B	Unidades de pH	6,59	5-9	±0,10
Coliformes Fecales	PEE/LABCESTTA/48 Standard Methods No. 9222 D y 9222I	UFC/100 ml	>1*10 ⁸	[§] Remocion >al 99,9%	±20%
Sólidos Suspendidos	PEE/LABCESTTA/13 Standard Methods No. 2540 D	mg/L	116	100	±13%
Sólidos Totales	PEE/LABCESTTA/10 Standard Methods No. 2540 B	mg/L	770	1600	±6%
*Sólidos Sedimentables	PEE/LABCESTTA/56 Standard Methods No. 2540 F	ml/L	50	1,0	-
Sulfatos	PEE/LABCESTTA/18 Standard Methods No 4500-SO ² 4 E	mg/L	<8	1000	±33%
Nitritos	PEE/LABCESTTA/17 Standard Methods No. 4500 -NO ₂ -B	mg/L	<0,03	-	±27%
Nitratos	PEE/LABCESTTA/16 Standard Methods No 4500 NO ₃	mg/L	9,88	-	±11%
Fosfatos	PEE/LABCESTTA/21 Standard Methods No 4500-P B5/ 4500-PC	mg/L	12,69	-	±12%
Demanda Química de Oxígeno	PEE/LABCESTTA/09 Standard Methods No. 5220 D	mg/L	484	250	±3%
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5días)	PEE/LABCESTTA/46 Standard Methods No.	mg/L	260	100	±20%

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio.
 Los resultados arriba indicados sólo están relacionados con los objetos ensayados
 MC01-14

Página 1 de 2
 Edición 2

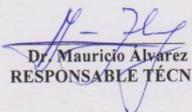
 LABCESTTA Tecnología & Soluciones SGC	LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03) 2998232 ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS RIOBAMBA - ECUADOR	 LABORATORIO DE ENSAYOS N° OAE LE 2C 06-008
---	--	---

	5210 B				
Grasas y Aceites	PEE/LABCESTTA/42 Standard Methods No. 5520 B	mg/L	13,2	0,3	±8%
Tensoactivos	PEE/LABCESTTA/44 Standard Methods No. 5540 C	mg/L	5,3	0,5	±15%

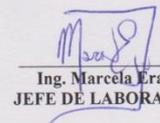
OBSERVACIONES:

- Muestra receptada en el laboratorio
- Los parámetros con (*) no incluyen el alcance de acreditación del OAE.
- Las unidades UFC son equivalentes a NMP.

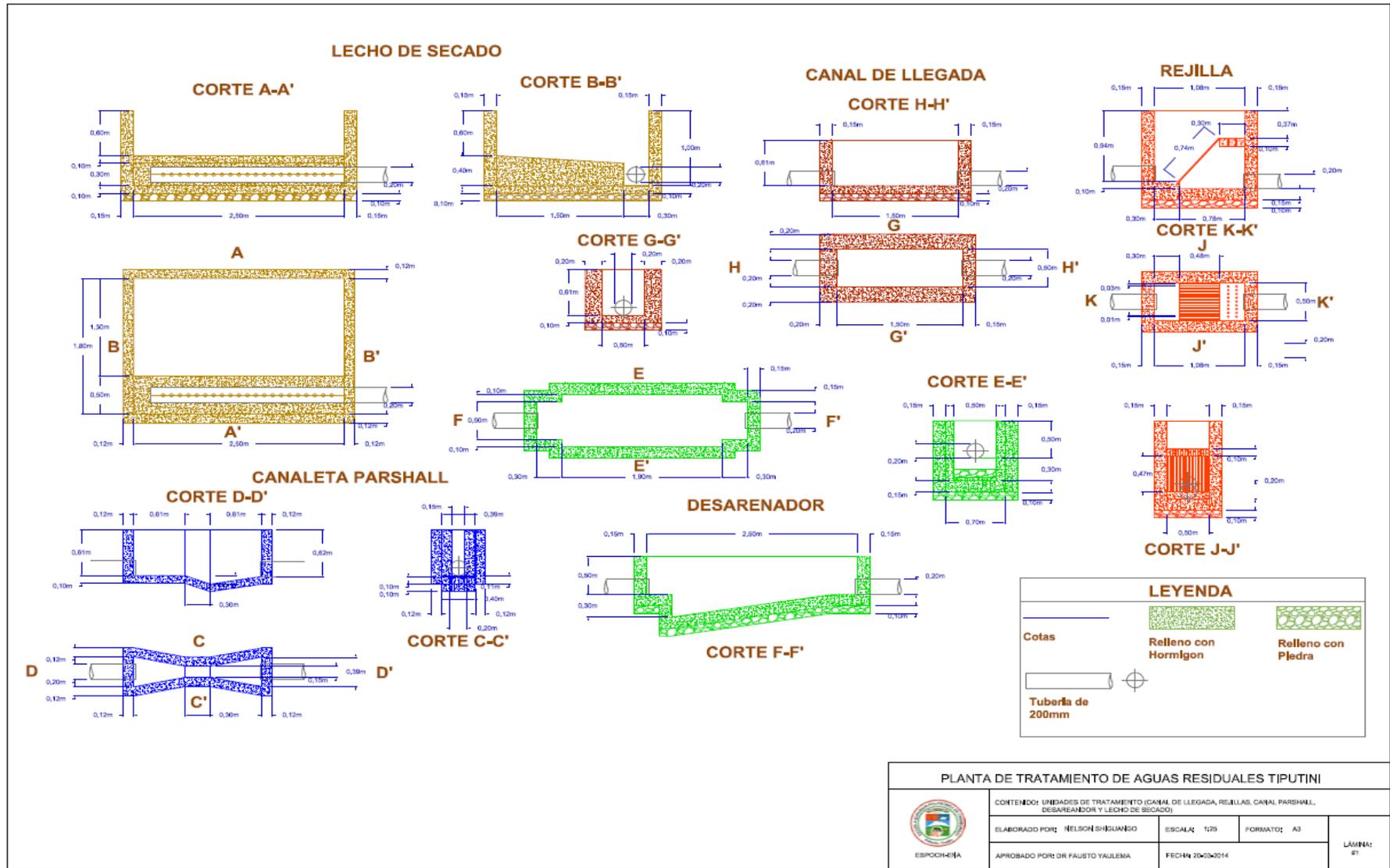
RESPONSABLES DEL INFORME:


 Dr. Mauricio Álvarez
 RESPONSABLE TÉCNICO

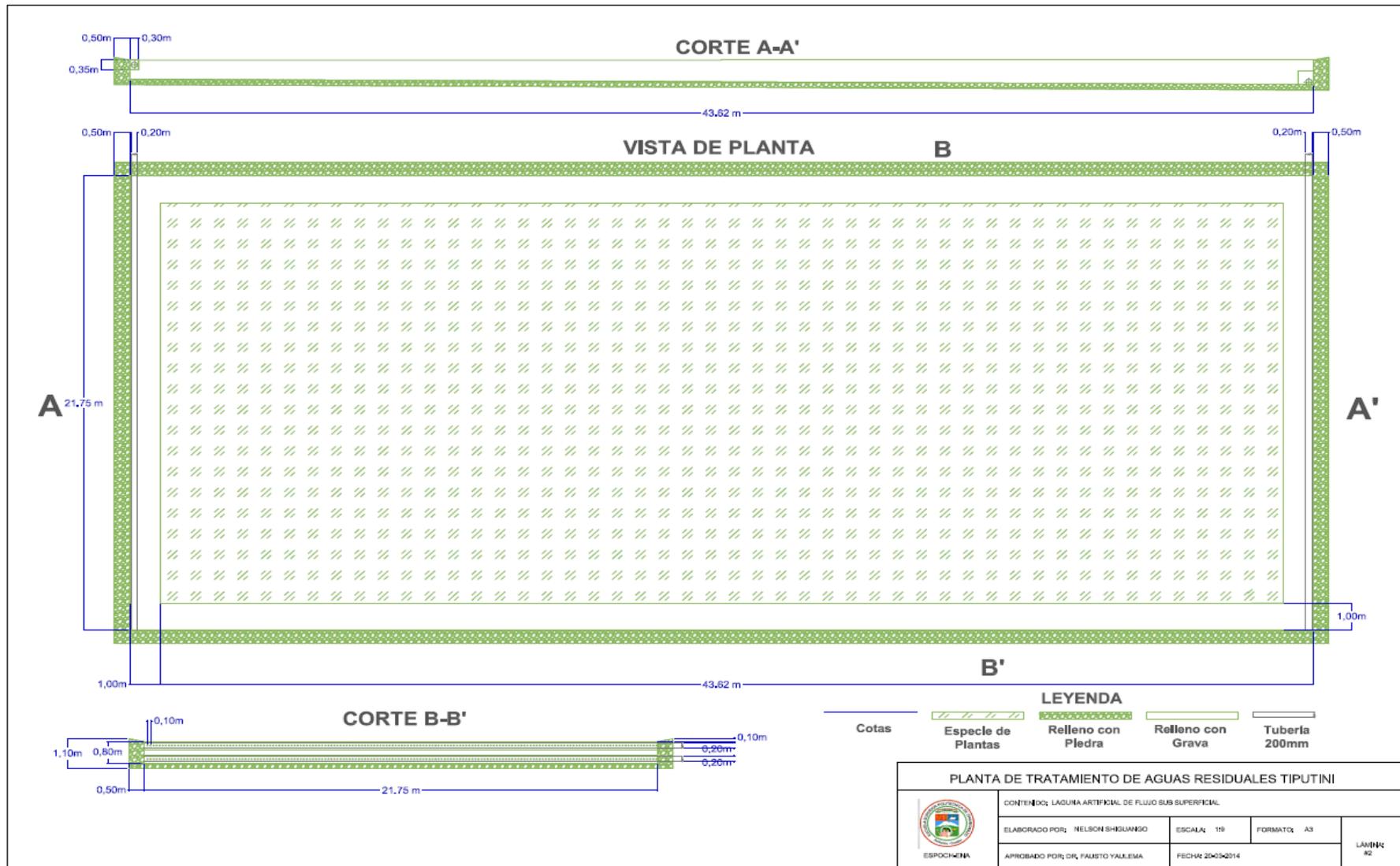
LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
 E INSPECCIÓN
 LAB - CESTTA
 ESPOCH

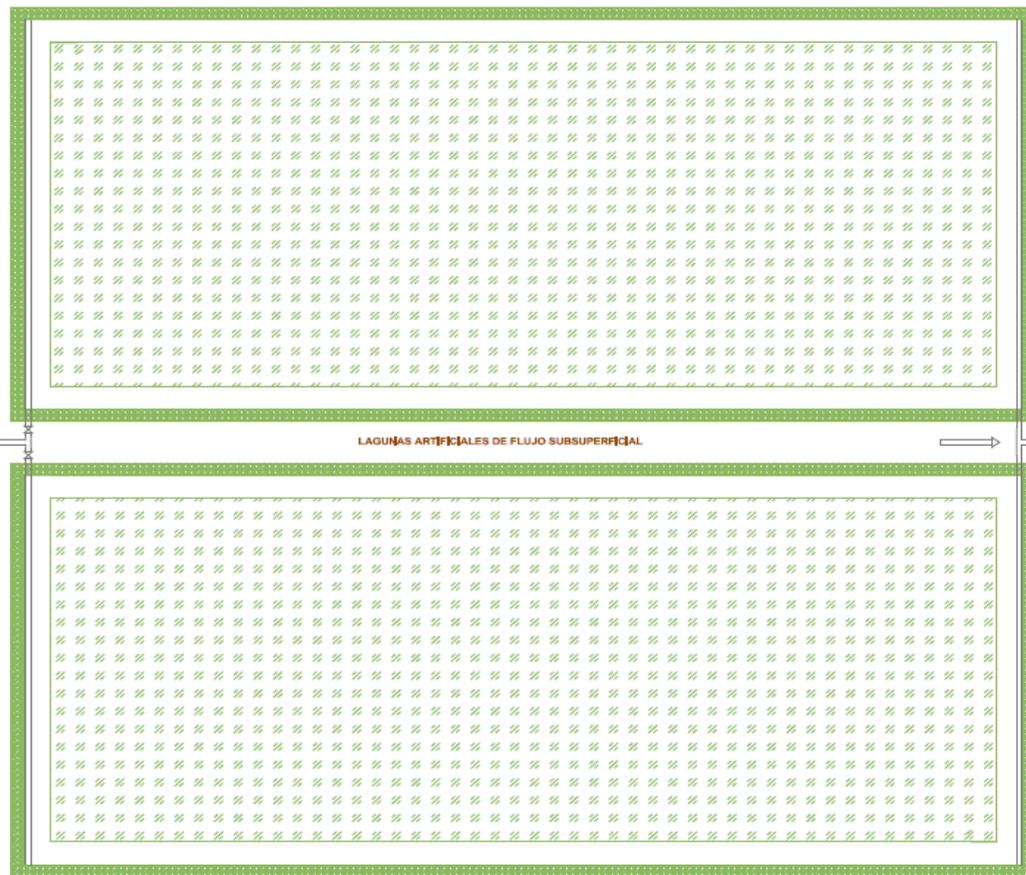
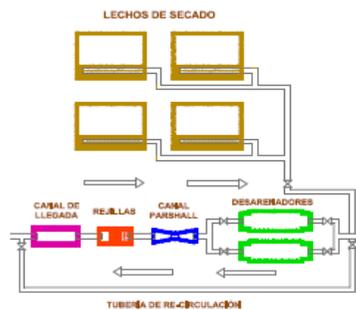

 Ing. Marcela Erazo
 JEFE DE LABORATORIO

Anexo VII Planos de la planta de tratamiento para las aguas residuales del centro poblado de Tiputini.



PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TIPUTINI				
 ESPIONHEIRA	CONTENIDO: UNIDADES DE TRATAMIENTO (CANAL DE LLEGADA, REJILLA, CANAL PARSHALL, DESARENADOR Y LECHO DE SECADO)			
	ELABORADO POR: NELSON SHILUANGU	ESCALA: 1:25	FORMATO: A3	LÁMINA: 01
	APROBADO POR DR. FAUSTO YAULEMA	FECHA: 20/03/2014		





PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES TIPUTINI

 ESPOCHINA	CONTENIDO: VISTA DE PLANTA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO TIPUTINI			
	ELABORADO POR: NELSON SHIGUANSO	ESCALA: 1/5	FORMATO: A3	LÁMINA #3
	APROBADO POR: DR. FALSTO YAULEMA	FECHA: 20/03/2014		