

UNIVERSIDAD DE CUENCA



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL
TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN LA COMUNIDAD DEL
TABACAY, CANTÓN AZOGUES, PROVINCIA DE CAÑAR”.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO
A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTORES:

ANDRÉS GUILLERMO GARCÍA QUITO

010508161-6

WILSON ESTEBAN LUDIZACA VIRACOCOA

030203615-7

DIRECTORA:

**ING. ALEXANDRA ELIZABETH GUANUCHI QUITO, MSc.
0104604665**

**CUENCA – ECUADOR
2017**



Resumen.

La comunidad de Tabacay ubicada en el cantón Azogues, provincia del Cañar no dispone de un tratamiento de agua residual y descarga directamente sus aguas negras en una de las quebradas que se une al río Tabacay, alterando la composición natural del agua, por lo cual la finalidad del proyecto es el diseño de un sistema de humedales artificiales. El proyecto inicio con una reunión junto con técnicos de EMAPAL EP., y la comunidad para informarles del proyecto y establecer un sitio de emplazamiento del sistema para una futura implementación; se designó un sitio de muestreo en el punto de descarga de la mayor cantidad de domicilios interconectados al canal de agua residual de la comunidad, para el análisis de los parámetros (pH, solidos suspendidos, solidos volátiles, solidos sedimentables, nitritos, nitratos, DBO,DQO y fósforo) y posterior comparación con la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de efluentes (TULSMA LIBRO 6 ANEXO 1). Para el diseño se emplearon datos obtenidos de análisis de laboratorio y tablas, caudales teóricos y crecimiento poblacional para garantizar una vida útil del sistema, se eligió la vegetación apropiada para la zona, que cumpla con la remoción de contaminantes y correcta oxigenación del humedal; finalmente se realizó la estimación de costos de implantación de la planta, con valores unitarios por concepto de material y mano de obra, para el correcto funcionamiento de la planta se realizó un manual de operación y mantenimiento que garantice la eficacia del sistema.

PALABRAS CLAVES: Humedal artificial, composición natural, Caudal Volumétrico, Vegetación Idónea y TULSMA Libro 6 Anexo 1



Abstract.

The community of Tabacay located in the canton of Azogues, Cañar province, does not have a wastewater treatment and directly discharges its black waters into one of the streams that joins the Tabacay River, altering the natural composition of the water. The purpose of the project is the design of a system of artificial wetlands. The project started with a meeting with EMAPAL EP technicians and the community to inform them about the project and establish a site for the system to be implemented in the future.

A sampling site at the point of discharge of the largest number of domicile interconnected to the community wastewater channel was designated for analysis of the parameters (pH, suspended solids, volatile solids, sedimented solids, nitrites, nitrates, BOD , COD and phosphorus) and subsequent comparison with the Environmental Quality and Effluent Discharge Standards (TULSMA BOOK 6 ANNEX 1). For the design, data obtained from laboratory analysis and tables, theoretical flows and population growth were used to guarantee a useful life of the system, the appropriate vegetation was chosen for the zone, that complies with the removal of pollutants and the correct oxygenation of the wetland. Finally, the cost of plant implementation was estimated, with unit values for material and labor for the correct operation of the plant, additionally an operation and maintenance manual was performed to guarantee the efficiency of the system.

KEY WORDS: Artificial wetlands, Natural Composition, Volumetric Flow, Optimal Vegetation and TULSMA Book 6 Annex 1



ÍNDICE.

Resumen.....	2
Abstract.....	3
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	11
CLÁUSULAS DE DERECHOS DE AUTOR	¡Error! Marcador no definido.
CLÁUSULAS DE DERECHOS DE AUTOR	¡Error! Marcador no definido.
CLÁUSULAS DE PROPIEDAD INTELECTUAL	17
CLÁUSULAS DE PROPIEDAD INTELECTUAL	¡Error! Marcador no definido.
Antecedentes.....	24
Problema.	24
Justificación.	25
Objetivos.	26
Objetivo general.....	26
Objetivos específicos.	26
CAPÍTULO I.....	27
1. Marco teórico.	27
1.1. Definición de aguas residuales.....	27
1.2. Características de las aguas residuales.	28
1.2.1. Características físicas.....	28
1.2.1.1. Sólidos de las Aguas residuales.	28
1.2.1.1.1. Sólidos Suspendidos.....	28
1.2.1.1.2. Sólidos Sedimentables	29
1.2.1.1.3. Sólidos Disueltos	30
1.2.1.1.4. Sólidos Totales	30
1.2.1.2. Temperatura.	31
1.2.1.3. Turbidez	31



1.2.1.4. Color	31
1.2.1.5. Olor	32
1.2.1.6. pH.....	32
1.2.1.7. Alcalinidad del agua	33
1.2.2. Características Químicas	33
1.2.2.1. Componentes de la Materia Orgánica	34
1.2.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno	34
1.2.2.3. Demanda química de Oxígeno (DQO)	35
1.2.2.4. Nitrógeno Kjeldahl	35
1.2.2.5. Amoníaco.....	36
1.2.2.6. Nitrato y nitrito	37
1.2.2.7. Fosfatos	37
1.2.3. Características Biológicas	38
1.2.3.1. Coliformes totales	39
1.2.3.2. Coliformes fecales	39
1.3. Humedales.	40
1.3.1. Funciones de los humedales Artificiales	40
1.3.5. Procesos de remoción físicos.....	45
1.3.6. Procesos de remoción biológicos	46
1.3.7. Procesos de remoción químicos	48



1.4.	Humedales Construidos	48
1.4.1.	Ventajas	49
1.4.2.	Limitaciones	49
1.5.	Aplicación de los humedales artificiales	52
1.6.	Clases de humedales artificiales	53
1.7.	Humedales de flujo subsuperficial	54
1.7.1.	Humedales de flujo Horizontal.....	56
1.7.2.	Humedales de flujo vertical	57
1.8.	Marco Jurídico.....	57
1.8.1.	Constitución de la República del Ecuador	57
1.8.2.	Plan Nacional del Buen Vivir	58
1.8.3.	TULSMA	58
CAPÍTULO II.....		59
2.	Metodología	59
2.1.	Ubicación de la zona de estudio	59
2.2.	Geografía	63
2.3.	Suelo	63
2.4.	Hidrografía	64
2.5.	Clima.....	65
2.6.	Flora y Fauna del Tabacay	66
2.6.1.	Flora.....	66
2.6.2.	Fauna	67
2.7.	Conservación de la microcuenca por EMAPAL. EP.....	69
2.8.	Sociabilización	69
2.9.	Sitio de emplazamiento.....	71
2.10.	Muestreo	72



2.10.1.	Procedimiento del muestreo	72
2.11.	Análisis de la calidad de los vertidos	76
2.12.	Caudal	79
2.12.1.	Calculo del caudal de aforado	80
2.12.2.	Calculo del caudal a partir de del consumo per cápita de la provincia...	81
2.12.2.1.	Caudal medio diario	83
2.12.2.2.	Caudal medio horario	83
2.12.2.3.	Caudal punta diario	84
2.12.2.3.1.	Coefficiente punta	84
2.12.2.4.	Caudal punta horario	84
2.12.2.5.	Caudal máximo diario	85
2.12.2.6.	Caudal máximo instantáneo	86
2.12.2.7.	Caudal mínimo diario	86
2.13.	Diseño del pretratamiento y tratamiento primario	87
2.13.1.	Pretratamiento	87
2.13.1.1.	Aliviadero de entrada	87
2.13.1.1.1.	Calculo del caudal de lluvia	88
2.13.1.2.	Canal de desbaste	92
2.13.1.2.1.	Rejas de desbaste grueso	93
2.13.1.2.2.	Rejas de desbaste fino	94
2.13.1.3.	Desarenador	94

2.13.1.4. Diseño de desarenador	99
2.13.2. Tratamiento primario	103
2.13.2.1. Tanque Imhoff	104
2.13.2.1.1. Diseño del tanque Imhoff	108
2.14. Resumen de cálculos de tratamientos Previos	119
2.15. Diseño de humedales.....	124
2.15.1. Introducción.....	124
2.16. Diseño del humedal de flujo vertical.....	124
2.16.1. Dimensionamiento y configuración.....	125
2.16.2. Sistemas de entrada y salida.....	130
2.16.3. Medio granular	132
2.16.4. Sistemas híbridos	133
2.17. Tabla de datos obtenidos.....	133
2.18. Diseño del humedal de flujo horizontal	134
2.18.1. Dimensionamiento	134
2.18.1.1. Dimensionamiento biológico.....	134
2.18.1.2. Dimensionamiento Hidráulico.....	139
2.18.2. Selección de ubicación.....	143
2.18.3. Configuración	144
2.18.4. Sistemas de entrada y salida.....	144
2.18.5. Medio granular	151
2.18.6. Impermeabilización	152



2.18.7. Plantación	153
2.19. Tabla de datos obtenidos	155
2.20. Vegetación	156
2.21. Características generales de la totora.....	156
2.22. Manejo de la totora en los humedales	158
2.22.1. Implantación	158
2.22.2. Operación	158
2.22.3. Plagas y enfermedades	159
CAPÍTULO III.....	160
3. Operación y mantenimiento del Humedal.....	160
3.1. Estimación de costos.....	160
3.1.1. Análisis de precios unitarios	160
3.1.2. Presupuesto total de la construcción.....	161
3.1.3. Costos de operación y mantenimiento	161
Conclusiones y Recomendaciones	164
Bibliografía	168
Anexos	172
Anexo 1	172
Manual de Mantenimiento y operación: Humedal subsuperficial construido para el tratamiento de aguas residuales.....	172
Anexo 2	179
<i>Criterios de descarga a un cuerpo de agua dulce</i>	<i>179</i>
Anexo 3	181
Anexo 4	182
Muestra de los análisis de agua residual.	182
Anexo 5	187
Muestra de análisis de agua EMAPAL EP.	187



Anexo 6.	190
Fotos de la salida de campo	190
Anexo 7.	191
Fotos de toma de muestra y medición de caudal.	191
Anexo 8.	192
Plano del sistema de humedales artificiales.	192
Anexo 9	193
Anexo 10.	194

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 2 Esquema general de un humedal artificial de flujo subsuperficial Fuente: sistema de humedales artificiales para el control de la eutrofización del lago del bosque de San Juan de Aragón (Luna & Castañeda, 2014).</i>	55
<i>Ilustración 3 Esquema del humedal artificial subsuperficial horizontal Fuente: Sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua (Rivas & Paredes, 2014).</i>	56
<i>Ilustración 4 Mapa de Ubicación de la comunidad del Tabacay Elaboración: Autores (2017).</i>	60
<i>Ilustración 5 Mapa de ubicación de la cuenca de Tabacay, cantón Azogues, Provincia de Cañar. Fuente: autores (2017).</i>	61
<i>Ilustración 6 Quebradas principales de la microcuenca del río Tabacay.</i>	62
<i>Ilustración 7 Llegada de los asistentes a la reunión (2017)</i>	70
<i>Ilustración 8 Comunidad de Tabacay presentes en la reunión (2017)</i>	70
<i>Ilustración 9 Presentación del proyecto a los asistentes (2017).</i>	71
<i>Ilustración 10 Sitio de emplazamiento del proyecto Fuente: Google Earth (2017).</i>	72
<i>Ilustración 11 Toma de muestras (2017)</i>	75
<i>Ilustración 12 Muestra de análisis bacteriológico (2017)</i>	75
<i>Ilustración 13 Muestra análisis fisicoquímico (2017).</i>	76
<i>Ilustración 14 variación de caudales a diferentes horas del día. Elaboración: Autores.</i>	81
<i>Ilustración 15 Esquema de un canal de desbaste, zona de separación de gruesos, el aliviadero se encuentra en el propio canal. Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).</i>	93
<i>Ilustración 16 Rejas de desbaste de limpieza manual. Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).</i>	94
<i>Ilustración 17 Elementos geométricos de un canal fuente:(Ingeniería Rural, 2016)</i>	95
<i>Ilustración 18 Esquema de la sección de un tanque Imhoff. Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales (García & Corzo, 2008).</i>	105



<i>Ilustración 19 Esquema de la zona de decantación de un tanque Imhoff Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales (García & Corzo, 2008).</i>	109
<i>Ilustración 20 Esquema de un tanque Imhoff rectangular, con un punto de recogida de lodos, no se representa el resguardo Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales (García & Corzo, 2008).</i>	115
<i>Ilustración 21 Línea de proceso de un humedal de flujo subsuperficial vertical Fuente: Adaptado por O'Hgain. Tomado de: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).</i>	126
<i>Ilustración 22 Esquema en una planta de humedales verticales con sistema de vertido lineal y radial. Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).</i>	131
<i>Ilustración 23 Distribución en profundidad de las capas de medio granular en un sistema Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).</i>	132
<i>Ilustración 24 Esquema de una arqueta de distribución. Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).</i>	145
<i>Ilustración 25 Arqueta de repartición durante su construcción. Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).</i>	146
<i>Ilustración 26 Zona de entrada y salida en un humedal de flujo subsuperficial Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).</i>	148
<i>Ilustración 27 Canal de vertido en un humedal de flujo horizontal Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).</i>	149

<i>Ilustración 28 Franja de material granular de gran tamaño en la zonas de entrada al humedal de flujo subsuperficial horizontal. Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).</i>	150
<i>Ilustración 29 Arqueta de salida de un humedal de flujo subsuperficial horizontal Arqueta de salida de un humedal de flujo subsuperficial horizontal, Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).</i>	151
<i>Ilustración 30 Totora (Scirpus californicus) (2017)</i>	154
<i>Ilustración 31 Vegetación presente en la zona de Tabacay (Totora). Fuente: Autores.</i>	156
<i>Ilustración 32 Plantas heliófilas en medio acuático Fuente: Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales, (Delgadillo et al., 2010).</i>	157
<i>Ilustración 33 Zona húmeda construida con totora Fuente: Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales, (Delgadillo et al., 2010).</i>	159
<i>Ilustración 36 Desnatador Fuente: Google 2017</i>	177

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Mecanismos de depuración predominante en los humedales artificiales.</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 2 Pendientes de la microcuenca del río Tabacay</i>	<i>63</i>
<i>Tabla 3 Clasificación de los suelos identificados con su representatividad con respecto al área total en la microcuenca del río Tabacay</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 4 Subcuencas del río Tabacay</i>	<i>65</i>
<i>Tabla 5 Precipitación mensual en (mm) de la cuenca del río Tabacay.</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 6 Flora presente en la microcuenca del Tabacay.</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 7 Aves características de la microcuenca del Tabacay.</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 8 Mamíferos presentes en la microcuenca del Tabacay.</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 9 Comparación de los análisis con la Normativa Ambiental Vigente.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 10 Valores de caudales de Nudpud obtenidos luego de los aforos en lt/s.</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 11 Valores recomendados de coeficientes punta para pequeñas comunidades</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 12 Valores recomendados de los parámetros necesarios para el diseño de un canal de desbaste y sus respectivas rejas.</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 13 Valores recomendados de los parámetros necesarios para el dimensionamiento de desarenadores.</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 14 Valores recomendados de los parámetros de dimensionamiento de un tanque</i>	<i>107</i>
<i>Tabla 15 Resumen de los cálculos de tratamientos previos</i>	<i>119</i>
<i>Tabla 16 Valores necesarios para la construcción del humedal vertical</i>	<i>133</i>
<i>Tabla 17 Ordenes de magnitud de la conductividad hidráulica (ks) en función del tipo de material granular utilizado como sustrato en un humedal construido en flujo subsuperficial</i>	<i>140</i>
<i>Tabla 18 Resumen de cálculos para el diseño del humedal.....</i>	<i>155</i>
<i>Tabla 19 Costos de construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Tabacay, sector Nudpud.</i>	<i>162</i>
<i>Tabla 20 Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce</i>	<i>179</i>
<i>Tabla 21 Composición típica del agua residual doméstica bruta</i>	<i>181</i>



Tabla 23 Análisis de calidad de agua EMAPAL EP., comparado con el Tulsma187



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CLÁUSULAS DE DERECHOS DE AUTOR

García Quito Andrés Guillermo, autor del Trabajo de Titulación "DISEÑO DE UN SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA COMUNIDAD DE TABACAY, CANTON AZOGUES, PROVINCIA DE CAÑAR", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor

Cuenca, julio del 2017


García Quito Andrés Guillermo

C.I:0105081616

Andrés Guillermo García Quito
Wilson Esteban Ludizaca Viracocha

Página 16



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CLÁUSULAS DE DERECHOS DE AUTOR

Ludizaca Viracocha Wilson Esteban, autor del Trabajo de Titulación "DISEÑO DE UN SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA COMUNIDAD DE TABACAY, CANTON AZOGUES, PROVINCIA DE CAÑAR", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Ambiental. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor

Cuenca, julio del 2017

Ludizaca Viracocha Wilson Esteban
C.I:0302036157

Andrés Guillermo García Quito
Wilson Esteban Ludizaca Viracocha

Página 17




UNIVERSIDAD DE CUENCA



CLÁUSULAS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

García Quito Andrés Guillermo, autor del Trabajo de Titulación "DISEÑO DE UN SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA COMUNIDAD DE TABACAY, CANTON AZOGUES, PROVINCIA DE CAÑAR", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, julio del 2017


García Quito Andrés Guillermo
C.I:0105081616

Andrés Guillermo García Quito
Wilson Esteban Ludizaca Viracocha

Página 18



UNIVERSIDAD DE CUENCA

CLÁUSULAS DE PROPIEDAD INTELECTUAL

Ludizaca Viracocha Wilson Esteban, autor del Trabajo de Titulación "DISEÑO DE UN SISTEMA DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA COMUNIDAD DE TABACAY, CANTON AZOGUES, PROVINCIA DE CAÑAR", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, julio del 2017

Ludizaca Viracocha Wilson Esteban

C.I:0302036157

Andrés Guillermo García Quito
Wilson Esteban Ludizaca Viracocha

Página 19



AGRADECIMIENTOS.

Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de culminar mis estudios.

A mis Padres Guillermo y Maribel, a mis hermanos Alan y Andrea por el apoyo brindado en cada una de las etapas de la vida que representaron la ilusión de nunca rendirse y siempre aspirar a ser una mejor persona.

A mi directora de tesis la Ingeniera Alexandra Guanuchi por el conocimiento, tiempo y principalmente por el apoyo brindado e la realización de la tesis.

A la empresa EMAPAL EP., por permitirme participar en este proyecto.

A los profesores y a todas las personas que directa o indirectamente me apoyaron en todas estas etapas de la vida universitaria.

ANDRÉS GUILLERMO GARCÍA QUITO



AGRADECIMIENTOS

A mi padre Luis, pero sobre todo a mi abuelita que fue el cimiento principal para la construcción de mi vida profesional, etapa muy importante de mi vida.

A mis tíos Manuel y Luisa, que siempre estuvieron a mi lado apoyándome e inspirándome a mejorar y a superarme como persona.

A mi hermano Luis quien con su apoyo y confianza brindada, me impulso a seguir adelante y lograr alcanzar las metas propuestas en mi vida.

A la Directora de Tesis Msc. Ing. Alexandra Guanuchi que me han brindado apoyo, paciencia y conocimiento para la realización de este trabajo.

Al Msc. Dr. Giovanny Larriva quien me ayudo en los análisis requeridos para el desarrollo de esta tesis.

A la empresa EMAPAL EP., en particular a la Blga. María Isabel Quintuña, por la confianza brindada en mí, permitiendo realizar un proyecto tan importante para la empresa y facilitando toda la información necesaria para la realización de la misma.

A mis amigos quienes de manera directa o indirectamente me brindaron su apoyo y confiaron en mí para alcanzar la meta propuesta, a mi compañero de tesis Andrés por su dedicación y esfuerzo empleado para la culminación de este proyecto.

LUDY



DEDICATORIAS.

Dedico a Dios por permitirme existir y permanecer en el camino correcto de la vida.

Dedico a mis padres Guillermo y Maribel quienes representan el pilar y motor fundamental de mi vida, que siempre me impulsan a seguir adelante día tras día con sus consejos y actos.

Dedico a mis hermanos Alan y Andrea porque comparten su tiempo conmigo y siempre me brindan su tiempo y una sonrisa en cualquier circunstancia.

ANDRÉS GUILLERMO GARCÍA QUITO



DEDICATORIA

A mi padre, mi abuelita Mariana (mama suca) y mis tíos Manuel y Luisa, quienes me enseñaron a luchar para alcanzar mis metas y nunca rendirme ante los obstáculos que se presenten en mi vida.

A mi hermano Luis por todo su apoyo que me han brindado en todo el trascurso del desarrollo de la misma.

A mi familia Noemí y Santiago quienes son la inspiración y el aliento necesario para cumplir mis sueños y metas propuestas.

LUDY

Antecedentes.

Problema.

La comunidad de Tabacay del cantón Azogues Provincia del Cañar, tiene alrededor de 250 habitantes, según el INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos), los cuales cuentan con servicio de agua potable, pero no disponen de un sistema de alcantarillado, ni planta de tratamiento de agua residual.

Existen varios puntos de descarga de agua residual de la comunidad hacia el río Tabacay sin recibir ningún tratamiento previo; la zona de descarga presenta mal olor y se puede distinguir presencia de residuos orgánicos propios de un agua residual, por lo que se presume una alteración de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del cauce del río Tabacay por la presencia de materia orgánica.

Debido a esta descarga de agua residual directa al río, no se cumple con el objetivo 7 del Plan Nacional del Buen Vivir, que propone el derecho ciudadano a vivir en un ambiente sano, libre de contaminación y sustentable, y la garantía de los derechos de la naturaleza, a través de una planificación integral que conserve los hábitats, gestione de manera eficiente los recursos, repare de manera integral e instaure sistemas de vida en una armonía real con la naturaleza (“Plan Nacional del Buen Vivir.,” 2013).



Justificación.

Ante la problemática planteada, los técnicos de la empresa pública EMAPAL EP proponen como instrumento alternativo el diseño de un sistema de tratamiento de agua residual, el cual sea sustentable y sostenible para la comunidad.

Para el proyecto se diseñó un sistema de humedal artificial subsuperficial que consta de un pretratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario; considerando la vegetación que pueda adaptarse al lugar de emplazamiento la cual con sus tallos, hojas sumergidas y raíces sirven como medio de crecimiento bacterial, para el tratamiento de aguas residuales (Romero, 2000).

Estos sistemas no solamente demuestran eficiencia en el tratamiento de aguas residuales, sino que amplían su margen de aplicación al tratamiento de pesticidas y de procesos agrícolas presentes en el agua (Peña & Lara, 2012). Por lo que su utilización es cada vez más necesaria en el tratamiento del agua.

En la actualidad este tipo de sistemas se aplica en varios países de Europa, América, África y en Australia, para tratar aguas residuales domésticas, debido a que son sistemas muy eficientes para este tipo de aguas (Peña, 2012).

Objetivos.

Objetivo general

- Diseñar un sistema de humedal artificial para el tratamiento de las aguas residuales en la comunidad de Tabacay, cantón Azogues, provincia del Cañar.

Objetivos específicos.

- Localizar la zona de emplazamiento de la planta de tratamiento.
- Determinar la calidad del agua residual mediante análisis de laboratorio.
- Analizar los datos obtenidos para dimensionar el sistema de tratamiento.
- Identificar la vegetación que se adapte las condiciones del medio y del diseño.
- Estimar los costos de implantación de la planta.
- Elaborar un manual de mantenimiento y operación del humedal artificial subsuperficial.



CAPÍTULO I

1. Marco teórico.

1.1. Definición de aguas residuales.

Se entiende por aguas residuales a los líquidos que han sido utilizados en el diario vivir de una población (Lara, 1999). El (TULSMA, 2012), lo define como el agua de composición variada proveniente de diferentes usos ya sean:

- Domésticos.- Son básicamente las aguas provenientes de viviendas, instituciones públicas o privadas generadas por el metabolismo humano y las actividades domésticas (CENTA, 2008), las cuales llegan a las redes de alcantarillado por medio de descargas de instalaciones hidráulicas (Blazquez & Montero, 2010).
- Municipales. Son aquellas aguas residuales que se encuentran mezclados con drenaje pluvial o con aguas procedentes de actividades industriales que contengan un tratamiento previo y sean admitidas en los sistemas de alcantarillado (OEFA, 2014).

Estas aguas al contener una gran cantidad de sustancias (algunas de ellas tóxicas) y microorganismos, pueden ser causa y vehículo de contaminación, en aquellos lugares donde son evacuadas sin un tratamiento previo (Espigares & Pérez, 1985). Es necesario tratar estas aguas en una planta de tratamiento municipal para devolver el agua a su estado natural (Romero, 2000).



1.2. Características de las aguas residuales.

1.2.1. Características físicas.

Los parámetros físicos proporcionan una idea aproximada de la calidad del agua residual del proceso que se realiza y de los posibles problemas que se tienen en su tratamiento en una estación depuradora de aguas residuales. Los principales parámetros físicos medibles son: los sólidos, la temperatura, los olores, la conductividad eléctrica, y la turbidez (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010).

1.2.1.1. Sólidos de las Aguas residuales.

Son todos los contaminantes presentes en el agua con excepción de los gases disueltos que contribuyen a la carga de sólidos; estos contaminantes pueden ser de naturaleza orgánica e inorgánica que provengan de cualquier actividad que intervenga el hombre.

1.2.1.1.1. Sólidos Suspendidos.

Se refiere a las partículas orgánicas e inorgánicas y líquidos inmiscibles (líquidos que no pueden mezclarse con otra sustancia) que se encuentra presentes en el agua. Se las podría dividir en dos grupos: partículas orgánicas e inorgánicas.

- Las partículas orgánicas tenemos entre otros fibras de plantas, células de algas, bacterias y sólidos biológicos.
- Mientras que en las partículas inorgánicas se encuentran: la arcilla y las sales (Campos, 2000).

Esta clase de sólidos son los indicadores más importantes del grado de contaminación de las aguas residuales. Se aplica a un conjunto heterogéneo de sólidos, que pueden llevar las aguas y que proceden normalmente de arrastres (avenidas, aluviones) o de vertidos industriales y urbanos (Carpio, 2002).

Los sólidos suspendidos expresan los sólidos que son susceptibles de sedimentar al fondo de los cuerpos de agua. La determinación se lo realiza filtrando a través de una fibra de vidrio un volumen conocido de una muestra de agua, luego el filtro se seca a una temperatura de 105 °C y se procede a pesar la materia retenida en el filtro (Guevara, 1996).

1.2.1.1.2. Sólidos Sedimentables.

Los sólidos sedimentables miden el volumen de la materia que se depositan en el fondo de los cuerpos de agua y son aptos para determinar la eficiencia de ciertos sistemas de tratamiento de aguas residuales (Guevara, 1996); estos sólidos se sedimentan en la parte inferior del cono llamado Imhoff, durante un período de 60 minutos (CARE International - Avina, 2012).



1.2.1.1.3. Sólidos Disueltos.

Los sólidos filtrables disueltos están compuestos por moléculas orgánicas, inorgánicas e iones que están en verdadera solución en el agua (CARE International - Avina, 2012), miden la concentración de sólidos que se encuentran disueltos en el agua.

Para su determinación se utiliza un filtro de fibra de vidrio, filtro de membrana, papel filtro lavado con ácido o un crisol de fondo poroso; se toma un volumen conocido de filtrado 50 ml y se repite el procedimiento utilizado para medir el residuo total (Guevara, 1996).

1.2.1.1.4. Sólidos Totales.

Los sólidos totales están formados por la materia flotante, material coloidal, sedimentable y en suspensión. Este parámetro, es fundamental para el dimensionamiento y control de operaciones en las unidades de tratamiento dentro de la caracterización física (CARE International - Avina, 2012).

Estos proporcionan información muy escasa sobre la composición del líquido que se evalúe al poseer valores absolutos. Para el análisis se debe tomar una muestra de agua de 50 ml la cual se coloca en un crisol de platino o porcelana de 100 ml de capacidad y luego someterlo a evaporación a una temperatura de 103 °C (Guevara, 1996).



1.2.1.2. Temperatura.

Debido al aporte de agua caliente procedente del aseo y las tareas domésticas este parámetro es mayor al agua de consumo, oscila entre 10 °C y 21 °C, con un valor medio de 15 °C, aproximadamente. Este aumento de temperatura ejerce una acción perjudicial sobre las aguas receptoras, pudiendo modificar la flora y fauna de éstas, y dando lugar al crecimiento indeseable de algas, hongos, etc.; también contribuye al agotamiento del oxígeno disuelto puesto que la solubilidad del oxígeno disminuye con el incremento de la temperatura.

1.2.1.3. Turbidez.

Se debe a la presencia de material suspendido y coloidal como arcilla, limo, materia orgánica e inorgánica finamente dividida, plancton y otros organismos microscópicos. La turbiedad es una expresión de la propiedad óptica que hace que los rayos luminosos se dispersen y se absorban, en lugar de que se transmitan sin alteración a través de una muestra (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013). Esta turbidez, impide el ingreso de la luz, lo que provocaría una menor productividad primaria.

1.2.1.4. Color.

Suele ser gris o pardo, pero debido a los procesos biológicos anóxicos el color puede pasar a ser negro (Espigares & Pérez, 1985).



1.2.1.5. Olor.

Los olores en las aguas residuales son causados por los gases producidos en la descomposición de la materia orgánica, o por la presencia de sustancias agregadas al agua residual. Las aguas residuales que recién son formadas, tienen un olor característico que es desagradable pero se lo cataloga como “soportable” (CARE International - Avina, 2012).

1.2.1.6. pH.

El pH es un parámetro que calcula la concentración de iones hidronio que se encuentran presentes en el agua. El pHmetro consta de un electrodo de vidrio que genera una corriente eléctrica proporcional a la concentración de protones de la solución y que se mide en un galvanómetro. El valor del pH depende de la temperatura. El pHmetro se calibra potencio-métricamente, con un electrodo indicador de vidrio y uno de referencia, (que pueden presentarse combinados en uno solo), utilizando patrones trazables (Severiche et al., 2013).

La actividad biológica se desarrolla dentro de un intervalo de pH generalmente estricto. Un pH que se encuentre entre los valores de 5 a 9, no suele tener un efecto significativo sobre la mayoría de las especies, aunque algunas son muy estrictas respecto a este. Un aspecto importante del pH es la agresividad de las aguas ácidas, que da lugar a la solubilización de sustancias por ataque a los materiales (Espigares & Pérez, 1985).



Aparte del efecto directo, el pH tiene un efecto indirecto, influenciando la toxicidad de algunas sustancias, especialmente de aquellas en las que, la toxicidad depende del grado de disociación (Espigares & Pérez, 1985).

1.2.1.7. Alcalinidad del agua.

Es la capacidad para neutralizar ácidos presentes en un agua, estos iones se neutralizan con elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio, amoníaco, etc. El agua residual suele tener un cierto grado de alcalinidad, cuyo origen es el agua de suministro y el aporte por las sustancias de uso doméstico (Espigares & Pérez, 1985); y es la suma de todas las bases titulables; esta nos mide la cantidad de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos presentes en el agua. Principalmente se debe a su contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos aunque otras sales o bases también contribuyen a la alcalinidad. Su valor puede variar significativamente con el pH (Severiche et al., 2013).

1.2.2. Características Químicas.

Las propiedades químicas del agua tienen gran importancia debido a que interactúan con las del suelo, variando cada uno de los parámetros de los componentes del agua. Entre los principales tenemos:

1.2.2.1. Componentes de la Materia Orgánica.

La materia orgánica se la distingue en el agua residual domestica cuando alrededor del 70% de los sólidos suspendidos y el 40 % de los sólidos filtrables son de origen orgánico. La naturaleza de esto solidos preceden del reino animal y el vegetal, y de las actividades humanas. Los compuestos orgánicos contienen principalmente carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, y otros elementos en menor proporción, tales como azufre, hierro, fósforo (CARE International - Avina, 2012).

1.2.2.2. Demanda Bioquímica de Oxígeno.

Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua. Esta prueba se realiza durante 5 o 3 días a 20 °C por lo que se expresa como DBO o DBO₅, respectivamente (Espigares & Pérez, 1985).

Este es el parámetro más aplicado tanto a aguas residuales como a superficiales. Lo que se mide es el oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica aunque tiene ciertas limitaciones, este ensayo es usado porque mediante el mismo se pueden determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente; dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales; medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento; y controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos (Metcalf & Eddy, 1995).



1.2.2.3. Demanda química de Oxígeno (DQO).

Este parámetro mide la cantidad de materia orgánica del agua, mediante la determinación del oxígeno necesario para oxidarla, pero en este caso proporcionado por un oxidante químico como el permanganato potásico o el dicromato potásico. La DQO no puede ser menor que la DBO, debido a que es mayor la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica. Frecuentemente se realiza la determinación con permanganato en las aguas para consumo, denominándose oxidabilidad al permanganato, mientras que en las aguas residuales se realiza con dicromato, llamándose más propiamente DQO (Espigares & Pérez, 1985).

Para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse, se emplea un agente químico fuertemente oxidante en el medio ácido. El dicromato potásico es muy usado como agente químico. Esto también se lo emplea en la medición de la materia orgánica presente en aguas residuales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica (Metcalf & Eddy, 1995).

1.2.2.4. Nitrógeno Kjeldahl.

El N-Kjeldahl es una medida habitual en estudios de aguas residuales utilizada para cuantificar la cantidad de nitrógeno orgánico y amoníaco presente en aquellas. De este modo, el agua residual doméstica puede contener hasta unos 100 mg/l de N-Kjeldahl expresado como NH_3 , mientras el agua natural no excede de 5 mg/l.

En el método de KJELDAHL (método oficial) se trata de llevar a cabo una digestión del agua en un medio sulfúrico y en presencia de sulfato potásico y un catalizador de sulfato mercúrico. Así, la materia orgánica se oxida a CO_2 y H_2O , desprendiéndose NH_3 que en el medio de digestión se transforma en sulfato de amonio, no volátil. La disolución digerida se alcaliniza con hidróxido sódico y tiosulfato sódico volviéndose a formar NH_3 que se destila y se fija en una disolución ácida. El amonio en esta disolución se determina por valoración por retroceso con ácido fuerte (ácido sulfúrico).

1.2.2.5. Amoniaco.

Es la etapa final de la reducción de sustancias orgánicas e inorgánicas ricas en nitrógeno. En aguas oxigenadas, el amonio se oxida a NO_2^- - por acción de bacterias, partiendo bien de amoníaco neutro o bien de sales de amonio. Dado que existe un equilibrio ácido-base tal como el siguiente: $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$ de constante de acidez $K_a=5,71 \cdot 10^{-10}$, se deduce que el valor del pH del agua determinará las diferentes concentraciones de amoniaco e ion amonio presentes en cada situación, y por lo tanto la actividad de cada tipo bacteriano concreto. De cualquier forma, el producto final es el ion NO_2^- que a su vez puede ser metabolizado para formar proteínas y aminoácidos. A la muerte del organismo vivo, otro tipo de bacterias se ocupan de transformar las proteínas en amonio según un proceso reductivo.

El agua de lluvia puede presentar algunas trazas de amonio. Por su parte, las aguas superficiales bien aireadas, generalmente contienen poco NH_3 . Por contra, las aguas contaminadas por vertidos residuales domésticos exhiben concentraciones mucho más elevadas (hasta 50 mg/l). En lagos y embalses, las concentraciones de amonio siguen una secuencia regida por la de estratificación y mezcla térmicas de la masa de agua, durante la mezcla vertical y horizontal de la masa de agua coincidente con estación de lluvias, los niveles de amonio apenas varían en la columna de agua manteniéndose bajos (Espigares & Pérez, 1985).

1.2.2.6. Nitrato y nitrito.

Son iones de origen natural que forman parte del ciclo del nitrógeno. El nitrato se utiliza principalmente en fertilizantes inorgánicos, y el nitrito sódico como conservante alimentario. La concentración de nitrato en aguas subterráneas y superficiales suele ser baja, pero puede llegar a ser alta por filtración o escorrentía de tierras agrícolas o debido a la contaminación por residuos humanos o animales como consecuencia de la oxidación del amoniaco y fuentes similares. Las condiciones anaerobias pueden favorecer a la formación y persistencia del nitrito, por lo que la formación del nitrito es consecuencia de la actividad microbiana y puede ser intermitente.

1.2.2.7. Fosfatos.



Se lo encuentra presente en las aguas residuales en forma de ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. Son indispensables para el crecimiento de los microorganismos en cantidades normales ya que los fosfatos satisfacen los requerimientos de fósforo de todos los organismos presentes en el agua (Espigares & Pérez, 1985).

Los compuestos del fósforo son nutrientes de las plantas y conducen al crecimiento de algas en las aguas superficiales. Dependiendo de la concentración de fosfato existente en el agua, puede producirse la eutrofización. Tan sólo 1 g de fosfato-fósforo ($\text{PO}_4\text{-P}$) provoca el crecimiento de hasta 100 g de algas. Cuando estas algas mueren, los procesos de descomposición dan como resultado una demanda de oxígeno de alrededor de 150 g. Las concentraciones críticas para una eutrofización incipiente se encuentran entre 0,1-0,2 mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$ en el agua corriente y entre 0,005-0,01 mg/l $\text{PO}_4\text{-P}$ en aguas tranquilas. En vista del peligro potencial para las aguas superficiales, la directiva (CEE, 1998) especifica unos valores límite para el vertido de compuestos de fosfato a las aguas receptoras. En función del tamaño de la E.D.A.R., estos valores son 2 mg/l P total (10.000 – 100.000 h-e) o 1 mg/l P total (> 100.000 h-e).

1.2.3. Características Biológicas.

Las aguas residuales, dependiendo de la concentración y composición, pueden contener gran cantidad de organismos. En este punto influyen la presencia de la temperatura y el pH, puesto que cada organismo requiere valores determinados de estos dos parámetros para desarrollarse.



1.2.3.1. Coliformes totales.

Incluye una gran variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos y gram negativos, capaces de proliferar en presencia de concentraciones relativamente altas de sales biliares fermentando la lactosa y produciendo ácido o aldehído en 24 horas a 35 - 37 ° C.

Las bacterias pertenecientes a este grupo, están presentes en aguas residuales y aguas naturales; algunas de estas son excretadas en las heces de personas y animales, pero muchos coliformes son heterótrofos y capaces de multiplicarse en suelos y medios acuáticos.

Estos también pueden proliferar y sobrevivir en sistemas de distribución de agua, sobre todo en la presencia de biopelículas. Los Coliformes totales se miden generalmente en muestras de 100 ml de agua, en la cual debe haber ausencia de estos inmediatamente de la desinfección, si existe presencia es que el tratamiento es inadecuado (OMS, 2006).

1.2.3.2. Coliformes fecales.

Los coliformes fecales se definen como todos aquellos bacilos cortos, gram negativos, aerobios y anaerobios facultativos, capaces de fermentar lactosa con producción de ácido y gas en 24-48 horas a 44 b 0.5 %C. La principal diferencia entre los coliformes



totales y fecales es la capacidad de estos últimos de crecer a mayor temperatura en condiciones de laboratorio.

Según Espigares & Pérez, 1985 cada persona elimina diariamente alrededor de 100.000 a 400.000 millones de coliformes a través de las heces, además de otras clases de bacterias por lo tanto estas bacterias coliformes se utilizan como indicador de polución por vertidos de origen humano.

1.3. Humedales.

1.3.1. Funciones de los humedales Artificiales.

Los humedales cumplen varias funciones específicas para los seres vivos, el hábitat natural generado produce grandes cantidades de nutrientes para las especies que habitan en este medio ambiente.

La importancia de los humedales naturales radica tanto en sus peculiaridades biológicas, vegetación y fauna especializada como en las funciones que desempeñan en el ciclo del agua y de la materia orgánica, reciclado de nutrientes, mantenimiento de redes tróficas y estabilización de sedimentos. Tienen un importante papel como 'depuradoras' naturales, contribuyendo al mantenimiento de la calidad de las aguas subterráneas y superficiales (Hammer & Bastian, 1989).

1.3.2. Funciones de la Vegetación.

Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento del agua residual de varias maneras:

1. Las plantas acuáticas que se desarrollan en los FSS actúan como canales de transporte de gases (dióxido de carbono, metano, etc.) hacia la atmósfera y oxígeno hacia el relleno. Las plantas suministran oxígeno a sus propias raíces para mantenerlas en condiciones aerobias. Si se encuentran con un lecho muy reductor, tienen que suministrar mayor cantidad de oxígeno para contrarrestar esas condiciones. Es por esto que una misma especie puede aportar más oxígeno cuando está en contacto con agua residual. Un ejemplo de este proceso es la *Phragmites australis* que creciendo en lechos de grava, sus valores varían entre 2.08 (Brix & Schierup, 1990) y 12 g O₂/m²/d (Armstrong, Beckett, & Armstrong, 1990).
2. Las plantas ayudan a estabilizar el cauce, influyen en la conductividad hidráulica del terreno, distribuyen y disminuyen la velocidad del agua, lo que favorece la sedimentación de los sólidos suspendidos y aumenta el tiempo de contacto entre el agua y la vegetación (Petticrew & Kalff, 1992), las raíces toman el carbono, nutrientes, y elementos de traza y los incorporan a los tejidos de la planta (Dierberg & Brezonik, 1984; Vymazal et al., 1998), agotando las sustancias disueltas en el agua.
3. Compactan el lecho brindando estabilidad.
4. Las raíces actúan como superficie para la fijación de microorganismos, aumentando así, la superficie de biopelícula (Kadlec & Wallace, 2009).

5. Minimizan el gradiente de temperatura dentro del relleno, protegiéndolo del frío en invierno y evitando flujos indeseables por diferencias de temperatura (Brix & Schierup, 1990).
6. Depuran el agua residual, existen estudios (Kadlec & Wallace, 2009) con y sin plantas que concluyen que el rendimiento de depuración es mayor cuando las plantas están presentes.

Estos sistemas al ser diseñados buscan a parte de tratar el agua residual, un aumento en los valores del hábitat con la vegetación que se utilizara para proporcionar alimentación y refugio a las aves y otras formas de vida acuática (Mena, 2002).

1.3.3. Función de los microorganismos.

Las transformaciones de los nutrientes y del carbono orgánico en humedales son el resultado del metabolismo microbiano que está directamente relacionada con el crecimiento de los microorganismos.

Éstos incluyen, principalmente, bacterias, hongos, y protozoarios. Esta biomasa se encuentra formando una biopelícula alrededor de las partículas del lecho. Los microorganismos utilizan los nutrientes y el carbono como su fuente de energía y para la formación de nueva biomasa microbiana.

La velocidad de crecimiento de esta nueva biomasa dependerá tanto de las condiciones ambientales como de la disponibilidad del substrato, la energía es obtenida por la oxidación de compuestos reducidos (dador de electrones) con un oxidante (aceptor de electrones) a través de la cadena respiratoria. Ejemplos de donantes de

electrones pueden ser compuestos orgánicos, amonio, hidrógeno o sulfuros; mientras que, como aceptores se pueden encontrar oxígeno, nitrato, hierro (III), manganeso (IV) o sulfato.

La mayoría de los procesos son llevados a cabo por bacterias heterótrofas y autótrofas, dependiendo del aceptor final de electrones, el proceso será rentable. La degradación aerobia de materia orgánica alcanza mayor energía por unidad de masa de donador de electrones que la nitrificación o cualquier otra degradación orgánica. Las bacterias que no utilizan oxígeno como aceptor final de electrones tienen un crecimiento más lento ya que el proceso resulta menos eficiente que el de la respiración aeróbica (Mena, 2002).

Los microorganismos se dividen en:

1.3.4. Bacterias.

Las bacterias sirven como puente que conecta los residuos con las plantas; transformando los desechos en nutrientes para la fácil asimilación hacia el interior de las plantas.

1.3.4.1. Bacterias Nitrificantes.

Se encargan de convertir el amoníaco en nitrato, que sirve como fertilizante para las plantas; este proceso consta de dos etapas:

- Las bacterias oxidantes del amoníaco (AOB) convierten el amoníaco (NH_3) en nitrito (NO_2) estas bacterias pertenecen al grupo de las nitrosomonas
- Las bacterias oxidantes de nitrito (NOB) convierten el nitrito (NO_2) en nitratos (NO_3) (FAO, 2005).



Las bacterias sin importar su naturaleza ya sea autótrofas o heterótrofas, todas ellas tienen un metabolismo aerobio estricto (Garzón, 1995)

1.3.4.2. Bacterias desnitrificantes.

Este proceso es llevado a cabo por bacterias aeróbicas facultativas que utilizan el oxígeno molecular como aceptor final de electrones. Estos microorganismos cuando se encuentran en ausencia de O_2 y en presencia de nitratos o de nitritos (medio anóxico), son capaces de cambiar su metabolismo y de utilizar los óxidos de nitrógeno como aceptores de electrones.

La desnitrificación puede ser llevada a cabo por un grupo de bacterias muy diverso, pero en general se trata de microorganismos heterótrofos y menos frecuentemente de organismos autótrofos. (Garzón, 1995)

1.3.4.3. Bacterias Heterótrofas y autótrofas.

Las bacterias se clasifican en autótrofas y heterótrofas; las primeras utilizan compuestos inorgánicos oxidados como única fuente de energía y CO_2 como fuente de carbono, el segundo grupo requiere una forma orgánica de carbono como nutrientes, una de las cuales son los carbohidratos, además utilizan CO_2 , pero no les satisface las necesidades de carbono. Estas son de gran importancia, puesto que participan en los procesos de auto purificación del agua y procesos biogeoquímicos presentes en la



misma, también intervienen en la producción de diversas enfermedades (Rangel-ortiz et al., 2010).

1.3.4.4. Bacterias acumuladoras de polifosfatos (PAO).

Estas bacterias son las encargadas de la eliminación biológica de fósforo, actúan en condiciones aerobia o anaerobia.

Las bacterias aerobias acumulan el fósforo intracelularmente en forma de polifosfatos, manteniendo las reservas de energía para la etapa anaerobia. Este proceso permite un incremento en la eliminación neta de fósforo.

En condiciones anaerobias la materia orgánica fácilmente biodegradable es descompuesta por las bacterias acidogénicas a ácidos grasos volátiles de cadena corta.

Debido a que las bacterias acumuladoras no pueden ganar energía bajo condiciones anaerobias, la energía necesaria para el almacenamiento de los ácidos grasos, es adquirida de la descomposición de los polifosfatos, durante este proceso se produce la descarga de los fosfatos al medio (Pastor, 2006).

1.3.5. Procesos de remoción físicos.

Los humedales son capaces de remover gran cantidad de solidos suspendidos de manera natural, gracias a su vegetación enraizada en el lecho natural.

Los humedales artificiales son capaces de proporcionar una alta eficiencia física en la remoción de contaminantes asociado con material particulado (Rers, 2008).

En los humedales el agua superficial se mueve con un flujo laminar debido a la resistencia que ejercen las raíces y las plantas flotantes (Llagas & Gómez, 2006).

La función de las hileras de plantas en los humedales es remover sólidos suspendidos limitando la re suspensión de material particulado, también esta hilera de plantas sirven como trampas de sedimentos. Las mallas o rejillas cumplen la función de remoción de los sólidos que se encuentran en las aguas, ayudando a atenuar el proceso que desempeñan las raíces de las plantas. La eficiencia de remoción de sólidos suspendidos es proporcional a la velocidad de particulado fijo y la longitud del humedal (Benefield & Randall, 1980).

1.3.6. *Procesos de remoción biológicos.*

La remoción biológica posiblemente es la vía más aceptable para la remoción de contaminantes en los humedales. La captación de contaminantes por las plantas es clave, ya que estos son absorbidos en forma de nutrientes e incluso algunos son esenciales para las plantas tales como nitrato, amonio y fosfato, que son tomados fácilmente por el vegetal. Sin embargo algunas especies que se encuentran presentes en los humedales son capaces de captar e incluso acumular metales tóxicos, como cadmio y plomo (Rers, 2008).

La velocidad de captación del contaminante en unidad de área de tierra es, mucho más alta en las plantas herbáceas respecto a las leñosas. Las algas pueden también captar una cantidad significativa de contaminantes, pero como desventaja son más susceptibles a los efectos tóxicos de metales pesados (Llagas & Gómez, 2006).

En la siguiente tabla se observa los mecanismos de eliminación los contaminantes más comunes presentes en las aguas.

Tabla 1
Mecanismos de depuración predominante en los humedales artificiales.

Contaminantes	Mecanismos de eliminación
Sólidos suspendidos	<ul style="list-style-type: none">• Sedimentación• Filtración
Materia orgánica	<ul style="list-style-type: none">• Degradación microbiana aerobia• Degradación microbiana anaerobia
Nitrógeno	<ul style="list-style-type: none">• Amonificación seguido por nitrificación microbiana y desnitrificación.• Asimilación por parte de las plantas• Adsorción principal• Volatilización del amoniaco
Fósforo	<ul style="list-style-type: none">• Adsorción por parte del lecho• Adsorción por parte de las plantas
Metales	<ul style="list-style-type: none">• Asimilación por parte de las plantas• Intercambio Iónico

Datos obtenidos del Plan de Manejo Integral de la microcuenca del Tabacay (PROMAS, 2005)

Elaboración: Autores



1.3.7. *Procesos de remoción químicos.*

En los humedales artificiales la absorción es el proceso químico para la remoción de suelo, el mismo que da lugar a la retención a corto plazo o a la inmovilización a largo plazo de varias clases de contaminantes.

La absorción hace referencia a la unión de iones con las partículas del suelo, por medio del intercambio catiónico o absorción química, lo cual es realizado de manera natural por las plantas que se encuentran conformando los humedales naturales o artificiales.

1.4. Humedales Construidos.

Son áreas donde la vegetación se adapta a la inundación periódica, pueden ser contruidos en ubicaciones donde no existen naturalmente; se utilizan en el manejo ambiental de aguas impuras (Hammer & Bastian, 1989).

Los humedales artificiales constan de una o más cuencas o canales de poca profundidad que tienen un recubrimiento de fondo para prevenir la percolación (paso lento de fluidos a través de materiales porosos) al agua evitando una contaminación del agua subsuperficial, además contienen una capa sumergida de suelo para las raíces de la vegetación macrófita emergente seleccionada. Cada sistema tiene estructuras adecuadas de entrada y salida para asegurar una distribución uniforme del agua residual aplicada y su recolección (EPA, 2000a).

Estos sistemas se aplican en hogares u otros edificios que no estén conectados a una planta de tratamiento de aguas negras, y donde exista el espacio disponible. Los sistemas de tratamiento de agua por humedales artificiales requieren extensas áreas de terreno en relación a los sistemas convencionales. Los humedales de flujo subsuperficial (SSF) pueden ser adaptados a muchos climas diferentes. La eficiencia de los humedales disminuye a medida que disminuye la temperatura, pero esta no afecta significativamente a los valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y los Sólidos Suspendidos Totales (SST), ya que estos son afectados por mecanismos físicos (EPA, 2000b). Los humedales artificiales o wetlands proporcionan el hábitat para la vida silvestre, y son estéticamente agradables a la vista (Llagas & Gómez, 2006).

1.4.1. Ventajas.

1. Las plantas pueden ser utilizadas como bombas extractoras de bajo costo para depurar aguas contaminadas.
2. Algunos procesos degradativos ocurren en forma más rápida con plantas que con microorganismos.
3. Es un método apropiado para descontaminar superficies grandes o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos largos.

1.4.2. Limitaciones:

1. El proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces o aguas poco profundas.

2. Los tiempos de proceso pueden ser largos.

3. La biodisponibilidad de los compuestos o metales es un factor limitante en la captación (Rers, 2008).

Se basan en tratamientos físicos, químicos y biológicos naturales, que no necesitan aporte extra de reactivos químicos. En lo que respecta a su funcionamiento como tratamiento biológico, se opera en condiciones anaerobias, facultativas y/o aerobias en las que el oxígeno se lo adquiere desde la atmósfera, lo que representa un ahorro importante de energía por prescindir de aireación con procedimientos mecánicos (Mena, 2002).

A la hora de gestionar, conservar o recuperar una zona húmeda hay que tener en cuenta todos estos factores ambientales:

1. **Naturaleza del sustrato y temporalidad.** Estos factores son muy importante, ya que seleccionan el tipo de plantas acuáticas que pueden vivir en un determinado tiempo y a los suelos subacuáticos en los que se acumula la materia orgánica. Cuando se quiere gestionar o conservar adecuadamente un ecosistema acuático para mantener su biodiversidad es necesario conocer su régimen hídrico y tratar de mantenerlo. Se considera el manejo y reemplazo periódico de la vegetación que se planea utilizar.
2. **Salinidad.** La concentración total de sales disueltas condiciona el desarrollo de las plantas acuáticas. Hay plantas adaptadas a soportar elevadas concentraciones de sales (plantas halófilas) con alto contenido en cloruros, o sulfatos como ion dominante. Por el contrario, hay otras plantas acuáticas que siempre viven en aguas dulces con muy poco contenido de sales totales

disueltas y otras están mejor adaptadas a vivir en aguas de tipo mixto, entre otras. .

3. **Turbiedad.** Es otro factor importante que condiciona a las plantas acuáticas ya que los vegetales necesitan luz para poder vivir. Podemos distinguir dos tipos de turbiedad, una que denominaremos física que se debe a la suspensión o floculación de los elementos finos del sedimento, limos, arcillas, y otra que podríamos denominar orgánica y que está relacionada con el fenómeno que se denomina eutrofización. La turbiedad física suele estar ligada al movimiento del agua por la acción del viento o al arrastre de partículas por las aguas de escorrentía.
4. **Eutrofización.** consiste en el proceso natural o antropogénico en las que el agua contiene un exceso de nutrientes que no pueden ser compensados por la mineralización total, de manera que se produce una disminución del oxígeno en las aguas profundas.. Las consecuencias de la eutrofización, que no suelen ser inmediatas, se concretan en una transformación gradual de los ecosistemas acuáticos debido al empobrecimiento cualitativo y cuantitativo de las formaciones vegetales, especialmente de las sumergidas y de las plantas más sensibles que suelen ser las más raras y amenazadas (Cirujano, 2002).

En conclusión un humedal es un sistema que consiste en un estanque o canal poco profundo, construido por el hombre, para el tratamiento de aguas residuales, en el que se siembran plantas acuáticas; estas plantas ayudan a purificar el agua mediante la absorción de los nutrientes, eliminando una cantidad significativa de contaminantes,



mientras sus raíces proporcionan el hábitat para microorganismos (Valencia, Silva, & Narváez, 2010).

1.5. Aplicación de los humedales artificiales.

Las diferentes características que poseen los humedales artificiales hacen que estos sean idóneos en sistemas naturales sin conexiones a sistemas convencionales, que dispongan grandes extensiones de terreno (especialmente granjas o casas rurales), o en fincas industriales que generen efluentes de tipo orgánico y de elevada biodegradabilidad, como las industrias agroalimentarias (como por ejemplo, lecherías y queserías), o también para la depuración de aguas ácidas de minas, y de lluvia.

Los aspectos que motivaron el interés por esta tecnología son los siguientes:

- Proporcionan un tratamiento eficaz, eliminando de las aguas residuales un amplio espectro de contaminantes: materia orgánica, nutrientes, microorganismos patógenos, metales pesados, etc.
- Sus costes de inversión, operación y mantenimiento son significativamente menores que los de los sistemas convencionales de tratamiento.
- Proporcionan un tratamiento secundario y/o terciario produciendo un agua reutilizable en muchos casos.
- El aporte de oxígeno es espontáneo, no generan fangos y aguantan bien las fluctuaciones de caudal o de carga contaminante.

- Están bien integrados dentro del paisaje, contribuyen al desarrollo de vida salvaje y tienen la posibilidad de ser utilizados para la concienciación y educación medioambiental.

A pesar de todas las ventajas que presentan, se ha observado que:

- En países con clima templado durante el invierno disminuye la efectividad de depuración de estos sistemas, sobre todo en la eliminación de nitrógeno.
- La eliminación fósforo es baja y disminuye con el tiempo.
- Requieren grandes extensiones de terreno para alcanzar resultados satisfactorios.
- No pueden ser alimentados directamente con aguas residuales de altas cargas orgánicas o de sólidos suspendidos.
- Requieren pretratamiento, al menos, para eliminar un exceso de sólidos suspendidos que podría provocar la obturación del lecho en poco tiempo (Mena, 2002).

1.6. Clases de humedales artificiales.

Según el espacio y condiciones del terreno, pueden distinguirse dos tipos de sistemas de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de agua residual:

- Humedal artificial de flujo superficial (FS) y
- Humedal artificial de flujo subsuperficial (FSS), dentro del cual se pueden encontrar de flujo horizontal (FSSH) y vertical (FSSV). Además, pueden existir combinaciones entre estos para formar sistemas híbridos (Mena, 2002).



1.7. Humedales de flujo subsuperficial.

Los humedales de flujo subsuperficial se encuentran formados por una o más cuencas o canales de poca profundidad de fondo recubiertos para prevenir la percolación. El tipo de recubrimiento depende de las condiciones del suelo en el cual se vaya a construir el humedal (EPA, 2000a).

En este tipo de humedales el agua fluye por debajo de la superficie de un medio poroso sembrado de plantas emergentes. La vegetación es semejante a la de los humedales superficiales y requiere un mantenimiento anual (poda) (Marín & Correa, 2010). El agua residual circula a través del medio poroso y siempre por debajo de la superficie del mismo. Como medio poroso, se suele utilizar rocas o grava.

La circulación del agua a través del suelo o material de soporte presenta mayor efectividad que la circulación de superficie durante el paso del agua residual a través del lecho poroso, se produce un contacto con zonas aerobias, anóxicas y anaerobias. La zona aerobia se encuentra en las zonas muy cercanas a la superficie y alrededor de las raíces y rizomas de las plantas. Los microorganismos que degradan la materia orgánica se encuentran formando una biopelícula alrededor de la grava y de las raíces de las plantas.

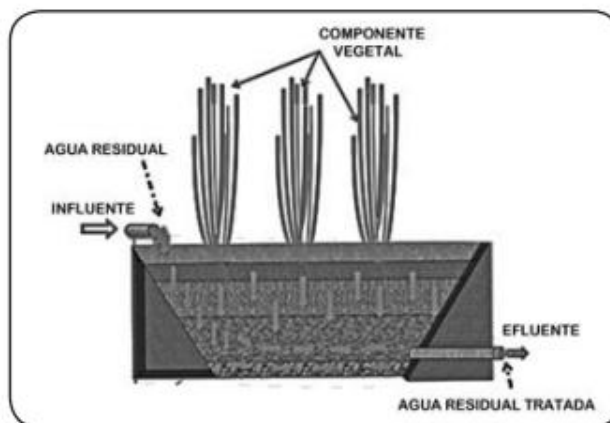


Ilustración 1 Esquema general de un humedal artificial de flujo subsuperficial Fuente: sistema de humedales artificiales para el control de la eutrofización del lago del bosque de San Juan de Aragón (Luna & Castañeda, 2014).

Por lo tanto, cuanto mayor sea la superficie susceptible de ser ocupada por la biopelícula, mayor será la densidad de microorganismos y mayor el desempeño del sistema. Este hecho hace que el área requerida sea menor que en los humedales de flujo superficial pero con un mayor coste debido al uso de una mayor cantidad de medio poroso. Además, con este sistema, se evitan problemas como posibles plagas de insectos, olores y, en climas fríos, aportan una mayor protección térmica. Dentro de los humedales de flujo subsuperficial, como se enumeró anteriormente, se puede encontrar dos tipos de flujo: horizontal (FSSH) y vertical (FSSV).

Estos son muy eficientes en lo referido a costo, consumo energético y mantenimiento, si los comparamos con sistemas convencionales. (Mena, 2002).

Un humedal con flujo subsuperficial, puede considerarse como un reactor biológico tipo proceso biopelícula sumergida. El agua entra por uno de los extremos y se reparte

atravesando la zona de grava sembrada con los helófitos. En el otro extremo el agua es recogida en el fondo (Lahora, 1971).

1.7.1. *Humedales de flujo Horizontal.*

En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular, los rizomas y raíces de las plantas. La profundidad del agua es de entre 0,3 y 0,9 m. Se distinguen por funcionar permanentemente inundados (el agua se encuentra entre 0,05 y 0,1 m por debajo de la superficie) y con cargas de alrededor de 6 g DBO/m²·día (García & Corzo, 2008).

Trabaja con una alimentación continua realizada a lo largo de uno de los laterales. La recogida del agua depurada se realiza en la parte inferior del lado opuesto al de la alimentación. Como se ve en la Ilustración 3, el nivel de agua es regulado con una tubería flexible manteniendo en todo momento el lecho saturado de agua (Mena, 2002).

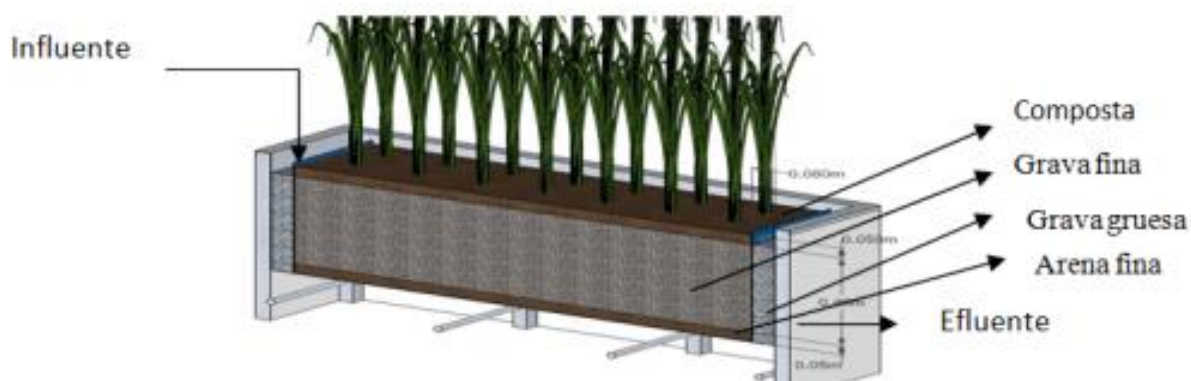


Ilustración 2 Esquema del humedal artificial subsuperficial horizontal Fuente: Sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua (Rivas & Paredes, 2014).



1.7.2. Humedales de flujo vertical.

La alimentación se realiza por toda la superficie distribuida de manera uniforme y habitualmente por cargas, y la recogida se lo realiza a lo largo de todo el fondo. La tubería flexible, o no existe, o está en la posición más baja para mantener unas condiciones insaturadas en el medio poroso. Con este sistema, se consigue un mayor contacto entre el agua residual y el aire dentro de los poros, por lo tanto, se obtiene mejores rendimientos en aquellos mecanismos aerobios debido a un mayor aporte de oxígeno. El inconveniente que se presenta es que su operación es más compleja, un poco más cara y que no han sido tan estudiados como los horizontales (Mena, 2002).

1.8. Marco Jurídico.

1.8.1. Constitución de la República del Ecuador.

Según la Constitución de la República del Ecuador dispone en la Sección segunda referente al Ambiente sano:

Art. 14.- 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. Se declara de interés público la preservación del ambiente, la conservación de



los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua (Constitución de la Republica del Ecuador, 2008).

1.8.2. *Plan Nacional del Buen Vivir.*

Según lo expuesto en el **Plan Nacional del Buen Vivir** en su objetivo 7, manifiesta la sustentabilidad y sostenibilidad ambiental en los ámbitos económico, social y cultural; garantizando los derechos de la naturaleza, proponiendo el derecho ciudadano a vivir en un ambiente sano, libre de contaminación mediante una planificación integral para la conservación de los hábitats (pnbv7).

1.8.3. *TULSMA.*

El TULSMA tiene como función principal la preservación y control de la contaminación ambiental en lo que corresponde al recurso hídrico. El objetivo principal de esta norma es garantizar la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar los usos asignados, la integración de las personas, los ecosistemas y el ambiente en general. Además establece que las aguas residuales que incumplan con los límites de



descarga establecidos en la norma deben ser tratadas adecuadamente sin importar su origen.

Según la modificación del TULSMA del año 2015 en el acuerdo ministerial N.387 toda descarga a un cuerpo de agua dulce, deberá cumplir con los valores establecidos (ver Anexo 2).

CAPÍTULO II.

2. Metodología.

2.1. Ubicación de la zona de estudio.

El área el proyecto se encuentra ubicado en la provincia del Cañar, cantón Azogues, comunidad de Tabacay, sector Nudpud en las coordenadas (UTM WGS84 17S), 744393,91mE; 9704227mS esta zona es considerada un área de cultivo.

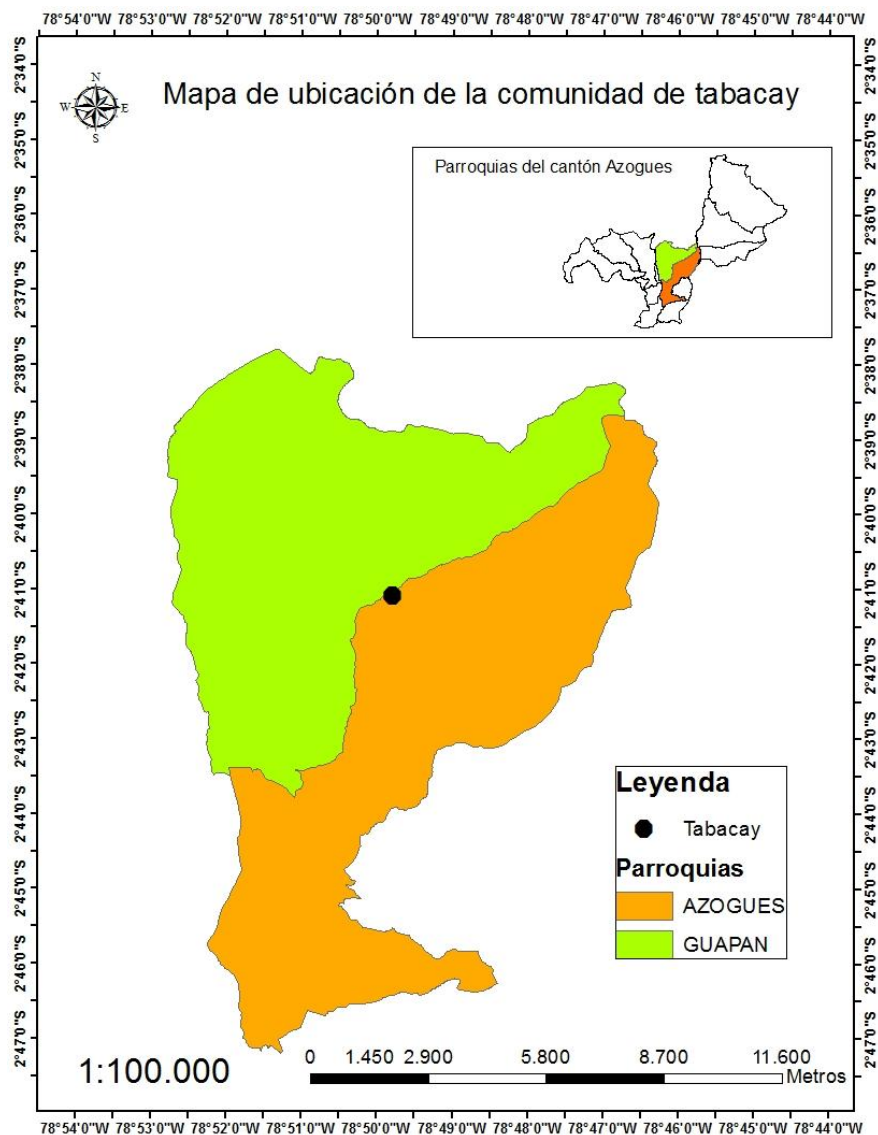


Ilustración 3 Mapa de Ubicación de la comunidad del Tabacay Elaboración: Autores (2017).

Con el crecimiento demográfico paulatino que ha sufrido la comunidad de Tabacay en estas últimas décadas, se ha convertido en una zona residencial. La comunidad al no contar con un tratamiento de las aguas servidas vierten directamente su efluente a la quebrada Nudpud perteneciente a la comunidad de Tabacay.

La quebrada de Nudpud pertenece a la microcuenca del río Tabacay, cuenca del río paute que se encuentra situado en las coordenadas (UTM WGS84 17S) 743280,87mE; 9704013,42mS. Esta microcuenca presenta rangos de altitud que van desde los 2490 metros a los 3730 metros sobre el nivel del mar.

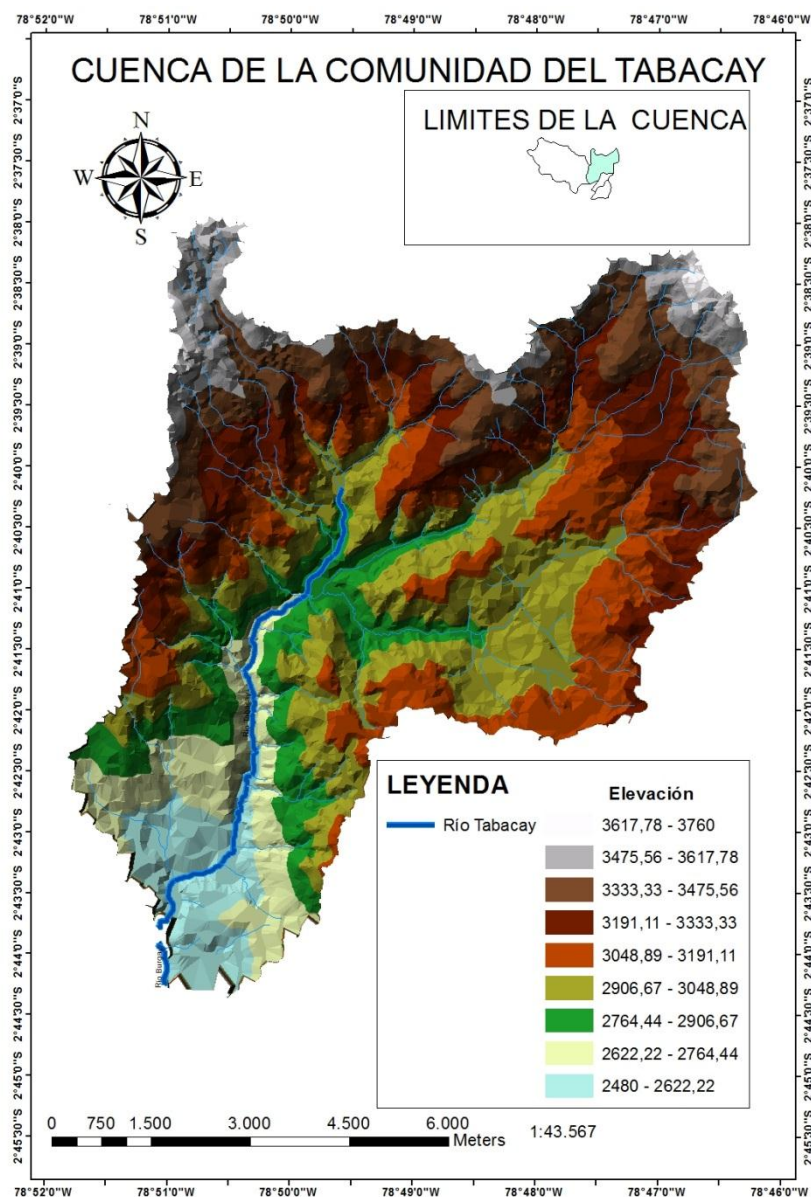


Ilustración 4 Mapa de ubicación de la cuenca de Tabacay, cantón Azogues, Provincia de Cañar.

Fuente: autores (2017).

Los principales afluentes de la microcuenca del río Tabacay son las quebradas de Llaucay, Nudpud, Condor Yacu, Rosario y Mapayacu; de las cuales la quebrada de Nudpud y Mapayacu no cuentan con un sistema de tratamiento para la potabilización de su agua por lo cual sus vertidos corren directamente al cauce del río Tabacay.



Ilustración 5 Quebradas principales de la microcuenca del río Tabacay.

Fuente: (PROMAS, 2005).

La microcuenca posee una superficie de 6650 hectáreas y pertenece administrativamente al cantón Azogues la cual se divide en dos parroquias: Guapan y Bayas.

2.2. Geografía.

La microcuenca del Tabacay posee pendientes pronunciadas las mismas que van desde los 0% - 12%, 12 – 30%, 30 - 45% y pendientes mayores a 45% según los datos obtenidos del Plan de Manejo de la Microcuenca del río Tabacay esta clasificación se presenta en la tabla N°2.

Tabla 2
Pendientes de la microcuenca del río Tabacay

Clase de pendiente	Rango	Superficie (ha)	Porcentaje del área
1	0 – 12 %	411.18	6.18
2	12 – 30 %	2026.16	30.46
3	30 – 45 %	1681.37	25.28
4	>45 %	2533.41	38.08

Datos obtenidos del (PROMAS, 2005). Elaboración: autores.

2.3. Suelo.

La comunidad del Tabacay cuenta con diferentes tipos de suelos los cuales se representan en la tabla N°3 obtenidas del Plan de Manejo de la Microcuenca del río Tabacay.

Tabla 3

Clasificación de los suelos identificados con su representatividad con respecto al área total en la microcuenca del río Tabacay

Tipo de suelo	Área (ha)	Porcentaje del área
Calcicarc Cambisol	98	1.5
Dystric Cambisol	10	0.2
Eutric Cambisol	237	3.6
Haplic Calcisol	145	2.2
Humic Regosol	13	0.2
Humic Umbrisol	748	11.3
Leptosol / Skeletic	1188	17.9
Skeletic Cambisol	242	3.6
Umbric Andosol	3966	59.6
Total	6650	100.00

Datos obtenidos del plan de manejo integral de la microcuenca del Tabacay (PROMAS, 2005).

Elaboración: Autores.

2.4. Hidrografía.

La microcuenca del río Tabacay está compuesta por 5 subcuencas las mismas que se denominan: Llaucay, Nudpud, Condor yacu, Mapayacu y Rosario; la empresa municipal de agua potable, alcantarillado y saneamiento ambiental EMAPAL EP., utilizan estas aguas para su posterior potabilización, a pesar de ello no se tiene un registro de caudales, por lo cual es necesario obtener un mecanismo para medir los

caudales en cada una de las subcuencas. A continuación se presenta una tabla de las subcuencas que conforman la microcuenca del río Tabacay con sus perímetros y áreas

Tabla 4
Subcuencas del río Tabacay

Subcuenca	Área (ha)	Perímetro (Km)
Llaucay	1732	23
Nudpud	1355	20
Condoryacu	1057	19
Mapayacu	398	11
Rosario	2109	22
Tabacay total	6651	43.48

Datos obtenidos del plan de manejo integral de la microcuenca del Tabacay (PROMAS, 2005).

Elaboración: Autores.

2.5. Clima.

La comunidad se encuentra a una altitud de 3000 m.s.n.m., la precipitación varía en frecuencia, cantidad y duración; en las zonas bajas la precipitación es regular teniendo unos picos en los meses de marzo y octubre; en las zonas altas la precipitación tiene unos máximos en los meses de junio y julio y unos mínimos en los meses de noviembre hasta febrero. En la tabla N°5 se muestra la distribución anual de la precipitación en la microcuenca del río Tabacay.

Tabla 5

Precipitación mensual en (mm) de la cuenca del río Tabacay.

Mes	Precipitación (mm) a altitudes menores a 3000 msnm	Precipitación (mm) a altitudes mayores a 3000 msnm
Enero	60	100
Febrero	70	70
Marzo	100	100
Abril	90	110
Mayo	80	120
Junio	60	160
Julio	60	160
Agosto	40	120
Septiembre	60	100
Octubre	90	70
Noviembre	70	50
Diciembre	80	50
Promedio	72	101
Total anual	860	1210

Datos obtenidos del plan de manejo integral de la microcuenca del Tabacay (PROMAS, 2005).

Elaboración: Autores.

2.6. Flora y Fauna del Tabacay.

2.6.1. Flora.

Para el análisis de la flora y fauna de la microcuenca del Tabacay la información fue recopilada Plan de Manejo de la microcuenca del río Tabacay (PROMAS, 2005). Los páramos presentes en las zonas altas cumplen un papel importante como proveedores de servicios ambientales como: albergar especies propias del sector y la producción de

agua para los habitantes aledaños al lugar; el suelo consiste casi en su totalidad de materia orgánica (PROMAS, 2005). En la tabla N°6 se presenta la flora encontrada en la microcuenca del Tabacay.

Tabla 6
Flora presente en la microcuenca del Tabacay.

Formación natural	Piso altitudinal (Sierra, 1999)	Altitud dentro de la cuenca del río Tabacay
Matorral húmedo montano	1500 – 2900 m s.n.m.	2000 – 3000 m s.n.m.
Bosque siempre verde montano alto	2900 – 3300 m s.n.m.	3000 – 3200 m s.n.m.
Páramo herbáceo	> 3300 m s.n.m.	> 3200 m s.n.m.
Páramo arbustivo	> 3300 m s.n.m.	> 3200 m s.n.m.

Datos obtenidos del Plan de Manejo Integral de la microcuenca del Tabacay (PROMAS, 2005)

Elaboración: Autores.

2.6.2. Fauna.

La fauna presente en la microcuenca del Tabacay se obtuvo de la bibliografía del (PROMAS, 2005) el mismo que lo clasifica en dos pisos zoogeográficos que son: Templado y el Altoandino. El primero hace referencia a la formación natural “Matorral húmedo montano”; el segundo piso corresponde con las formaciones naturales “Bosque siempre verde montano alto”, “Páramo herbáceo” y “Páramo arbustivo”. Las siguientes tablas indican la fauna presente en el sector con sus respectivos pisos zoogeográficos.

Tabla 7
Aves características de la microcuenca del Tabacay.

Nombre científico	Nombre común	Hábitat
<i>Columba fasciata</i>	Torcaza	B
<i>Lesbia nuna</i>	Pelagallo	P
<i>Aglaectis cupripennis</i>	Quinde café	B
<i>Eriocnemis</i> spp.	Calzonario	
<i>Zonotrichia capensis</i>	Gorrión	B, AC, P
<i>Notiochelidon murina</i>	Golondrina	B, P, AC
<i>Ochtoecas</i> spp.	Campanilla	B, P

Datos obtenidos del Plan de Manejo Integral de la microcuenca del Tabacay (PROMAS, 2005)

Elaboración: Autores

Simbología: P (páramo), B (bosque), AC (área cultivada) y R (ribereño).

Tabla 8
Mamíferos presentes en la microcuenca del Tabacay.

Nombre científico	Nombre común	Hábitat
<i>Didelphis albiventris</i>	Zorro	B
<i>Myotis</i> spp.	Murciélago	B
<i>Conepatus semistriatus</i>	Zorro, Añax	P, B, R
<i>Oncifelis colocolo</i>	Gato pajero	P, B
<i>Tremarctos ornatus</i>	Oso de anteojos	B, P
<i>Pseudalopex culpaeus</i>	Raposo o Lobo de páramo	P
<i>Sciurus</i> spp.	Ardilla	B

Datos obtenidos del Plan de Manejo Integral de la microcuenca del Tabacay (PROMAS, 2005)

Elaboración: Autores.

Simbología: P (páramo), B (bosque), AC (área cultivada) y R (ribereño).



2.7. Conservación de la microcuenca por EMAPAL. EP.

Se han puesto en marcha varias actividades en pro de la conservación de la microcuenca entre las cuales se pueden describir las siguientes.

- Adquisición de terrenos adyacentes a las riveras de los afluentes.
- Reintroducción de vegetación endémica a la microcuenca.
- Creación de planes, técnicas y programas para la protección y conservación de la microcuenca.

El indebido uso de las tierras adyacentes a los afluentes ha hecho que las entidades de control existentes en la ciudad de Azogues, tengan que comprar estas tierras a sus propietarios con el fin de conservar la calidad de agua y del suelo en la microcuenca del Tabacay; estableciendo planes de reintroducción de vegetación para devolver la capacidad reguladora a los suelos.

EMAPAL EP., ha generado grandes avances en la conservación de la microcuenca aunque aún falta mucho que hacer ya que el crecimiento demográfico es constante y arriesga la calidad del medio deteriorando las obras implementadas.

2.8. Sociabilización.

Para desarrollar la investigación fue importante la coordinación previa con los dirigentes comunales y los funcionarios de la empresa EMAPAL EP., quienes acordaron lugar y fecha para realizar una reunión y sociabilizar el proyecto. Esta

asamblea se sostuvo el día 12 de febrero del 2017 a las 11:00 am., en el teatro Señor de Flores de la parroquia Bayas.

En la sesión se informó a la comunidad sobre el proyecto que gestiona la empresa EMAPAL EP., conjuntamente con los tesisistas encargados del diseño, para tratar el agua residual de la comunidad de Tabacay sector Nudpud.

Las dudas de los asistentes se basaron principalmente en la fiabilidad del proyecto, beneficios que representara y costos que conllevara la comunidad,



Ilustración 6 Llegada de los asistentes a la reunión (2017)



Ilustración 7 Comunidad de Tabacay presentes en la reunión (2017)



Ilustración 8 Presentación del proyecto a los asistentes (2017).

2.9. Sitio de emplazamiento.

La selección del sitio de emplazamiento tiene por objeto analizar los diferentes lugares para los que es posible diseñar el proyecto, con el fin de establecer el sitio que presente los mayores beneficios tanto ambientales como económicos para la empresa EMAPAL EP y los habitantes de la comunidad de Tabacay. Se consideraron tres sitios de la comunidad, de los cuales dos se encontraban a altitudes mayores al de algunas casas del sector por lo que la construcción del sistema en ese sitio representaría la no recolección de toda el agua residual, constituyendo así a que el sistema sea ineficiente.

Se designó un sitio, el mismo que cuenta con facilidad de acceso para los trabajos de construcción. El sitio pertenece a la empresa EMAPAL EP., y se encuentra en las coordenadas (UTM WGS84 17S); 743432,35mE y 9703977,59mS, de la comunidad de Tabacay sector Nudpud.



Ilustración 9 Sitio de emplazamiento del proyecto Fuente: Google Earth (2017).

2.10. Muestreo

2.10.1. Procedimiento del muestreo

Para el buen manejo y toma de las muestras nos regimos a las exigencias del Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN) de la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE).

Para el procedimiento se siguieron las siguientes normas:

- **NTE INEN 2 169: 2013 CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS.**

Esta norma establece las técnicas para conservar y transportar todo tipo de muestras de agua.

- **NTE INEN 2 176: 2013 CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO.**

Esta norma establece pautas sobre las técnicas de muestreo usadas para obtener los datos necesarios en los análisis de control de calidad de las aguas.



Para el muestreo se utilizaron los siguientes materiales:

- 2 botellas de plástico de capacidad de un galón para la toma de muestra de agua residual destinada al análisis físico-químico, las mismas que ya fueron lavadas y esterilizadas por la empresa EMAPAL EP.
- Recipientes esterilizados para realizar el examen bacteriológico.
- Equipo de refrigeración adecuada para el transporte de las muestras.
- 1 termómetro.
- Cinta para el etiquetado de las muestras.
- Botas, guantes para realizar el muestreo.

Para la medición de caudal se utilizaron:

- Cronómetro.
- Balde de un volumen conocido (3 litros).
- Botas, guantes para realizar el muestreo

Se seleccionó dos puntos de muestreo en la zona baja de descarga de aguas residuales de la comunidad de Tabacay, sector Nudpud, tomando en consideración; la accesibilidad para facilitar el transporte de los equipos y materiales de muestreo.

Los puntos de muestreo se encuentran en las coordenadas (UTM WGS84 17S); **punto 1** 744206,23mE; 9704553,14mS y el **punto 2** en la coordenadas 744227,57mE; 9704597,57mS. Se seleccionaron estos lugares de muestreo para poder analizar el cambio en los valores de los 14 parámetros físicos, químicos y biológicos (pH, Sólidos

totales, Sólidos Sedimentables, Sólidos suspendidos, Sólidos Volátiles, Nitritos, Nitratos, Nitrógeno total, Fósforo reactivo, fósforo total, Oxígeno disuelto, DBO, DQO, coliformes fecales y coliformes totales), a lo largo del recorrido del agua residual en la tubería de la comunidad de Tabacay.

Cabe recalcar que existen diferentes puntos de descarga en la comunidad que conducen al río, por lo que la muestra se tomó del sistema que poseen la mayor interconexión de domicilios.

La toma de las muestras se realizó a las 10h00 am los días 7 y 28 de mayo del 2017, tanto para los ensayos físico-químicos como para los bacteriológicos se realizó un muestreo simple; las muestras se tomaron en la finalización del invierno en Ecuador para obtener el menor número de infiltración de aguas lluvias a los canales de agua residual.

Para el análisis físico-químico se tomó un volumen de 2 galones y para el análisis bacteriológico se tomaron volúmenes de 60 ml.

Antes de cerrar los botellones se registró la temperatura que corresponde al agua residual.

Posteriormente se procedió a etiquetar las muestras tomadas incluyendo hora, fecha, sitio de la toma de muestra, origen del agua y temperatura.

Finalmente las muestras fueron enviadas al laboratorio de análisis de agua de la Facultad de Ciencias Químicas, para su análisis correspondiente.



Ilustración 10 Toma de muestras (2017)



Ilustración 11 Muestra de análisis bacteriológico (2017)



Ilustración 12 Muestra análisis fisicoquímico (2017)

2.11. Análisis de la calidad de los vertidos.

De la muestra tomada en la comunidad de Tabacay sector Nudpud se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 9
Comparación de los análisis con la Normativa Ambiental Vigente

Parámetros	Unidades	Muestra 1	Muestra 2	Normativa Ambiental Ecuatoriana
pH		6,9	7,8	6-9
Sólidos Totales	mg/l	204	670,3	1600
Sólidos Sedimentables	ml/l	0,2	1,8	1
Sólidos Suspendidos	mg/l	0,173	0,720	130
Sólidos Volátiles	mg/l	0,03	0,06	
Nitritos	mg/l	0,09	1,47	Nitritos + Nitratos 10
Nitratos	mg/l	2,9	11,8	
Nitrógeno Total	mg/l	3,3	-----	
Fósforo Reactivo	mg/l	2,21	5,7	
Fósforo Total	mg/l	2,85	6,2	10
Oxígeno Disuelto	mg/l O ²	1,29	0,9	
DBO ₅	mg/l	37	50,4	100
DQO	mg/l	53	86	200
Coliformes Totales	Nmp/100ml	1,2x10 ⁹	1,6x10 ⁸	
Coliformes Fecales	Nmp/100ml	1,3x10 ⁵	1,5x10 ⁶	2000

Elaboración: Autores (2017)

En la tabla N°9 se realiza la comparación de los análisis de agua residual obtenidas con respecto a la Normativa Ambiental vigente, en la cual se observan que ciertos parámetros no exceden los límites establecidos en la Norma. Se distingue que el efluente del cual se tomaron las muestras contiene una mezcla de agua residual y

agua lluvia; la muestra se obtuvo en un periodo invernal por lo cual se supone una dilución de los contaminantes.

De los datos obtenidos se analiza lo siguiente:

En la muestra de la comunidad existe un nivel de DBO bajo, que indica que el agua no contiene elevadas cantidades de materia orgánica; de la misma forma el nivel de DQO presenta bajas cantidades por lo tanto se calcula el índice de biodegradabilidad:

$$\text{Índice de biodegradabilidad} = \frac{DBO_5}{DQO} = \frac{50,4 \frac{mg}{l}}{86 \frac{mg}{l}} = 0,58$$

El valor obtenido indica que el agua posee buena biodegradabilidad.

Las concentraciones de Fósforo total son pequeñas y las concentraciones de Nitrógeno son altas en comparación con la normativa especificados en la tabla N°10.

2.11.1. Cálculo de los sólidos sedimentables no volátiles (SSNV)

Los sólidos suspendidos son la suma de los sólidos suspendidos volátiles más los sólidos suspendidos no volátiles:

$$SS = SSV + SSNV$$

Los sólidos sedimentables no volátiles se los considera como no sedimentables, al analizar el informe de caracterización se obtiene que:

$$SS = 0,720 \frac{mg}{l}$$

$$SSV = 0,06 \frac{mg}{l}$$

$$SSNV = SS - SSV$$

$$SSNV = 0,720 \frac{mg}{l} - 0,06 \frac{mg}{l}$$

$$SSNV = 0,66 \frac{mg}{l}$$

Por lo que en el pre tratamiento (canal de desbaste y desarenador) se podría eliminar un alto porcentaje de solidos presentes en el agua.

2.12. Caudal.

El caudal de las aguas residuales de la comunidad de Tabacay sector Nudpud, está formado por aguas domésticas y pluviales; presenta variación horaria, diaria y mensual; cabe recalcar que no todas las viviendas presentes en el sector cuentan con tuberías interconectadas dirigidas al afluente, La bióloga María Isabel Quintuña, directora del Departamento de Gestión Ambiental EMAPAL EP.; nos dio a conocer que la empresa EMAPAL EP, se encuentra realizando estudios para dotar de tubería a todas las viviendas del sector.

Para el cálculo del caudal necesario para el diseño se realizaron 2 métodos:

- El primero fue por medio de la obtención del caudal de aforo volumétrico.
- El segundo método fue por consumo per cápita obtenido de la bibliografía consultada (INEC, 2012).

En el objetivo propuesto se pretendía utilizar el caudal de abastecimiento para los cálculos, pero como el sector solo cuenta con agua entubada no se logró conseguir estos datos, para lo cual se utilizó el caudal per cápita proporcionado por el INEC.

2.12.1. Cálculo del caudal de aforado.

Para obtener el caudal del afluente se realizaron varios aforos en diferentes horas del día y durante una semana. La fecha de realización fue el lunes 13 de febrero del 2017 hasta el sábado 18 de febrero del 2017.

Tabla 10

Valores de caudales de Nudpud obtenidos luego de los aforos en lt/s.

DÍA	HORA							Promedio diario
		9:00	11:00	13:00	15:00	17:00	19:00	
Lunes 13/02/17	0,27	0,23	0,29	0,25	0,20	0,22	0,30	0,25
Miércoles 15/02/17	0,32	0,24	0,3	0,28	0,21	0,25	0,27	0,27
Viernes 17/02/17	0,23	0,19	0,28	0,29	0,22	0,26	0,28	0,25
Sábado 18/02/17	0,25	0,3	0,2	0,26	0,28	0,31	0,25	0,26
promedio horas	0,27	0,24	0,27	0,27	0,23	0,26	0,28	

Elaboración: Autores (2017).5

Se distingue que en el Ecuador el invierno se presenta en los meses de Diciembre a Mayo mientras que el verano se presenta en los meses de Junio hasta Noviembre. Por lo cual el aforo volumétrico se realizó en la época Invernal.

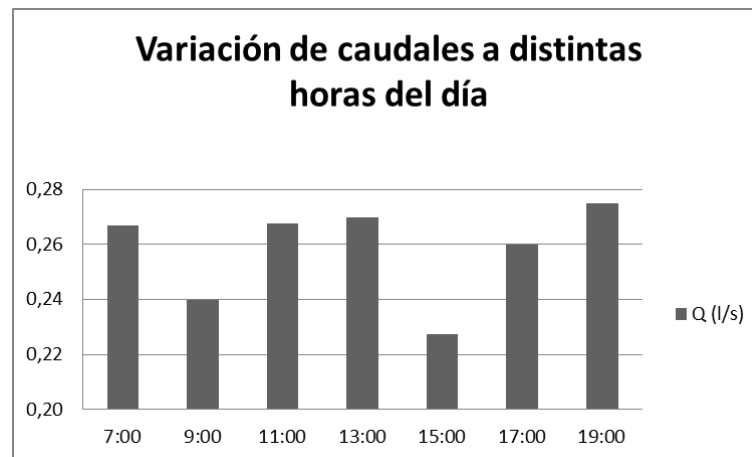


Ilustración 13 variación de caudales a diferentes horas del día. Elaboración: Autores.

En esta tabla también se aprecia la variación de caudales a diferentes horas del día observando que los días lunes y sábado en la tarde existe un mayor caudal debido a que en estas horas la presencia de habitantes en los hogares es mayor.

2.12.2. *Calculo del caudal a partir de del consumo per cápita de la provincia.*

Para obtener el caudal a partir del consumo per cápita, se recurrió a la base de datos del INEC, en el cual se tomó como referencia, el consumo de agua de la provincia del Cañar, el mismo que reporto un valor de $17.16 \text{ m}^3/\text{hogar}/\text{mes}$; este valor se tendría que adaptar al consumo per cápita según el número de personas que tiene un hogar, el INEC, 2010 establece que un hogar está conformado de 4 integrantes.

En el caso de poblaciones pequeñas se considera que entre el 80% y 90% del consumo de agua se convierte en agua residual (García & Corzo, 2008).

Para el dimensionamiento del sistema se seguirá el lineamiento planteado en el libro “Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales de García & Corzo, 2008.

Población de comunidad de Tabacay sector Nudpud= 250 hab.

Índice de crecimiento anual (2001- 2010) = 1,24%

Tasa de crecimiento anual (2001-2010)=0,0124

Dotación de agua per cápita a la provincia del Cañar = 17,16 m³/hog/mes.

Para el cálculo del caudal medio diario es necesario determinar la población futura para la cual se diseña el sistema.

Se calcula la población futura utilizando el método geométrico para la estimación de cálculos de crecimientos poblacionales (Aguilar, 2016).

Cálculo de la población futura para 25 años.

$$P_f = P_i(1 + r)^t$$

Dónde:

P_f= Población futura

P_i= Población inicial

r= Tasa de crecimiento anual

t= tiempo en años

$$P_f = 250 * (1 + 0,0124)^{25}$$

$$P_f = 250 * 1,0124^{25}$$

$$P_f = 250 * 1,0124^{25}$$

$$P_f = 340 \text{ hab}$$

2.12.2.1. Caudal medio diario.

Partiendo de la consideración de que el 85% del agua de consumo se convierte en agua residual obtenemos el caudal medio diario de la comunidad de Tabacay

$$Q_{med.d} = \frac{\beta * P * D}{1000}$$

Dónde:

$Q_{med.d}$ = caudal medio diario en $m^3/\text{día}$

P = número de habitantes.

D = dotación de agua en $lt/\text{hab}/\text{día}$

β = cantidad de agua de consumo per-cápita que se convierte en agua residual.

$$D = \frac{17.16 * 1000}{30 * 4} = 143 \frac{lt * dia}{hab}$$

$$Q_{med.d} = \frac{0.85 * 340 * 143}{1000} = 41,32 \frac{m^3}{d}$$

2.12.2.2. Caudal medio horario.

Para obtener este valor dividimos el caudal medio diario para 24 horas.

$$Q_{med.h} = \frac{Q_{med.d}}{24} = \frac{41,32}{24} = 1,72 \frac{m^3}{h}$$

2.12.2.3. Caudal punta diario.

2.12.2.3.1. Coeficiente punta.

Es la relación entre la media de los caudales máximos, mínimos y el caudal medio.

Los caudales punta varían según el intervalo de tiempo que van a ser referidos.

Para obtener el caudal punta se debe multiplicar el caudal medio diario por el coeficiente punta.

Tabla 11

Valores recomendados de coeficientes punta para pequeñas comunidades

Parámetro	Intervalo	Valor típico
Coeficiente punta diario	1,2 – 2	1,7
Coeficiente punta mensual	1 – 1,5	1,2

Datos obtenidos de Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008). Elaboración: autores.

$$Q_{punta,d} = Q_{med,d} * coef\ punta$$

De la tabla N°11 tomamos el valor de coeficiente punta diario de 1,8.

$$Q_{punta,d} = 41,32 * 1,8$$

$$Q_{punta,d} = 74,37 \frac{m^3}{d}$$

2.12.2.4. Caudal punta horario.

El coeficiente punta horario (C_{ph}). se obtiene de la expresión de Mara (1988) del libro de (Collado Lara, 1992) dependiendo del número de habitantes.

$$C_{ph} = \frac{5}{P^{1/6}}$$

Dónde:

P= Población

$$C_{ph} = \frac{5}{0,340^{1/6}}$$

$$C_{ph} = 6,02$$

$$Q_{punta,h} = Q_{med,h} * C_{ph}$$

Siendo:

$Q_{punta,h}$ = caudal punta horario.

$Q_{med,h}$ = caudal medio horario.

C_{ph} = coeficiente punta horario.

$$Q_{punta,h} = 1,72 * 6,02 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_{punta,h} = 10,35 \frac{m^3}{h}$$

2.12.2.5. Caudal máximo diario.

Para el caudal máximo diario se debe multiplicar al caudal punta diario por 2.

$$Q_{max,d} = Q_{punta,d} * 2$$

Siendo:

$Q_{max,d}$ = caudal máximo diario.

$Q_{\text{punta,d}}$ = caudal punta diario.

$$Q_{\text{max,d}} = 74,37 * 2$$

$$Q_{\text{max,d}} = 148,74 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

2.12.2.6. Caudal máximo instantáneo.

Es utilizado para calcular el aliviadero, el cual es 10 veces el caudal medio y se expresa en m^3/s .

$$Q_{\text{max,i}} = Q_{\text{med.d}} * 10$$

En donde:

$Q_{\text{max,i}}$ = caudal máximo instantáneo.

$Q_{\text{med,d}}$ = caudal medio diario.

$$Q_{\text{max,i}} = 41,32 * 10$$

$$Q_{\text{max,i}} = 413,2 \frac{m^3}{\text{dia}}$$

$$Q_{\text{max,i}} = \frac{413,2}{86400}$$

$$Q_{\text{max,i}} = 0,0047 \frac{m^3}{s}$$

2.12.2.7. Caudal mínimo diario.

Este caudal es el 30% del caudal medio diario

$$Q_{\text{min,d}} = Q_{\text{med.d}} * 0,30$$

Siendo:

$Q_{\text{min,d}}$ = caudal minimo diario.

$Q_{med,d}$ = caudal medio diario.

$$Q_{min,d} = 41,32 * 0,30$$

$$Q_{min,d} = 12,39 \frac{m^3}{d}$$

Para realizar los cálculos de los distintos caudales se toma en cuenta a los datos obtenidos del consumo per cápita, debido que al momento de realizar los aforos se observó caudales pequeños comparados con el consumo de agua de la población, por tal motivo, para trabajar dentro del rango de seguridad se plantea que un 85% del agua consumida se convierte en caudal de vertidos.

2.13. Diseño del pretratamiento y tratamiento primario.

2.13.1. *Pretratamiento.*

2.13.1.1. Aliviadero de entrada.

Esta estructura evita la sobrecarga de caudal en las instalaciones que tratan aguas de redes de alcantarillado unitarias. Normalmente contiene una arqueta de planta rectangular, en la que a cierta altura de agua toda aquella fracción de caudal cuya lámina de agua supere dicha altura es separada y vertida directamente pasando tan solo por una reja en un canal adjunto al canal de desbaste.

El dimensionamiento del aliviadero se basa en que el agua residual excedente está tan diluida que la concentración de los contaminantes será similar a la que tendría si fuese tratada.

El aliviadero se diseña de forma práctica para que empiece a actuar cuando se supera 10 veces el caudal medio horario que llega a la estación depuradora.

El caudal de lluvia se obtuvo a partir de los datos de precipitación registrados en la Tabla N°5 el cual presenta un valor promedio de 1210 mm de lluvia anualmente. El coeficiente de escorrentía es de 0,35 para suelos con vegetación densa y para pendiente media (8% al 20%) tomadas de la tabla presentada en el anexo 10.

2.13.1.1.1. *Calculo del caudal de lluvia.*

La intensidad de precipitación se tomó de la tabla N° 5 en la cual se presenta el dato de 1210mm anuales por lo que al realizar la transformación nos da un valor de $3,8E^{-8}$ m³/s.

Dónde:

Pr= Precipitación

$$Pr = \frac{1 \frac{l}{m^2}}{1 \frac{mm}{m^2}} * 1210 \frac{mm}{m^2} * \frac{1m^3}{1000 l} = 1,21 \frac{m^3}{m^2 * año}$$

$$Transformacion a segundos = 365 d * 24h * 60min * 60s = 31536000 s$$

$$i = 1,21 \frac{m^3}{m^2 * año} * \frac{1año}{31536000 s} = 3,8E^{-8} \frac{m^3}{s m^2}$$

$$Q_{lluv} = CiA$$

Dónde:

Q_{lluv} = Caudal de lluvia

C = coeficiente de escorrentía (adimensional)

i = Intensidad de precipitación

A = área

$$Q_{lluv} = 0,35 * 3,8E - 8 * 7500000$$

$$Q_{lluv} = 0,09 \frac{m^3}{s}$$

Entonces el caudal que debe evacuar el aliviadero es:

$$Q_v = Q_{lluv} - Q_{max,i}$$

Dónde:

Q_v = caudal de vertido que debe evacuar el aliviadero en m^3/s .

Q_{lluv} = caudal de lluvia más agua residual que llega a la instalación, en m^3/s .

$Q_{max,i}$ = caudal máximo instantáneo en m^3/s .

Caudal de lluvia = $0,09 m^3/s$

$$Q_v = 0,09 \frac{m^3}{s} - 0,0047 \frac{m^3}{s}$$

$$Q_v = 0,0853 \frac{m^3}{s}$$

La longitud del vertedero se calcula dividiendo el caudal a aliviar entre el caudal por metro lineal de vertedero.

Para el cálculo del caudal metro lineal se utiliza la formula simplificada de Francis.

$$Q_{m.l.vert} = 1,83 * (1 - (0,2 * H)) * H^{1,5}$$

Dónde:

$Q_{m.l.vert}$ = caudal por metro lineal del vertido en $m^3/m*s$

H = altura de la lámina de agua sobre el vertedero (<25cm) en m.

Para utilizar esta ecuación tenemos que determinar la altura del agua en el canal (P) y la altura de la lámina de agua sobre el vertedero (H).

La altura del agua se debe determinar para el caudal lluvia y para el caudal máximo instantáneo.

$$P_m = \frac{Q}{vel * ancho}$$

En donde:

P_m = altura para caudal máximo.

Q = caudal máximo instantáneo.

Vel = velocidad del agua.

P_{ll} = altura de lluvia.

$$P_m = \frac{0,0047 \frac{m^3}{s}}{0,9 \frac{m}{s} * 0,3 m}$$

$$P_m = 0,017 m$$

$$P_{ll} = \frac{Q_{ll}}{vel * ancho}$$

$$P_{ll} = \frac{0,09 \frac{m^3}{s}}{0,9 \frac{m}{s} * 0,3 m}$$

$$P_{ll} = 0,33 m$$

$$H = P_{ll} - P_m$$

$$H = 0,33 \text{ m} - 0,017 \text{ m}$$

$$H = 0,31 \text{ m}$$

Reemplazando el valor de H en la ecuación:

$$Q_{m.l.vert} = 1,83 * (1 - (0,2 * H)) * H^{1,5}$$

$$Q_{m.l.vert} = 1,83 * (1 - (0,2 * 0,313 \text{ m})) * 0,313 \text{ m}^{1,5}$$

$$Q_{m.l.vert} = 0,30 \frac{\text{m}^3}{\text{s} * \text{m}}$$

La longitud del vertedero obtenemos al dividir el caudal del vertido sobre el caudal metro lineal de vertedero.

$$L = \frac{Q_v}{Q_{m.l.vert}}$$

Siendo:

Q_v = caudal de vertido.

$Q_{m.l.vert}$ = caudal por metro lineal del vertido en $\text{m}^3/\text{m}*\text{s}$.

L = longitud del vertedero.

$$L = \frac{0,085 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,30 \frac{\text{m}^3}{\text{s} * \text{m}}}$$

$$L = 0,28 \text{ m}$$

Consideramos una longitud de vertedero de 0,35 m, brindando un margen de seguridad a la longitud calculada.

2.13.1.2. Canal de desbaste.

La función principal del canal de desbaste es retener los grandes sólidos mediante la utilización de rejas, además se produce el desarenado puesto que este se construye con una sección mayor al colector de llegada para producir una disminución en la velocidad del agua y por ende sedimentar las arenas.

Es el proceso unitario con el que se encuentra primeramente el agua al llegar a la depuradora.

El tipo de enrejado puede ser tanto fino como grueso.

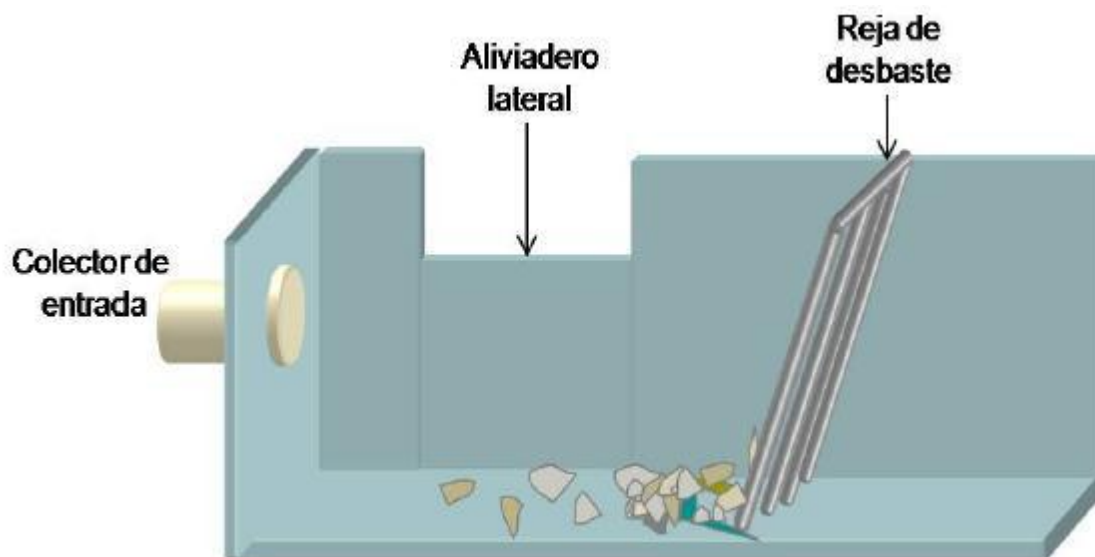


Ilustración 14 Esquema de un canal de desbaste, zona de separación de gruesos, el aliviadero se encuentra en el propio canal. Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).

2.13.1.2.1. *Rejas de desbaste grueso.*

Son aquellas cuya separación entre barras está entre 50 y 100 mm. Los barrotes deben tener un espesor mínimo entre 12 y 25 mm.

La limpieza del sistema de las rejas puede ser de tipo manual o automática; es un aspecto primordial para el diseño de pretratamiento para así evitar futuros problemas de funcionamiento. En este caso la utilización para la limpieza será el sistema manual con el fin de reducir costos

- El operario realizara la limpieza de manera periódica es recomendable 2 veces por semana.

- La inclinación de las rejillas para este sistema debe estar entre 20° y 50° respecto a la horizontal.
- Las rejas no deben ser de gran longitud (su longitud no debe exceder de 3m).
- Se utiliza solo en pequeñas comunidades.

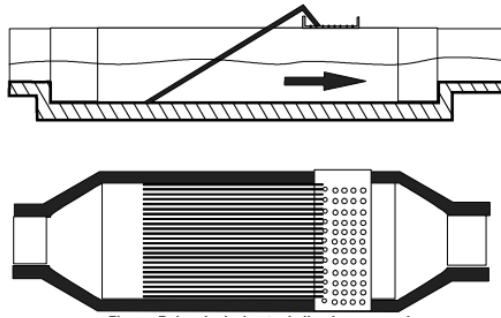


Ilustración 15 Rejas de desbaste de limpieza manual. Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).

2.13.1.2.2. *Rejas de desbaste fino.*

Son aquellas con espacios entre barras de 10 y 25 mm. Los barrotes deben tener un espesor mínimo entre 6 y 12 mm. Su función es proteger los elementos posteriores, eliminar sólidos suspendidos y otros contaminantes asociados tales como DQO, DBO₅, P y NKT (Tejero, Suárez, & Jácome, 2002).

2.13.1.3. Desarenador.

La función principal del desarenador es la de eliminar arenas, pero también en este proceso se eliminan gravas y partículas minerales, elementos de origen orgánico, no putrescibles (granos de café, semillas, huesos, cáscaras de frutas y huevos, etc.).

Este permite separar materias con un grosor superior a 200 μm evitando que estas sedimenten en los canales y conducciones previniendo la saturación y sobrecargas en las fases posteriores del tratamiento.

Se trata de canales de sección rectangular con un resguardo (distancia en los laterales desde la lámina libre del agua para evitar reboses) que oscila entre 0,3 y 0,5 m.

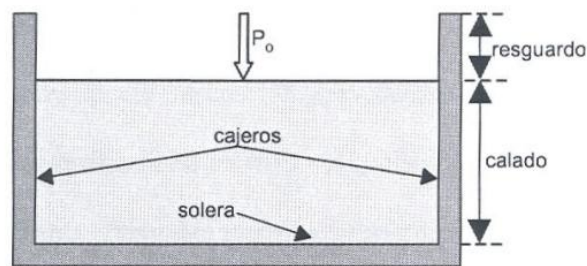


Ilustración 16 Elementos geométricos de un canal fuente: (Ingeniería Rural, 2016)

Si la reja se obtura, las posibles inundaciones se evitan al actuar el aliviadero de entrada; en este caso la mayor parte del agua no pasará mientras no se proceda a la limpieza de la reja. Dependiendo de las necesidades del pretratamiento, después de la de gruesos se puede instalar una reja de finos o alternatively un tamizado pero ya fuera del canal.

El canal se dimensiona con un ancho constante, siendo esta seleccionada del valor mayor entre el necesario para las rejillas y el calculado para el desarenador. En la tabla N° 12 se exponen los valores recomendados para establecer el ancho rejillas.

Tabla 12

Valores recomendados de los parámetros necesarios para el diseño de un canal de desbaste y sus respectivas rejillas.

Características	Reja de Gruesos	Reja de finos
Modo de funcionamiento	manual	Automático
Anchura de los barrotes (mm)	>12	<6
Luz entre barrotes (mm)	50-100	10-25
Pendiente en relación a la vertical (grados)	30-45	30-45
Velocidad de aproximación (m/s)	0,3-0,6	0,3-0,6
Perdida de carga admisible (m)	0,15	0,15

Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008) Elaboración: Autores.

El desbaste debe ser diseñado para la situación más desfavorable. En la zona de la rejilla hay que dar un sobre ancho al canal para mejorar el funcionamiento hidráulico.

La velocidad de paso y la pérdida de carga producida por las rejillas son dos aspectos importantes que deben tenerse en cuenta en el diseño de una instalación de desbaste. La velocidad de paso a través de la rejilla debe ser la adecuada para fijar los sólidos contra las barras sin que se produzca una pérdida de carga demasiado elevada o atascamiento.

Se adoptan velocidades de paso en la sección libre de la rejilla entre 0.6 y 1.0 m/s a caudal máximo (siempre valores mayores de 0.4 m/s para evitar que se depositen arenas) (Tejero et al., 2002).

El valor del ancho del canal se fija entre 0,2 y 2 m dependiendo del colector de entrada. Se define un valor de ancho de canal de 0,3m debido a que el caudal de ingreso proveniente de la comunidad es bajo y con el ancho de canal designado se evita sobredimensionamientos excesivos; y luego se determina el ancho útil de paso.

$$w_u = (A_c - n * A_b) * (1 - \frac{G}{100})$$

Dónde:

W_u = ancho útil de paso en m.

A_c = ancho de canal en m.

n = número de barrotes.

A_b = ancho de barrotes

G = grado de colmatación. (Se utiliza un valor de 30%)

Se aplica esta ecuación tomando en cuenta valores de diseño descritos anteriormente tales como: el ancho del canal de 0,3m y los valores descritos en la tabla N° 12 como:

- Reja con barrotes de 15mm de ancho.
- Luz entre barrotes de 50mm.

$$w_u = (0,30 \text{ m} - 5 * 0,015 \text{ m}) * (1 - \frac{30}{100})$$

$$w_u = 0,15 \text{ m}$$

El calado necesario para un grado de colmatación determinado se obtiene con la siguiente ecuación:

$$h = \frac{Q}{v} * \frac{1}{W_u}$$

Dónde:

h = calado en m.

Q = caudal de paso en m³/s

v = velocidad de aproximación en m/s.

Wu = ancho útil de paso en m.

$$h = \frac{148,74 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \frac{1 \text{ d}}{86400 \text{ s}}}{0,3 \frac{\text{m}}{\text{s}}} * \frac{1}{0,15 \text{ m}}$$

$$h = 0,038 \text{ m}$$

Se considera un resguardo de 0,2m, con lo cual el calado (altura de agua en un canal) es 0,3m, y se toma este valor como la altura en todo el canal.

La longitud necesaria del canal en la zona de las rejillas se determina considerando la velocidad de aproximación del agua y el tiempo hidráulico (5 a 15 s), para nuestro caso

tomamos un tiempo de retención de 5s y la velocidad de paso del agua de 0,3 m/s expresados en la tabla N°12.

$$L = T_h * v$$

Dónde:

L = largo del canal en m.

TH = tiempo de retención en s.

v = velocidad de aproximación del agua en m/s.

La longitud del canal para este sistema es de

$$L = 5s * 0,3 \frac{m}{s}$$

$$L = 1,5 m$$

2.13.1.4. Diseño de desarenador.

Para establecer el cálculo del ancho del desarenador se utilizan los valores presentes en la tabla N°13 los cuales presentan valores necesarios para el dimensionamiento.

Tabla 13

Valores recomendados de los parámetros necesarios para el dimensionamiento de desarenadores.

Parámetro	Valor	
	Intervalo	Valor típico
Flujo horizontal (canal desbastes)		

Carga hidráulica		<70 m ³ /m ² hora (a Q _{max})
Velocidad horizontal del agua	0,2 – 0,4 m/s	0,3 m/s
Tiempo de retención	45 – 90 s	60 s
Longitud	20- 25 veces la altura de la lámina de agua	
Relación Largo – Ancho	1,5 – 3	2
Aireados de flujo helicoidal		
Carga hidráulica		<70 m ³ /m ² hora (a Q _{max})
Velocidad horizontal		<0,15 m/s
Tiempo de retención a caudal punta	2 – 5 min	3
Relación longitud anchura	3:1 a 5:1	4:1
Profundidad	2 a 5m	
Relación anchura- profundidad	1:1 a 5:1	1,5:1
Longitud	7,5 a 20 m	
Anchura	2,5 a 7 m	
Suministro de aire	0,20 – 0,60 m ³ /min	0,5

Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008) Elaboración: Autores.

En primer lugar se determina el largo del canal en la zona de desarenado a partir del tiempo de retención:

$$L = T_H * v_H$$

Siendo:

L = largo del canal correspondiente a la zona de desarenado en m.

T_H = tiempo de retención en s.

V_H = velocidad horizontal del agua en m/s

Para el cálculo utilizamos el valor estipulado de ancho del desbaste que es de 0,3m.

A partir de la relación largo– ancho se determina el largo del canal:

$$W = \frac{L}{\text{relación Largo} - \text{ancho}}$$

Siendo:

W = ancho del canal en m.

L = largo del canal en m.

$$L = W * \text{relación Largo} - \text{ancho}$$

$$L = 0,3 \text{ m} * 2$$

$$L = 0,6 \text{ m}$$

Calculo de la sección transversal del canal:

$$A = \frac{Q_{max}}{V_H}$$

Siendo:

A = sección transversal en m^2 .

Q = caudal máximo en m^3/h

V_H = velocidad horizontal del agua en m/s.

$$A = \frac{148,74 \frac{m^3}{d} * \frac{d}{86400 s}}{0,3 \frac{m}{s}}$$

$$A = 0,0057 m^2$$

Para determinar el calado utilizamos la siguiente ecuación:

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

Siendo:

h= calado

A= sección transversal en m².

W= ancho.

$$h = \frac{0,0057 m^2}{0,3 m}$$

$$h = 0,019 m$$

Se utiliza el valor obtenido de altura del canal de la zona de desarenado si este es mayor que el calado obtenido para la zona de desbaste de gruesos, de lo contrario si el valor de la altura de desarenado es menor se toma el valor del calado de la zona de desbastes como el calado de diseño.

El valor que se utiliza es de h= 0,3m

Verificación de la carga superficial

$$C_s = \frac{Q}{L * W}$$

Siendo:

Cs= la carga superficial, en m³/m²×h.

Q= el caudal en m³/h.

L=el largo del canal, en m.

W= el ancho del canal, en m.

Si la carga superficial es menor a 70 m³/m² *hora (a Qmáx), el dimensionamiento es correcto, caso contrario, se recomienda aumentar la longitud del canal porque a partir de valores mayores a esa carga superficial las partículas no serán removidas.

$$C_s = \frac{148,74 \frac{m^3}{d} * \frac{1d}{24 h}}{0,6m * 0,3m}$$

$$C_s = 34,43 \frac{m^3}{h * m^2}$$

Debido a que el valor de la carga superficial es menor a 70 m³/m²×hora no se requiere hacer ninguna corrección a la longitud.

2.13.2. Tratamiento primario.

Tiene como función principal reducir la materia en suspensión, es un proceso esencial para reducir la colmatación de los sistemas de humedales, generalmente los

procesos más utilizados son los tanques Imhoff o fosas sépticas, en algunos lugares se utilizan reactores anaerobios de flujo ascendente.

Las fosas sépticas son utilizadas en sistemas de saneamiento en el cual el número de habitantes sean menores a 200 hab-eq.; los tanques Imhoff se recomiendan para núcleos entre 200- 500 hab-eq, para poblaciones que sobrepasen estas cantidades se suele utilizar fosas sépticas o tanques Imhoff en paralelo (García & Corzo, 2008); para nuestro caso se va a utilizar el tanque Imhoff porque el núcleo de hab-eq es menor a 500.

2.13.2.1. Tanque Imhoff.

Se le considera como tanque decantador digestor, en este tanque están separadas la zona de decantación y de digestión una encima de la otra como se muestra en la ilustración N°18.

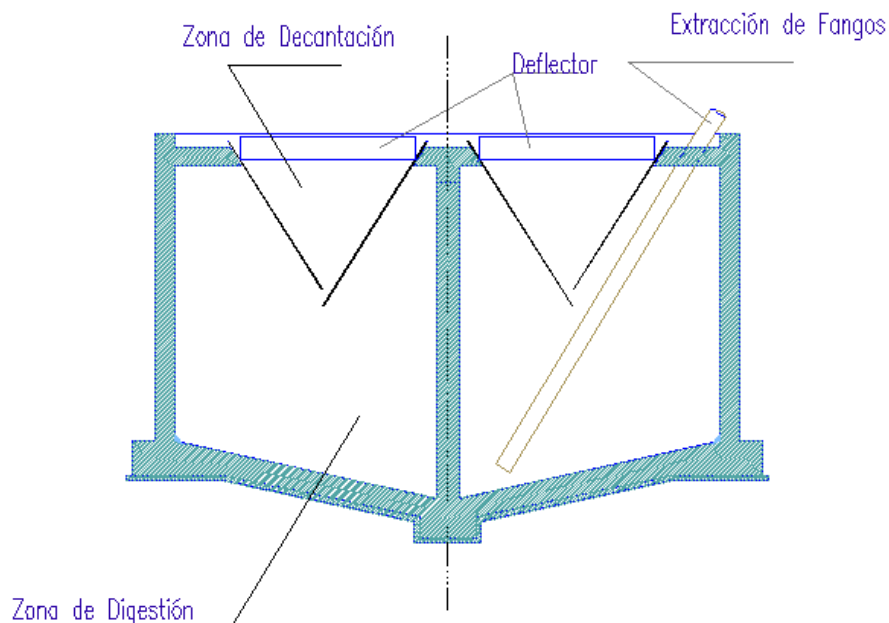


Ilustración 17 Esquema de la sección de un tanque Imhoff. Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales (García & Corzo, 2008).

Los sólidos que sedimentan pasan a la zona de digestión a través de unas ranuras que se encuentran en el fondo del compartimiento superior, en la zona de digestión los sólidos son digeridos a temperatura ambiente, el tiempo de digestión depende del lugar en el que se hallen ubicados, para climas cálidos el periodo de tiempo es de 6 meses y para zonas con climas templados o frías el tiempo de digestión es de un año (Crites, Tchobanoglous, & Mejía, 2000).

En el tanque Imhoff se produce una mejor sedimentación que en las fosas ya que las burbujas de aire no arrastran residuos ni flóculos hacia la superficie, debido a que las burbujas circulan por el exterior de las paredes de la zona de decantación hasta alcanzar la superficie del agua en los laterales o el centro; un indicador de mal

funcionamiento del sistema es la presencia de espumas en la parte superior de la zona de decantación.

La selección de la forma del tanque está influenciada por el número de habitantes,

- Para poblaciones menores a 500 habitantes se utiliza tanques de forma circular, rectangular o cuadrada el contenga solo un punto de recogida;
- Para poblaciones mayores a 500 habitantes se utilizan tanques rectangulares con 2 o más puntos de recogidas dependiendo del tamaño de la población.

Para la comunidad de Tabacay se va a utilizar un tanque Imhoff rectangular con un solo punto de recogida de fangos por el número de población que existe en la zona.

Los parámetros necesarios para el dimensionamiento se presentan en la tabla N° 14.

Tabla 14
Valores recomendados de los parámetros de dimensionamiento de un tanque

Parámetro	Unidades	Rango	Valor usual
Zona de decantación			
Carga hidráulica superficial punta diaria	$m^3/m^2 \cdot d$	24 – 40	32
Tiempo de retención a Q_{med}	H	2 – 4	3
Tiempo de retención a Q_{punta} horario	H		1
Velocidad horizontal punta horaria	m/min		<0,3
Relación longitud/ancho		2/1 – 5/1	3/1
Pendiente de la cámara de decantación		1,25:1 – 1,75:1	1,5:1
Obertura inferior	M	0,15 – 0,3	0,25
Pestaña inferior	M	0,15-0,3	0,25
Deflector debajo de la superficie	M	0,25- 0,4	0,3
Deflector encima de la superficie	M	0,3	0,3
Resguardo	m	0,45-0,6	0,6
Zona de escape de gases			
Área (% de la superficie total)	%	15-30	20
Anchura ^(a)	M	0,45-0,75	60
Zona de digestión			
Tiempo de digestión	Años	0,5-1,5	1
Tasa de emisión unitaria de lodos	L/hab*año	100-200	140
Tubería de extracción de lodos	M	0,2-0,3	0,25
Distancia libre hasta el nivel de lodo	M	0,3-0,9	0,6
Profundidad total del agua en el tanque (desde la superficie hasta el fondo)	M	7-9	9

Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales,(García & Corzo, 2008) Elaboración: Autores.



2.13.2.1.1. *Diseño del tanque Imhoff.*

Para realizar el diseño del tanque Imhoff se debe tomar por separado la zona de decantación y la zona de digestión así como la eliminación de materia orgánica del 50%.

Superficie del tanque

La superficie del tanque viene dado por la zona de decantación.

$$S = \frac{Q_{punta.d}}{L_{Hpunta.d}}$$

Siendo:

S= la superficie de la zona de decantación, en m²,

Q_{punta, d}= el caudal punta diario, en m³/h,

L_{Hpunta,d}= la carga hidráulica superficial punta diaria, en m³/m²×h.

Para el cálculo tomamos un valor de carga hidráulica de 24 debido a que el caudal punta diario de la comunidad es bajo por lo tanto se tomó el valor más bajo de la *tabla* N°14 en lo que corresponde a carga hidráulica superficial.

$$S = \frac{74,37 \frac{m^3}{d}}{24 \frac{m^3}{d * m^2}}$$

$$S = 3,098m^2$$

Tomando una relación longitud /ancho de 2/1 y con el dato obtenido anteriormente, calculamos la dimensiones de la superficie de decantación, longitud (L) y ancho (W).

Longitud (L)= 3,02 = 3

Ancho (W)= 1,02 = 1,5

Para determinar la profundidad de la zona de decantación se basa en la geometría de un prisma de longitud igual a la calculada, una altura del deflector establecida, y una base de forma triangular, como se observa en la ilustración N°19.

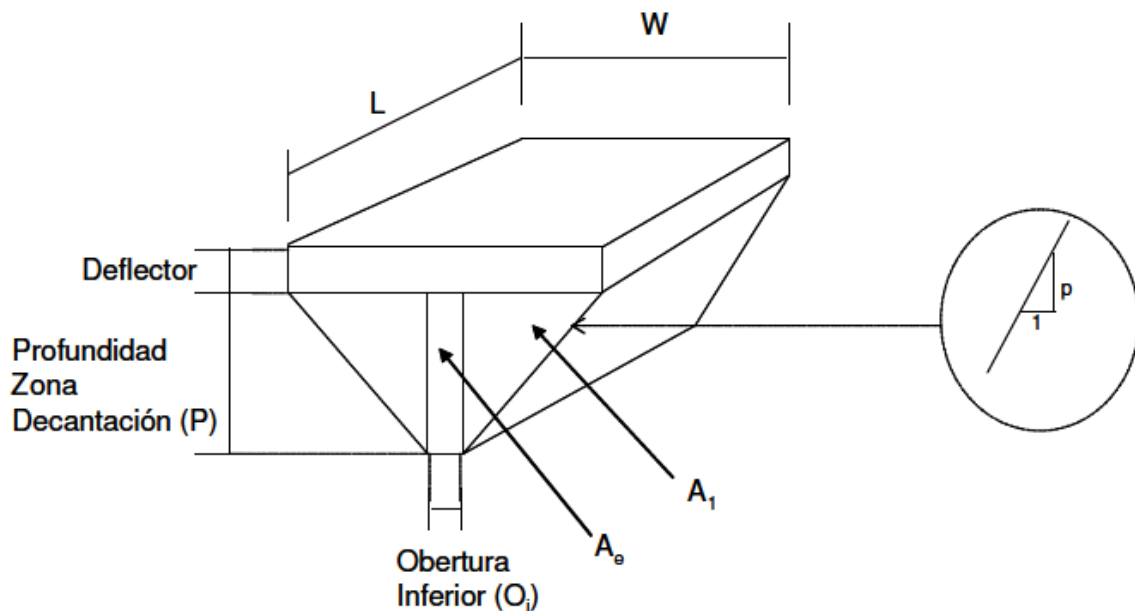


Ilustración 18 Esquema de la zona de decantación de un tanque Imhoff Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales (García & Corzo, 2008).

Establecida una altura del deflector debajo de la superficie de 0,3m, la pendiente de las paredes de 1,7:1 y una obertura inferior de 0,20m, tomadas de la tabla N°16 procedemos a calcular las superficies A_1 y A_e y la profundidad.

$$P = \frac{(W - O_i)}{2} * p$$

$$A_1 = \frac{(W - O_i)}{2} * \frac{p}{2}$$

$$A_e = O_i * p$$

$$A_t = (2 * A_1) + A_e$$

Donde,

P = la profundidad de la zona de decantación, en m.

O_i = la longitud de la obertura inferior, en m.

p = la pendiente de la zona de decantación, en m/m.

A_1 = Superficie del triángulo en m^2 .

A_e = Superficie del rectángulo en m^2 .

A_t = Superficie total, en m^2 .

$$P = \frac{(1,5m - 0,20m)}{2} * \frac{1,7}{1}$$

$$P = 1,1058m$$

$$A_1 = \frac{(1,5m - 0,20m)}{2} * \frac{1,10m}{2}$$

$$A_1 = 0,35 m^2$$

$$A_e = O_1 * p$$

$$A_e = 0,2m * 1,10m$$

$$A_e = 0,22 m^2$$

$$A_t = (2 * A_1) + A_e$$

$$A_t = (2 * 0,35 m^2) + 0,22 m^2$$

$$A_t = 0,92 m^2$$

Ahora con la siguiente formula procedemos a calcular el volumen de decantación el cual es el volumen del prisma.

$$V_{dec} = (h_{deflector} * S) + (A_t * L)$$

En donde:

V_{dec} = volumen de la zona de decantación en m^3 .

$h_{deflector}$ = altura de la zona sumergida del deflector en m.

S= superficie del decantador.

A_t = Superficie total, en m.

L= longitud.

$$V_{dec} = (0,3m * 3m * 1,5m) + (0,92m^2 * 3m)$$

$$V_{dec} = 4,11m^3$$

Finalmente se realizan las comprobaciones correspondientes.

$$V_{punta\ h} = \frac{Q_{punta\ h}}{A_t * 60} < 0,3$$

$$2 < T_H = \frac{V_{dec} * 24}{Q} < 4$$

En donde:

$V_{punta\ h}$ = La velocidad horizontal punta horaria, en m/min.

$Q_{punta\ h}$ = Caudal punta horario, en m³/h.

T_H = Tiempo de retención medio, en h.

Q = Caudal medio, en m³/día.

A_t = Superficie total, en m².

$$V_{punta\ h} = \frac{10,35 \frac{m^3}{h} * \frac{1h}{60min}}{0,92m^2} < 0,3$$

$$V_{punta\ h} = 0,18 \frac{m}{min} < 0,3$$

Cumple puesto que es menor a 0,3 m/min.

Donde:

V_{dec} = volumen del decantador

$$2 < T_H = \frac{V_{dec} * 24}{Q} < 4$$

$$2 < T_H = \frac{4,11m^3}{41,32 \frac{m^3}{d} * \frac{1d}{24h}} < 4$$

$$2 < T_H = 2,38h < 4$$

Cumple debido a que está en el rango entre 2h y 4h.

La superficie total de la zona de digestión corresponde exactamente con la superficie total del tanque, llegando a ser esta última igual a la suma de la superficie de la zona de escape de los gases más la zona de decantación.

$$S_t = (1 + \%S_{gas}) * S_{dec}$$

Donde,

S_t = Superficie total del tanque, en m^2 .

$\% S_{gas}$ = Porcentaje de la superficie de la zona de escape de gases respecto la superficie total, en tanto por uno.

S_{dec} = Superficie de la zona de decantación, en m^2 .

Teniendo en cuenta una zona de escape de gases del 30% tenemos:

$$S_t = (1 + 0,3) * (1,5m * 3m)$$

$$S_t = 5,85m^2$$

El ancho total es igual a la suma del ancho de la zona de decantación más el ancho de la zona de escape.

$$W_t = W_{dec} + W_{gas}$$

Dónde:

W_t = ancho total del tanque en m.

W_{dec} = ancho de la zona de decantación en m.

W_{gas} = ancho de la zona de escape de gases, en m.

Considerando un ancho de zona de escape de gases de 0,5m tenemos:

$$W_t = 1,5m + 0,5m$$

$$W_t = 2m$$

La longitud total es:

$$L_t = \frac{S_t}{W_t}$$

Siendo:

L_t = Longitud total del tanque, en m.

S_t = Superficie total del tanque.

W_t = Ancho total del tanque, en m.

$$L_t = \frac{5,85m^2}{2m}$$

$$L_t = 2,92 m = 3m$$

El volumen necesario para almacenar los lodos se calcula considerando una velocidad de emisión de 100 L/hab*año, y un tiempo de digestión de 1 año.

$$V_{\text{lodos}} = \frac{VEU * T_d * N}{1000}$$

En donde:

V_{lodos} = Volumen ocupado por los lodos, en m^3 .

VEU = Velocidad de emisión unitaria de lodos, en L/hab*año.

T_d =Tiempo de digestión, en años.

N = Número de habitantes.

$$V_{lodos} = 100 \frac{l}{hab * año} * 1 año * 340 hab * \frac{1m^3}{1000l}$$

$$V_{lodo} = 34 m^3$$

Como se estableció anteriormente que el número de puntos va a ser igual a 1 y considerando una inclinación de las paredes entre 30°, calculo la altura del fondo de forma piramidal como se puede ver en la Ilustración 20.

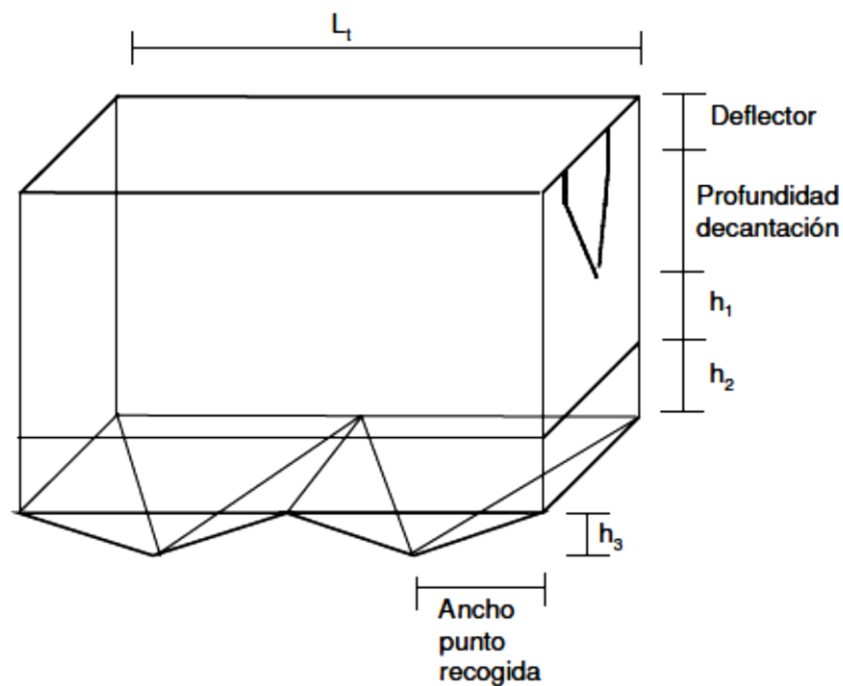


Ilustración 19 Esquema de un tanque Imhoff rectangular, con un punto de recogida de lodos, no se representa el resguardo Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales (García & Corzo, 2008).

La ecuación necesaria para calcular la altura del fondo es:

$$h_3 = \left(\frac{\frac{L_t}{n}}{2} \right) * tg\alpha$$

Siendo,

h_3 = la altura del fondo (en la zona piramidal), en m.

n = el número de puntos de recogida de lodos.

α = la inclinación de las paredes del fondo.

L_t = Longitud total del tanque, en m.

$$h_3 = \left(\frac{L_t}{2} \right) * tg\alpha$$

$$h_3 = \left(\frac{3m}{2} \right) * tg30^\circ$$

$$h_3 = 0,86m$$

La profundidad de la zona de digestión se determina considerando el volumen necesario para almacenar lodos.

$$V_{lodos} = (h_2 * L_t * W_t) + \left(\frac{1}{3} * L_t * W_t * h_3 \right)$$

En donde:

V_{lodos} = volumen necesario para almacenar los lodos en m³.

h_2 = altura ocupada por los lodos (sin tomar en cuenta la altura del fondo) en m.

h_3 = la altura del fondo (en la zona piramidal), en m.

L_t = Longitud total del tanque, en m.

W_t = Ancho total del tanque, en m.

$$h_2 = \frac{V_{lodos} - \left(\frac{1}{3} * L_t * W_t * h_3 \right)}{(L_t * W_t)}$$

$$h_2 = \frac{34m^3 - (\frac{1}{3} * 3m * 2m * 0,86m)}{(3m * 2m)}$$

$$h_2 = 5,4m$$

Tomando los valores recomendados para la distancia entre la obertura inferior de la zona de decantación y la superficie del lodo acumulado, y el resguardo, se puede determinar la profundidad total y el volumen del tanque:

$$h_t = h_{resguardo} + h_{deflector} + P + h_1 + h_2 + h_3$$

$$V = V_{resguardo} + V_{dec} + V_{lodos} + (h_1 * L_t * W_t)$$

Siendo:

h_t = profundidad total en m.

$h_{resguardo}$ = profundidad de la zona de resguardo en m.

h_1 = distancia entre la obertura inferior y la superficie del lodo acumulado.

V = volumen total del tanque en m^3 .

$V_{resguardo}$ = volumen correspondiente al resguardo en m^3

h_2 = altura ocupada por los lodos (sin tomar en cuenta la altura del fondo) en m.

h_3 = la altura del fondo (en la zona piramidal), en m.

P = profundidad de la zona de decantación en m.

Considerando:

Resguardo = 0,5m.

Distancia entre la obertura inferior y la superficie del lodo acumulado = 0,5m.

Altura total del deflector = 0,5m.



$$h_t = 0,5m + 0,5m + 1,10m + 0,5m + 5,4m + 0,8m$$

$$h_t = 8,8m$$

$$V = V_{resguardo} + V_{dec} + V_{lodos} + (h_1 * L_t * W_t)$$

$$V = (0,5m * 5,85m^2) + (0,3m * 3m * 1,5m) + 4,11m^3 + 34m^3 + (0,5m * 3m * 2m)$$

$$V = 45,385m^3$$

2.14. Resumen de cálculos de tratamientos Previos.

Tabla 15
Resumen de los cálculos de tratamientos previos

SISTEMA NUDPUD			
Población	Pf	340	hab
Dotación de agua	D	143	Lt*d/hab
Caracterización de caudales			
Caudal medio diario	$Q_{med.d}$	41,32	m ³ /d
Caudal medio horario	$Q_{med.h}$	1,72	m ³ /h
Coeficiente punta	C_{ph}	6,02	
Caudal punta diario	$Q_{punta.d}$	74,37	m ³ /d
Caudal punta horario	$Q_{punta.h}$	10,35	m ³ /h
Caudal máximo diario	$Q_{max.d}$	148,74	m ³ /d
Caudal máximo instantáneo	$Q_{max.i}$	0,0047	m ³ /s
Caudal mínimo diario	$Q_{min.d}$	12,39	m ³ /d
Aliviadero			
Caudal de lluvia	Q_{lluv}	0,09	m ³ /s
Caudal de vertido	Q_v	0,0853	m ³ /s
Velocidad del agua	V_{h2o}	0,9	m/s
Ancho del canal		0,3	m
Altura (P) para caudal máx.	P_m	0,017	m

Continuación.....

Resumen de los cálculos de tratamientos previos

Altura (P) para lluvia	P_{II}	0,33	m
Altura de la lámina de agua	H	0,31	m
Altura (P) para lluvia	P_{II}	0,33	m
Altura de la lámina de agua	H	0,31	m
Caudal metro lineal para el valor de H	$Q_{m.l.vert}$	0,30	m ³ /sm
Longitud del vertedero	L	0,35	m
Canal de desbaste			
Ancho de barrotes	W_{barr}	15	mm
Luz entre barrotes		50	mm
Colmatación		30	%
Número de barrotes		5	
Ancho útil de paso	W_u	0,15	m
Velocidad de paso	V_{paso}	0,3	m/s
Calado	h	0,3	m
Tiempo de retención	t	5	s
Longitud del canal	L	1,5	m
Desarenador			
Tiempo de retención	t	60	s
Ancho	W	0,3	m
Largo del canal	L	0,6	m
Altura (P) para lluvia	P_{II}	0,33	m

Continuación.....

Resumen de los cálculos de tratamientos previos

Altura de la lámina de agua	H	0,31	m
Altura (P) para lluvia	P_{ll}	0,33	m
Altura de la lámina de agua	H	0,31	m
Caudal metro lineal para el valor de H	$Q_{m.l.vert}$	0,30	m ³ /sm
Longitud del vertedero	L	0,35	m
Canal de desbaste			
Ancho de barrotes	W_{barr}	15	mm
Luz entre barrotes		50	mm
Colmatación		30	%
Número de barrotes		5	
Ancho útil de paso	W_u	0,15	m
Velocidad de paso	V_{paso}	0,3	m/s
Calado	h	0,3	m
Tiempo de retención	t	5	s
Longitud del canal	L	1,5	m
Desarenador			
Tiempo de retención	t	60	s
Ancho	W	0,3	m
Largo del canal	L	0,6	m
Relación largo: ancho		2:1	
Sección transversal	A	0,0057	m ²

Continuación.....



Resumen de los cálculos de tratamientos previos

Calado	h	0,3	m
Carga superficial	C _s	34,43	m ³ /hm ²
Tratamiento primario			
Tanque Imhoff			
Carga hidráulica		24	m ³ /m ² d
Superficie zona decantación	S	3,098	m ²
Relación longitud ancho		2:1	
Longitud	L	3	m
Ancho	W	1,5	m
Obertura inferior	O _i	0,2	m
Pendiente de paredes		1,7	°
Profundidad de decantación	P	1,10	m
	A ₁	0,35	m ²
	A _e	0,22	m ²
	A _t	0,92	m ²
Volumen de decantación	V _{dec}	4,11	m ³
Velocidad horizontal punta horario	V _{punta,h}	0,18	m/min
Tiempo de retención medio	T _H	2,38	h
Superficie zona decantación	S	3,098	m ²

Continuación.....

Resumen de los cálculos de tratamientos previos

Zona de escape de gases		30	%
Superficie total del tanque	S_t	5,85	m^2
Ancho zona de escape de gases	W_{gas}	0,5	m
Ancho total del tanque	W_t	2	m
Longitud total	L_t	3	m
Velocidad de emisión	VEU	100	l/hab*año
Tiempo de digestión		1	Año
Volumen de lodos	V_{lodos}	34	m^3
Inclinación de paredes		30	°
Altura de fondo	h_3	0,8	m
Altura ocupada por los lodos	h_2	5,4	m
Resguardo		0,5	m
Altura deflector		0,5	m
Distancia entre la obertura inferior y la superficie del lodo acumulado.	h_1	0,5	m
Profundidad total	h_t	8,8	m
Volumen total del tanque	V	45,385	m^3

Elaboración: Autores (2017).

2.15. Diseño de humedales.

2.15.1. Introducción.

En la actualidad el tratamiento de aguas residuales es indispensable para garantizar la sostenibilidad del medio ambiente y por ende garantizar un suministro adecuado de agua a la población; como alternativa a las costosas técnicas de tratamiento de agua se han desarrollado mecanismos de depuración ecológicos, denominados sistemas de tratamiento naturales.

Los proyectos de humedales artificiales juegan un papel importante en la naturaleza ya que con determinadas plantas y microorganismos que habitan en ellos se presenta una acción biológica produciendo una eficiente simbiosis, garantizando la eliminación de materia orgánica, trazas de metales pesados, agentes patógenos y las cantidades excesivas de nutrientes esenciales.

Esta eliminación se da gracias a que en estos sistemas también existen procesos físicos y químicos tales como la filtración, sedimentación, absorción y la foto-oxidación; que contribuyen en conjunto a la acción depuradora (Mena, 2002).

2.16. Diseño del humedal de flujo vertical.

Los sistemas de flujo vertical aparecieron para mejorar la eficiencia de los de flujo horizontal y sobre todo potencializan la nitrificación. Estos humedales se diseñan con flujo intermitente, es decir tienen fases de llenado, reacción y vaciado lo cual les confiere propiedades muy diferentes a los sistemas horizontales.

La intermitencia en la alimentación mejora la transferencia de oxígeno por lo tanto el medio granular se encuentra con una mejor oxigenación lo cual no sucede con los sistemas horizontales, esto ayuda a que los sistemas verticales puedan operar con cargas entre 20 a 40 gDBO/m²*d lo cual es mayor carga que lo que soportan los sistemas horizontales. Los sistemas verticales ocupan menos espacio y tratan la misma cantidad de caudal que trata un horizontal. Los sistemas híbridos son la combinación del sistema vertical con los horizontales.

Las desventajas que presentan los sistemas verticales es la colmatación debido a que trabajan con una mayor carga además, estos sistemas suelen tener pérdidas de carga por lo que frecuentemente requieren de bombeos.

Los sistemas verticales, constan de dos o más etapas en serie, las configuraciones usuales constan de dos sistemas verticales seguidos o de un sistema vertical con un sistema horizontal (sistemas híbridos); hay que tener en cuenta que con esta combinación se pueden eliminar más del 90% de materia en suspensión, de la DBO y del nitrógeno.

2.16.1. *Dimensionamiento y configuración.*

El dimensionamiento se lo realiza aplicando reglas prácticas las cuales están basadas en superficies unitarias. Una norma utilizada por el ministerio de agricultura y pesca, alimentación y medio ambiente indica que se pueden dimensionar sistemas utilizando **2,5 m²/hab*eq (valor dato)**. Es recomendable utilizar para pequeñas comunidades **1hab*eq. = 60gDBO/hab*d** (CEE, 1998).

En cada una de las etapas para facilitar su rotación se requiere de celdas con la misma superficie y logrando así alternar fases de llenado, reacción y vaciado; esto se logra conseguir dividiendo cada una de las etapas para un número par de celdas.

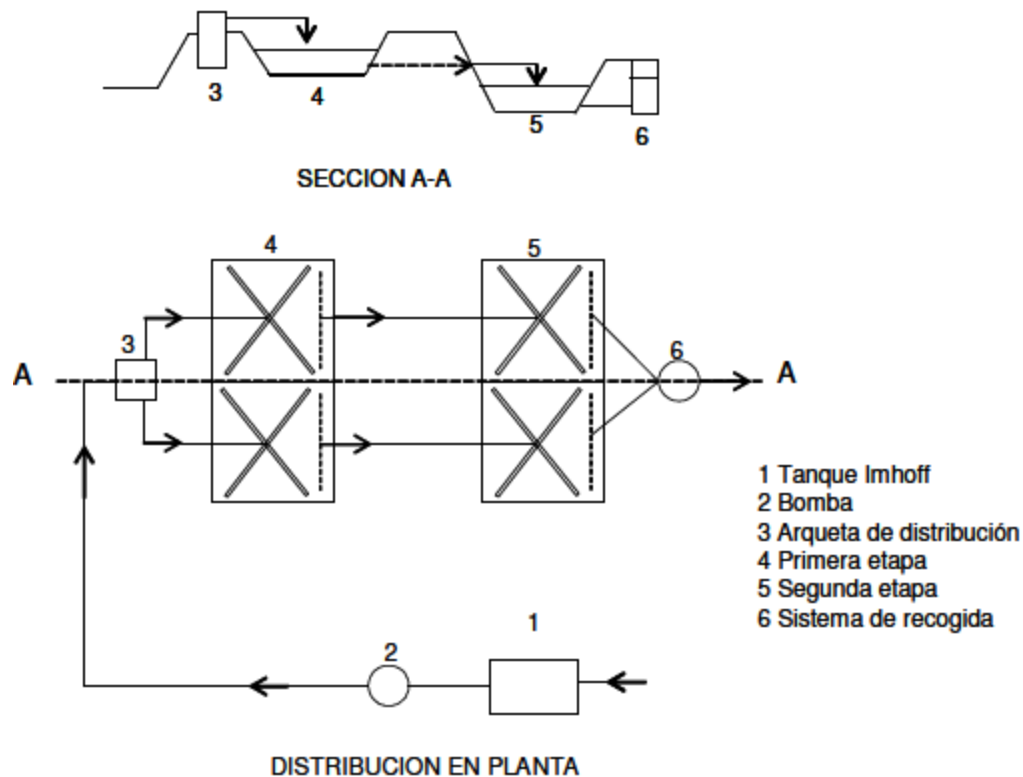


Ilustración 20 Línea de proceso de un humedal de flujo subsuperficial vertical Fuente: Adaptado por O'Hgain. Tomado de: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).

La forma de la parcela disponible determina el tipo de celda ya sea esta cuadrada o rectangular.

Para el dimensionamiento de los humedales se tomara los valores de concentración débil presentados en el libro "Ingeniería de aguas residuales, (Metcalf & Eddy, 1995)"

(revisar anexo 3) debido a que los valores expuestos en el análisis de agua residual en ciertos parámetros presentaron valores menores a los de la normativa. Se distingue la presencia de coliformes, nitritos y nitratos superiores a los de la normativa en los análisis de agua residual mientras que en los análisis realizados por EMAPAL EP., en agua cruda el valor de coliformes supera los límites establecidos en el criterio de calidad admisible para la preservación de flora y fauna en agua dulce (revisar anexo 9).

Calculo de la carga DBO_5

$$carga\ DBO_5 = Q * DBO_5$$

Q= caudal medio diario.

1 habitante equivalente= 60g DBO_5 por habitante día.

Los datos presentados a continuación son obtenidos de la tabla N°19.

DBO_5 = 110 mg/l

DQO= 250 mg/l

NKT= 20 mg/l

Para obtener el número de habitantes equivalentes de la comunidad:

En el tanque Imhoff se eliminó el 50% de la materia orgánica por tal motivo tenemos:

DBO_5 = 55 mg/l



$$carga\ DBO_5 = 41,32 \frac{m^3}{d} * \frac{1000l}{1m^3} * 55 \frac{mg}{l} * \frac{g}{1000mg}$$

$$carga\ DBO_5 = 2272,6 \frac{g}{d}$$

$$habitantes\ equivalentes = \frac{carga\ DBO_5}{habitante\ equivalente}$$

$$habitantes\ equivalentes = \frac{2272,6 \frac{g}{d}}{60 \frac{g\ DBO_5}{hab * d}}$$

$$habitantes\ equivalentes = 38\ hab$$

$$V = habitantes\ equivalentes * valor\ dato$$

V=volumen del humedal vertical.

$$V = 38\ hab * 2,5 \frac{m^3}{hab\ eq}$$

$$V = 95\ m^3$$

$$S = \frac{V}{profundidad}$$

Siendo:

S= superficie del humedal vertical.

V=volumen del humedal vertical.

$$S = \frac{95m^3}{0,4\ m}$$

$$S = 237,5\ m^2$$

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

En donde:

TRH= tiempo de retención hidráulico.

V=volumen del humedal vertical.

Q=caudal medio diario.

$$TRH = \frac{95m^3}{41,32 \frac{m^3}{d}}$$

$$THR = 2,29 d$$

Dividimos el valor del volumen en tres tanques por lo tanto obtenemos el valor de cada tanque de:

Siendo:

V=volumen total

Vi=volumen individual

$$Vi = \frac{V}{3}$$

$$Vi = \frac{95m^3}{3}$$

$$Vi = 31,66m^3$$

El funcionamiento se llevara a cabo mediante etapas, el tanque uno se llena, el tanque dos permanece en reposo y el tanque tres realiza la dotación al humedal horizontal, luego rotan el tanque uno pasa al reposo el tanque dos dota al humedal y el

tanque tres empieza el llenado. Y así sucesivamente para cumplir con el caudal requerido en el sistema de humedales horizontales que se diseñara posteriormente.

2.16.2. *Sistemas de entrada y salida.*

Los humedales verticales necesitan de una arqueta de distribución, el cual permita realizar la rotación de las celdas mediante válvulas que pueden ser automáticas o manuales. La dosificación del agua se lo hace en 4 a 6 pulsos diarios.

En los sistemas que funcionan con gravedad, los pulsos se los realiza con la ayuda de sifones los cuales pueden estar instalados en la misma arqueta de distribución, para que el sifón funcione correctamente debe existir una diferencia de cota suficiente entre la salida de la arqueta y la superficie de los humedales.

El sistema de vertido está conformado por redes de tuberías perforadas con una disposición lineal o radial, el cual tiene como objetivo distribuir el agua de manera uniforme por toda la superficie de la celda. Las tuberías se encuentran asentadas sobre el medio granular; en climas fríos se debe enterrar en el medio granular entre 0,05 y 0,1 m por debajo de la superficie para prevenir la congelación.

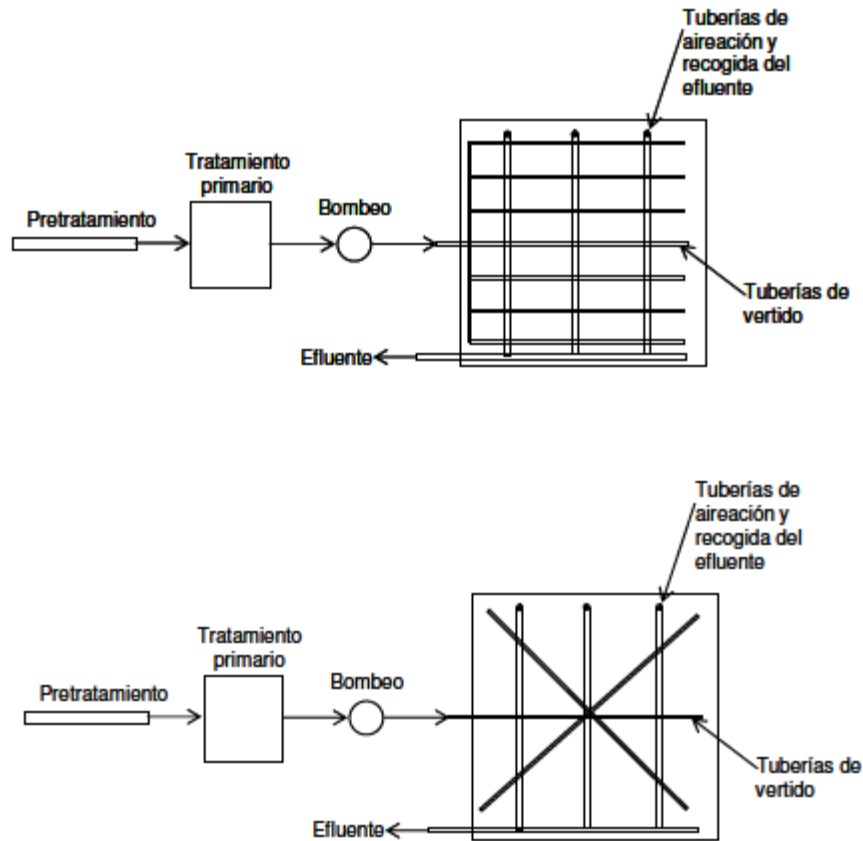


Ilustración 21 Esquema en una planta de humedales verticales con sistema de vertido lineal y radial.

Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).

El sistema de recogida consiste de una red de tuberías perforadas las cuales se ubican en el fondo de cada una de las celdas, estas tuberías son cubiertas con una capa de grava gruesa de 2 a 20 cm el cual evita que el medio granular ingrese en las tuberías.

2.16.3. Medio granular.

La profundidad del medio granular oscila entre 0,2 a 0,8 metros y el resguardo suele ser de 0,5 m, se puede usar una distribución de medio granular como se presenta en la Ilustración N° 23.

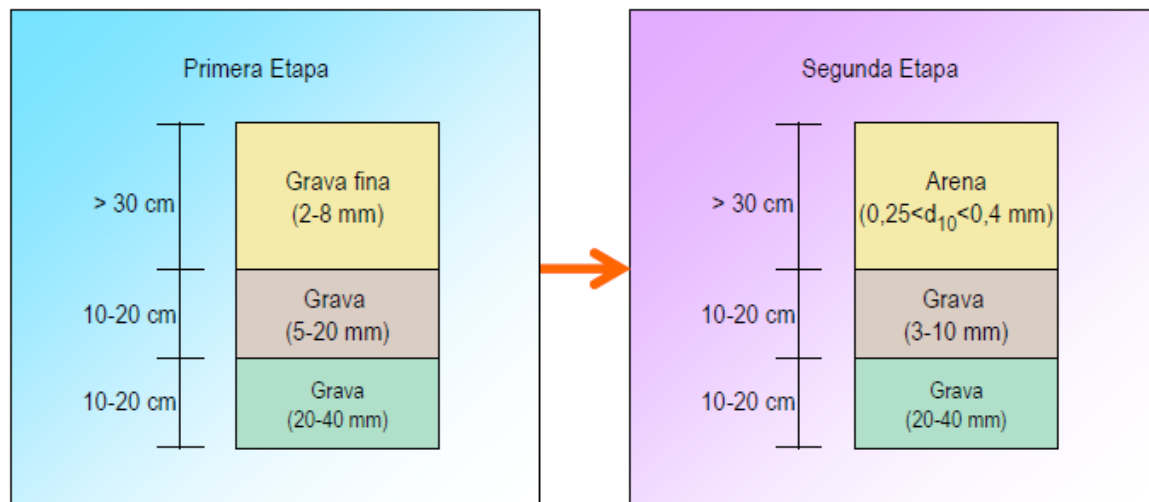


Ilustración 22 Distribución en profundidad de las capas de medio granular en un sistema Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).

En el medio granular se suele insertar tuberías verticales de aireación las cuales ayudan a mantener aireadas las capas más profundas del medio. De esta manera se mejora los procesos de degradación aeróbica y favorece la nitrificación, es recomendable instalar una tubería por cada 4m² de humedal.

2.16.4. *Sistemas híbridos.*

Son humedales verticales en serie seguidos por humedales horizontales, en los sistemas verticales se consigue la eliminación de la DBO y la nitrificación mientras que en los sistemas horizontales se consigue desnitrificar.

Los sistemas híbridos se pueden dimensionar considerando una superficie unitaria de $2,5 \text{ m}^2/\text{hab} \cdot \text{eq.}$, del cual $2 \text{ m}^2/\text{hab} \cdot \text{eq}$ son necesarios para el sistema vertical y $0,5 \text{ m}^2/\text{hab} \cdot \text{eq}$ para el sistema horizontal.

2.17. **Tabla de datos obtenidos.**

Los datos obtenidos para la construcción de humedales verticales son:

Tabla 16
Valores necesarios para la construcción del humedal vertical

DISEÑO DE HUMEDAL ARTIFICIAL SUBSUPERFICIAL VERTICAL NUDPUD		
DBO ₅	55	mg/l
Carga DBO ₅	2272,6	g/d
1 habitante equivalente	60	gDBO ₅ /hab*d
Habitante equivalente	38	Hab
Construcción	2,5	m ³ /hab eq
Volumen	95	m ³
Profundidad	0,4	m
Superficie	237,5	m ²

THR	2,29	D
Número de unidades	3	
Volumen individual (Vi)	31,66	m ³

Elaboración: Autores (2017).

La calidad de agua que se espera obtener se basa en la reducción del 50 % de la DBO, DQO y SS tomados de los datos de valores débiles que se presentan en la tabla de Metcalf & Eddy (1995), (ver anexo 3); por tal motivo los valores a la salida son:

DBO5= 55 mg/l

DQO= 125 mg/l

SS= 50 mg/l

2.18. Diseño del humedal de flujo horizontal.

2.18.1. *Dimensionamiento.*

El dimensionamiento se lo realiza en dos etapas, en la primera se determina la superficie necesaria de tratamiento y en la segunda se establecen dimensionamientos geométricos.

2.18.1.1. Dimensionamiento biológico.

Los humedales se comportan como reactores de flujo ideal en pistón, en los cuales los compuestos se degradan, llegando a ser modelos cinéticos de primer orden y gracias a esta particularidad de los humedales se obtiene las ecuaciones necesarias.

Balance de masa para un contaminante:

$$\frac{d_c}{d_t} = -k_v * C \quad (1)$$

En donde:

C= concentración del contaminante en mg/l

K_v = constante de cinética de primer orden en días⁻¹

El signo negativo en la ecuación indica que la concentración del contaminante disminuye a lo largo del tiempo.

Realizando la integración de la expresión para un C_0 ; $t=0$ y C_1 ; $t=t$.

$$\frac{C_1}{C_0} = \exp(-k_v * t) \quad (2)$$

El tiempo de retención hidráulico es:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{\epsilon * S * h}{Q} \quad (3)$$

Siendo:

V = volumen del humedal en m³

Q = caudal medio en m³/d.

ϵ = porosidad en tanto por uno.

S = superficie del humedal en m².

h = profundidad media del humedal en m.

Sustituimos t en la ecuación (2) y obtenemos una nueva constante cinética.

$$K_A = K_v * \epsilon * h \quad (4)$$

$$\frac{C_1}{C_0} = \exp\left(-k_A * \frac{S}{Q}\right) \quad (5)$$

Despejando S tenemos:

$$S = \frac{Q}{K_A} \ln\left(\frac{C_0}{C_1}\right) \quad (6)$$

Dónde:

S= superficie necesaria del humedal horizontal.

K_A =constante de acidez.

C_0 =caracterización del DBO al 70%

C_1 = Valor del Nitrógeno Kjeldahl.

Q= caudal medio diario.

Los valores de Q y C_0 se determinan a partir de los estudios de caracterización del afluente y el valor de C_1 se define a partir de los límites de vertido o los objetivos de calidad establecidos en la normativa ambiental ecuatoriana.

El valor de la constante de acidez K_A para eliminar DBO es de 0,08 m/d, también se elimina la materia en suspensión, con este dimensionamiento se va a reducir el nitrógeno en un 30% a 60% si el sistema se lo diseña con una profundidad de lámina de agua de 0,3m.

Para conocer la concentración de nitrógeno existente en el efluente se utiliza la ecuación (5) con un valor de $K_A = 0,025$ m/d, también se puede dimensionar el sistema

para la eliminación de nitrógeno utilizando un valor de $K_A=0,025$ y la ecuación (6), estos valores de K_A son recomendados solo cuando se utilice tratamientos previos y con una carga de $DBO_5 < 250 \text{ mg/l}$.

Para dimensionar el humedal tomamos como referencia los siguientes datos:

$$K_A = 0,08 \text{ m/d}$$

Concentración = 70% de la inicial

$$DBO = 55 \text{ mg/l}$$

$$C_0 = 38,5 \text{ mg/l}$$

$$C_1 = 20 \text{ mg/l}$$

Por lo tanto el valor de la superficie necesaria es de:

$$S = \frac{41,32 \frac{m^3}{d}}{0,08 \frac{m}{d}} \ln \left(\frac{38,5 \frac{mg}{l}}{20 \frac{mg}{l}} \right)$$
$$S = 338,26 m^2 = 339 m^2$$

Se dice que la superficie del diseño es correcta cuando el 95% de las concentraciones del contaminante se encuentra debajo del límite del vertido. Tomaremos una profundidad del agua de 0,3 para aumentar la eliminación de nitrógeno.

Una vez calculada la superficie se realiza la comprobación para verificar si la carga orgánica superficial es menor a $6 \text{ gDBO/m}^2\text{d}$, si el valor calculado es mayor se debe incrementar la superficie.

$$C_s = \frac{Q * C_0}{S}$$

Siendo:

C_s =carga organica superficial.

Q =caudal medio diario.

C_0 =concentración al 70% del DBO_5 .

S =superficie del humedal horizontal.

$$C_s = \frac{41,32 \frac{m^3}{d} * \frac{1000l}{m^3} * 38,5 \frac{mg}{l} * \frac{1g}{1000mg}}{339m^2}$$

$$C_s = 4,69 \frac{gDBO}{m^2 * d} < 6 \frac{gDBO}{m^2 * d}$$

No es necesario modelar la temperatura ya que esta no influye en la construcción de manera directa pero hay que tener presente que la eficiencia en invierno se reduce en 30% debido a que la temperatura influye en la eliminación de nitrógeno.

Además se debe realiza una estimación de la capacidad del sistema para eliminar nitrógeno para ello se debe considerar un valor de:

$$k_A = 0,025m/d$$

$$NKT = 20 \text{ mgN/l}$$

$$C_1 = \frac{C_0}{e^{\frac{S * K_A}{Q}}}$$

$$C_1 = \frac{20 \frac{mgN}{l}}{\frac{339m^2 * 0,025 \frac{m}{d}}{e \quad 41,32 \frac{m^3}{d}}}$$

$$C_1 = 16,29 \frac{mg}{l}$$

Se produce una reducción de nitrógeno de 20%, pero como el sistema es combinado primero el humedal vertical y luego el horizontal la eliminación se da en un 90%.

2.18.1.2. Dimensionamiento Hidráulico.

Una vez conocida el área el dimensionamiento hidráulico se calcula el ancho y longitud del sistema, para ello se aplica la ley de Darcy, que describe el régimen de flujo de un medio poroso mediante la siguiente ecuación.

$$Q = K_s * A_s * s$$

Donde.

Q=Caudal en m³/d

K_s=conductividad hidráulica del medio en una unidad de sección perpendicular a la dirección del flujo en m³/m².dia

A_s= Sección del humedal perpendicular a la dirección de flujo.

s= gradiente hidráulico o pendiente en m/m

Se recomienda tomar el caudal máximo diario, para evitar que se generen derrames en las horas donde se produzcan las puntas de caudal. No se utilizan los caudales punta horario para evitar dimensionamientos excesivamente anchos y poco largos.

La conductividad hidráulica se ve afectada en función de la cantidad y del tamaño de los huecos del medio granular utilizado, se han establecido órdenes de magnitud estimados de la conductividad hidráulica (K_s) para algunos materiales granulares limpios que podrían ser utilizados en forma de sustrato por estos sistemas.

Con el paso del tiempo la conductividad hidráulica se va reduciendo por el crecimiento de biofilm y retención de sólidos, principalmente en la zona de entrada por lo cual se recomienda utilizar un factor de seguridad para k_s de 7 como mínimo. En la tabla N°17 se muestra los diferentes materiales con su respectiva conductividad hidráulica.

Tabla 17
Ordenes de magnitud de la conductividad hidráulica (k_s) en función del tipo de material granular utilizado como sustrato en un humedal construido en flujo subsuperficial

Tipo de sustrato	Tamaño efectivo D_{10} (mm)	Porosidad (%)	Conductividad hidráulica $K_s(m^3/m^2.d)$
Arenas graduadas	2	28-32	100-1000
Arenas gravosas	8	30-35	500-5000
Gravas finas	16	35-38	1000-10000
Gravas medianas	32	36-40	10000-50000
Rocas pequeñas	128	38-45	50000-250000

Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008) Elaboración: Autores.

Los rangos de pendiente utilizados para esta clase de sistema van de 0,01 a 0,02m/m. Estos valores no se deben exceder para evitar que los costes de excavación sean elevados. Para sistemas particulares se podría evaluar estos rangos ya que dependiendo de la longitud del sistema se incrementaría la pendiente o caso contrario en longitudes pequeñas significaría un aumento sustancial en los costes.

Calculo de las dimensiones del humedal.

$$A_s = \frac{Q_{med.d}}{k_s * s}$$

Donde.

$Q_{med.d}$ = caudal medio diario en m³/d

K_s =conductividad hidráulica del medio en una unidad de sección perpendicular a la dirección del flujo en m³/m².dia

A_s = Sección del humedal perpendicular a la dirección de flujo.

s = gradiente hidráulico o pendiente en m/m

Calculada el área de la sección transversal y una vez fijada la profundidad (h), se determina el ancho del humedal.

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

Donde.

W = ancho en m.

h = profundidad en m.

La longitud del sistema se calcula.

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

Donde.

L=longitud en metros.

W= ancho

S= superficie total.

En este punto se debe verificar que la relación largo-ancho sea como mínimo 1:1 en el caso de esta condición no se cumpla se debe dividir la superficie total en diferentes celdas que funcionaran en paralelo para establecer este criterio.

Datos que se utilizaran para los cálculos:

Conductividad Hidráulica = $3000 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$

Gravas de diámetro de 5mm.

Factor de seguridad= 5

Pendiente del lecho = 0,02 m/m

$$A_s = \frac{41,32 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{\frac{2000}{5} \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{d}} * 0,01 \frac{\text{m}}{\text{m}}}$$
$$A_s = 10,33 \text{ m}^2$$

Calculo del ancho.

$$W = \frac{10,33 \text{ m}^2}{0,3 \text{ m}}$$

$$W = 34,43 \text{ m}$$

Calculado el ancho y teniendo la superficie determinada en el dimensionamiento biológico se determina la longitud del sistema.

$$L = \frac{339 \text{ m}^2}{34,43 \text{ m}}$$

$$L = 9,84 \text{ m}$$

Se compara con la proporción largo-ancho de 1:1 dividimos la superficie en 3 celdas.

Largo= 9,84m

Ancho=11,47m

2.18.2. Selección de ubicación.

La ubicación del sistema se lo realiza en función de variables que no afectan su proceso constructivo y los costes que este conlleva, entre los parámetros más importantes tenemos la accesibilidad, el precio, la calidad del terreno, la climatología, geología de la zona que determinan la eficacia del diseño.

El emplazamiento de los sistemas de humedales debe situarse en zonas llanas con muy poca pendiente además de que permitan la circulación del agua por efecto de la gravedad en todas las secciones del sistema. Los sitios cercanos a los ríos no son siempre adecuados aunque cumpla con todas las condiciones ya que en épocas de

invierno podrían inundar el sistema recurriendo a agregar al diseño diques de protección.

Los sistemas deben situarse alejados de zonas con pendientes o taludes susceptibles a desmoronarse por efectos de erosión o cualquier inclemencia natural; ya que si los materiales son arrastrados hacia el sistema pueden acelerar el proceso de colmatación.

El sitio que se designó para el diseño consta de fácil acceso para la construcción ya que se encuentra periférico a la vía, pertenece a la empresa EMAPAL EP., y la climatología de la zona es templada por lo que el diseño es eficiente.

Al despreciar el costo del terreno, con ese presupuesto se procederá a nivelar el terreno de acuerdo a las condiciones necesarias del diseño del sistema.

2.18.3. Configuración.

El humedal se lo divide en celdas en paralelo para garantizar una distribución adecuada del agua residual en el lecho, además de permitir realizar el mantenimiento mientras el sistema está operativo evitando contratiempos en todas las secciones que componen el sistema.

2.18.4. Sistemas de entrada y salida.

La función principal de estos sistemas es garantizar una adecuada distribución y una buena recogida del agua. Si el caudal no se distribuye de manera uniforme se generan

zonas muertas, circuitos preferentes y lo más grave es que se genera colmatación en los lugares de mayor vertido de agua.

El caudal de agua que llega desde los tratamientos previos debe repartirse equitativamente con el número de celdas que contenga el sistema, esto se lo realiza con arquetas en los cuales contienen un aliviadero, las arquetas son prefabricadas o son armadas in-situ.

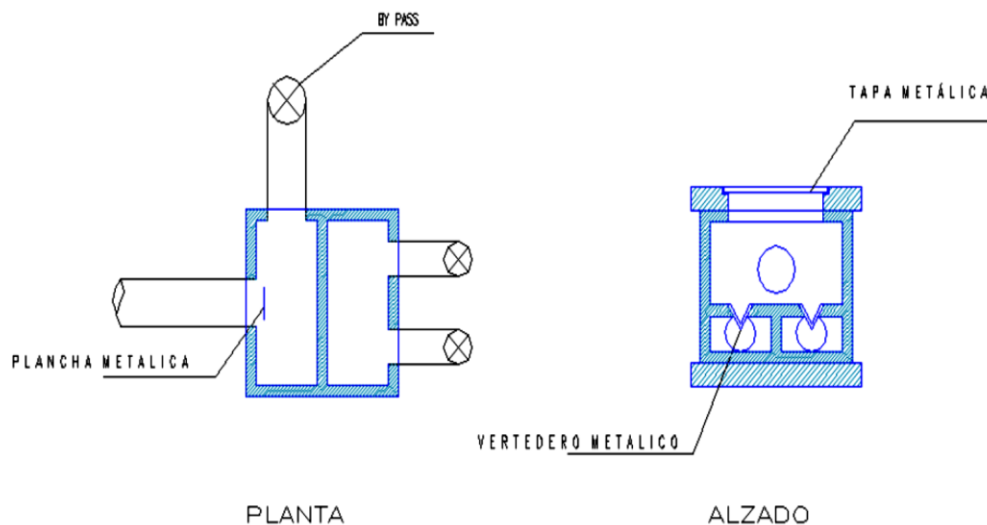


Ilustración 23 Esquema de una arqueta de distribución. Fuente: Depuración con Humedales

Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).

Las arquetas deben ser lo suficientemente grandes para permitir que se realice una limpieza de manera cómoda, en la tapa debe existir una perforación para permitir la salida de los gases y la inspección de manera visual; esta tapa debe ser de polietileno o metálica, resistente a un ataque de ácido, soportar un peso de más de dos personas y tener dimensiones como mínimo de 0,7*0,7m.

El agua procedente del tubo de entrada se encuentra con un deflector el mismo que puede ser una chapa metálica o una pared de ladrillos, colocadas perpendicularmente

al flujo, la cual tiene como función evitar que se produzcan circuitos preferenciales al reducir la velocidad del agua, la velocidad del agua determina el número de deflectores que se deben utilizar.

Los vertederos se construirán en forma de chapa metálica mecanizada o de una pieza de plástico resistente al ataque ácido, la cual permite que estén alineados perfectamente. Existe tantos vertederos como celdas, las chapas se les colocara de manera recta para evitar que se produzcan reparticiones diferenciales. El tiempo de retención del agua en las arquetas debe estar en el rango entre 15 a 45 segundos, la separación que debe existir entre las estructuras interiores de las arquetas debe ser como mínimo 0,2m para que el camión cisterna pueda acceder con los tubos de succión.



Ilustración 24 Arqueta de repartición durante su construcción. Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).

En la Ilustración 25 se puede observar el interior de una arqueta en construcción en la cual se ha levantado la tapa, cuando el agua ingresa se choca con una pared de ladrillo colocado de manera perpendicular, el agua atraviesa la pared de ladrillos por los orificios y se dirige a una chapa metálica la cual consta de tres vertederos los cuales distribuyen el agua de manera uniforme.

Los tubos que conducen el agua desde las arquetas hacia las celdas, deben poseer una válvula a la salida para cerrar las conducciones al momento de realizar el mantenimiento, al cerrar las válvulas el agua pasa por un by-pass sin ingresar a los humedales.

Las tuberías del sistema de humedal deben poseer con un máximo una altura de lámina de agua entre 60 a 70% del diámetro de las tuberías, para que el agua fluya con lámina libre. Es recomendable una velocidad de circulación de 1m/s puesto que de esta depende los diámetros de la tubería, se utilizan tuberías con un diámetro mayor a 100 mm.

A continuación de los vertederos el agua llega a las celdas que constituyen el sistema de humedales el mismo que se lo conoce como zona de entrada, después de que el agua atraviesa el humedal es evacuada por la denominada zona de salida.

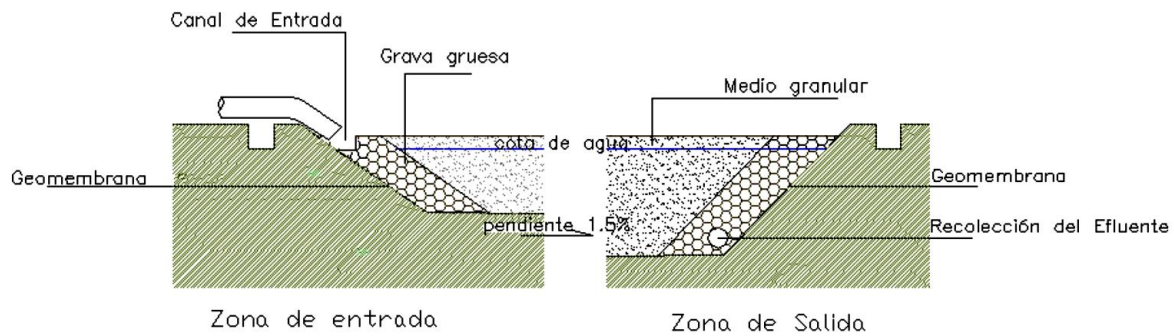


Ilustración 25 Zona de entrada y salida en un humedal de flujo subsuperficial Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008)

La zona de entrada está formada por dos elementos: un sistema de vertido y una franja de material granular de tamaño mayor a 100mm de diámetro la cual ya se encuentra ubicada en la celda.

En sistemas que presenten un ancho menor a 20m se recomienda dividir el caudal en una arqueta y verter el agua directamente sobre las celdas con la ayuda de tuberías, los puntos de vertido deberán estar separados unos de otros con un máximo de 3m.

En la Ilustración 27, se muestra un canal de vertido; a la izquierda del canal se observan planchas que se colocan sobre el canal, el cual se apoya sobre un cordón metálico existente a los dos lados del canal, esto permite que el canal se encuentra parcialmente cubierto la misma que se retira para realizar la limpieza. El agua una vez que se encuentra dentro del canal rebosa por un vertedero continuo y cae sobre una pequeña rampa de hormigón hasta alcanzar la franja del material granular de tamaño mayor a 100mm, se caracteriza por poseer una conductividad hidráulica elevada, esta

franja se construye en los primeros 2m del humedal y debe mantenerse libre de vegetación para evitar que se generen colmataciones.



Ilustración 26 Canal de vertido en un humedal de flujo horizontal Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).

En la Ilustración N°28 se puede observar la zona que se encuentra libre de vegetación



Ilustración 27 Franja de material granular de gran tamaño en la zonas de entrada al humedal de flujo subsuperficial horizontal. Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).

El sistema de recogida consta de una tubería de drenaje perforada de tal modo que no permita el paso de áridos de gran tamaño pero si el del agua; la tubería se coloca sobre el fondo de la celda donde se conecta con un tubo que atraviesa el talud hasta llegar a una arqueta colocada en la parte final, donde la conducción termina en forma de L invertida; la altura a la que se coloque el extremo superior de esta conducción permite controlar el nivel de agua dentro de la celda.

Las dimensiones de construcción de la arqueta final deben permitir un fácil acceso para su limpieza, al final de la arquea se colocan tubos flexibles cuya altura se pueda regular por medio de cadenas o hilos que van sujetos a la pared de la arqueta; es importante que la conducción de estos tubos permita el vaciado total de la celda.

La arqueta de salida se debe construir con dimensiones tal, para que se pueda realizar la limpieza de manera cómoda y fácil, el final de la conducción de drenaje

consiste básicamente en tubos flexibles, los cuales pueden regular la altura con la ayuda de hilos o cadenas que son sujetadas a las paredes de la arqueta, la conducción debe permitir el vaciado completo de la celda si es necesario; esta conducción debe ser de excelente calidad para evitar que se rompa la zona curva de la “L” invertida.

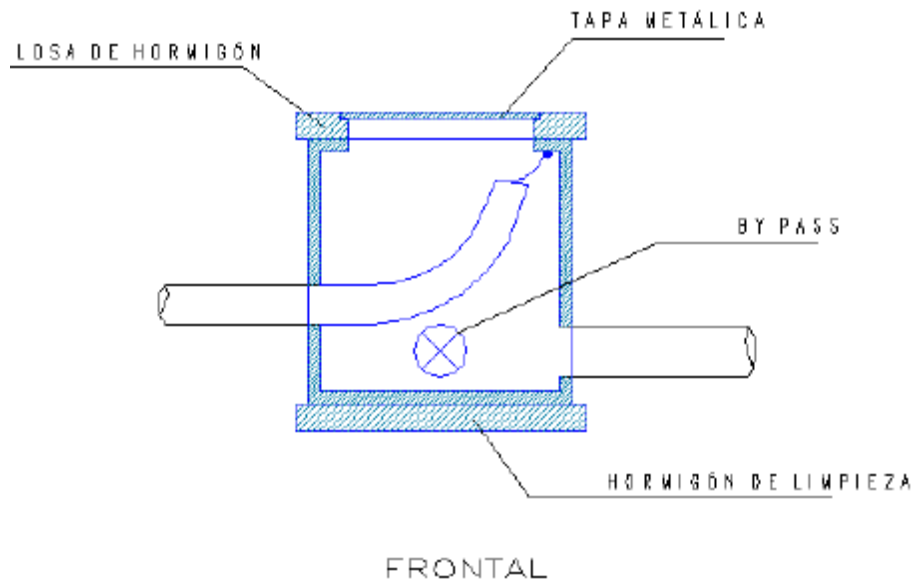


Ilustración 28 Arqueta de salida de un humedal de flujo subsuperficial horizontal Arqueta de salida de un humedal de flujo subsuperficial horizontal, Fuente: Depuración con Humedales Construidos, Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales artificiales, (García & Corzo, 2008).

2.18.5. Medio granular.

Está delimitada por las estructuras de entrada y salida, el medio granular debe estar limpio, homogéneo, duro, durable y ser capaz de mantener su forma a largo plazo, además el relleno sirve como medio de soporte y crecimiento de plantas y de la masa

microbiana, es importante ya que actúa como barrera primaria de tamizado (Kadlec & Wallace, 2009), se utilizan medios granulares con diámetros entre 5 a 6mm.

La permeabilidad del relleno afecta al movimiento del agua a través del humedal; favorecen la precipitación química de contaminantes disueltos, por ejemplo, precipitación de fosfatos con calcio, aluminio o hierro contenido en el relleno (Molle, Liénard, Grasmick, & Iwema, 2003); el comportamiento del humedal depende también de si el relleno está saturado de agua (FSSH) o está insaturado (FSSV). En un relleno saturado, el agua reemplaza el aire atmosférico, hecho que afecta, sobre todo, a la disponibilidad de oxígeno y determina la predominancia de mecanismos aerobios o anaerobios en los procesos biológicos que tienen lugar en el humedal.. (Mena, 2002).

2.18.6. *Impermeabilización.*

Tiene como función contener las aguas en el interior de las celdas para evitar que se infiltre y contamine las aguas subterráneas, la impermeabilización se lo realiza en las zonas de entrada, salida, laterales y el fondo de la celda.

Dependiendo de las condiciones del sitio se puede impermeabilizar con solo compactar el terreno, en otros casos adicionar arcilla o con la utilización de geomembranas. Las capas de arcilla se disponen de manera que alcance una permeabilidad inferior a 10^{-6} cm/s, aunque es común encontrar humedales en los cuales se ha instalado láminas sintéticas de caucho, PVC o polietileno de alta densidad.

Para anclar la geomembrana un método es la utilización de una zanja periférica, la cual consiste en realizar una excavación a un metro de la cresta del talud con dimensiones mayores a 0,3 * 0,3m en el cual se fija la lámina mediante el relleno de la propia zona.

2.18.7. Plantación.

Se obtienen excelentes resultados con plantaciones monoespecíficas de carrizo (*Phragmites australis*), espadaña (*Typha latifolia* o *T. angustifolia*) o juncos (*Scirpus lacustris*). No es necesario utilizar especies diferentes en una misma instalación, se recomienda 3 ejemplares por metro cuadrado.

Las plantaciones se pueden realizar de plántulas cultivadas en viveros o de rizomas extraídas de otros humedales construidos o naturales.

La vegetación que se implanta en el sistema tiene como objetivos:

- Utilizar el agua del humedal como medio.
- Utilizar los nutrientes que contenga el agua.
- Adaptarse a condiciones de salinidad extremas.
- Gestionar el depósito de sedimentos.
- Regular el régimen hídrico.
- Retener y procesar los nutrientes.
- Regular pH, sólidos en suspensión y materia orgánica.

Para realizar la implantación de la vegetación se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Distribuir perfectamente la vegetación.

- Aprovechamiento de los estratos para sombras, si son necesarios.
- Control del nivel de espesura para que el agua a tratar no llegue a quedarse estancada.

Para nuestro diseño utilizaremos la Totora (*Scirpus californicus*) como vegetación por su fácil adaptabilidad y pertenecer a la zona de estudio.



Ilustración 29 Totoras (*Scirpus californicus*) (2017)

2.19. Tabla de datos obtenidos.

Tabla 18
Resumen de cálculos para el diseño del humedal

DISEÑO DE HUMEDAL ARTIFICIAL SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL		
Concentración	70	%
K_A	0,08	m/d
DBO	55	mg/l
C_0	38,5	mg/l
C_1	20	mg/l
S	339	mg/l
Profundidad del agua	0,3	m
C_s	4,69	$\text{gDBO}_5/\text{m}^2 \cdot \text{d}$
K_A	0,025	m/d
NKT	20	mg/l
C_1	16,29	mg/l
Dimensionamiento hidráulico		
Conductividad hidráulica K_s	2000	$\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$
Diámetro grava	5	mm
Pendiente lechos s	0,01	m/m
A_s	10,33	m^2
W	34,43	m
L	9,84	m
No es relación 1:1 dividido en	3	Celdas
Ancho	11,47	m

Elaboración: Autores (2017).

2.20. Vegetación.

Una de las macrófitas más conocidas y existentes en los alrededores de la zona de estudio es la Totorá (*Scirpus californicus*), posee gran rango de adaptación, son plantas de clima templado, toleran un rango de pH entre 4 a 9 y la temperatura necesaria para su desarrollo oscila entre 16°C a 27°C..



Ilustración 30 Vegetación presente en la zona de Tabacay (Totorá). Fuente: Autores.

2.21. Características generales de la totora.

Son plantas adaptadas a condiciones de saturación e inundación siempre que el nivel del agua no cubra totalmente la planta, soportan una limitación fuerte en la disponibilidad de oxígeno presente en el suelo, están sumergidas una parte y la otra parte se encuentra fuera del nivel de agua como se puede observar en la Ilustración 32.

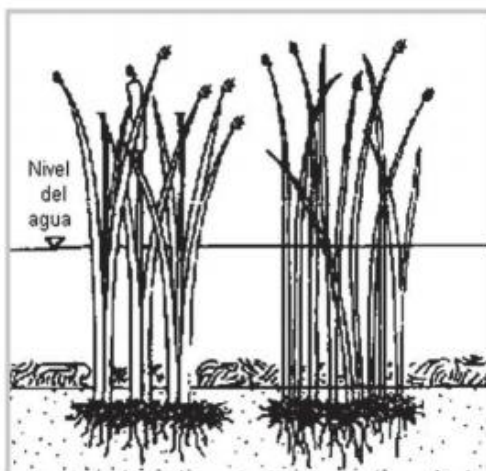


Ilustración 31 Plantas heliófilas en medio acuático Fuente: Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales, (Delgadillo et al., 2010).

Esta planta cumplen las siguientes funciones:

- Servir de filtro para mejorar los procesos físicos de separación de partículas.
- Asimilación directa de nutrientes (en especial Nitrógeno y Fósforo) y metales, que son retirados del medio e incorporados al tejido vegetal (Lahora Cano, 2004).
- Actuar a modo de soporte para el desarrollo de biopelículas de microorganismos, que actúan purificando el agua mediante procesos aerobios de degradación (Valdés, Curt, & Fernández, 2005).
- Transportar grandes cantidades de oxígeno desde los tallos hasta sus raíces y rizomas, donde es usado por dichos microorganismos (Lahora Cano, 2004).

2.22. Manejo de la totora en los humedales.

Para el manejo de la totora se debe tomar en cuenta 3 aspectos: implantación, operación y control de plagas y enfermedades.

2.22.1. *Implantación.*

La implantación en los humedales artificiales se lo realiza por mata, se obtiene del sustrato con una parte subterránea (rizomas), y se implantan en el humedal en épocas calurosas debido a que el frío los puede matar.

El lecho debe ser inundado por debajo de la altura de las plantas cortadas debido a que si el nivel de agua sobrepasa esa altura las plantas se pudren.

Las raíces deben estar en profundidades entre 18 a 36cm, después de la implantación inicial el nivel de agua debe disminuir para que las raíces se extiendan hacia el fondo del medio, la densidad de implantación es de 0,5m y se debe permitir que la vegetación crezca entre 3 a 6 meses antes de que se ingrese agua residual (Delgadillo et al., 2010).

2.22.2. *Operación.*

La operación de los humedales subsuperficiales de flujo vertical se lo realiza durante el primer año para evitar que se produzca un incremento de materia orgánica en el agua y el reciclado de nutrientes absorbidos por la vegetación. El mantenimiento se lo realiza cada otoño para evitar acumulación de sedimentos en los filtros.



Ilustración 32 Zona húmeda construida con totora Fuente: Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales, (Delgadillo et al., 2010).

2.22.3. Plagas y enfermedades.

Para este tipo de vegetación no se hallan estudios de que produzcan enfermedades y plagas al ser plantas muy rusticas.



CAPÍTULO III.

3. Operación y mantenimiento del Humedal.

3.1. Estimación de costos.

Se estimaran los costes unitarios previstos para la construcción de un sistema de tratamiento de aguas residuales para comunidad de Tabacay, sector Nudpud teniendo en cuenta los valores de salarios que se manejan actualmente en el sector de la construcción y el coste de los materiales requeridos para la implementación de esta clase de infraestructura.

El análisis contendrá el costo por metro cuadrado de obra en lo que corresponde a construcción, además se añadirán costes de herramientas de trabajo para el mantenimiento y funcionamiento del sistema, los valores se presentan en la tabla N°19

3.1.1. *Análisis de precios unitarios.*

Este proceso sirve para cuantificar el costo de cada rubro del presupuesto total del proyecto; para que de esta manera se puedan analizar por unidad de obra y por concepto de trabajo que se ejecute.

El análisis contendrá costo de mano de obra, equipo, materiales, transporte entre otros costes no previstos.



3.1.2. Presupuesto total de la construcción.

Se trata del costo total del proyecto de construcción de la obra más el 20% de costos indirectos que incluyen el margen de utilidad que va a tener el contratista.

El presupuesto previsto total de la obra es de **41,166.51** dólares americanos incluido el impuesto al valor agregado visualizado en la tabla N19.

3.1.3. Costos de operación y mantenimiento.

Los costos de operación y mantenimiento del sistema dependen de variables como tamaño, personal, frecuencia de mantenimiento, programa de capacitación y herramientas del cual la mayoría de funciones se verán asumidas por los habitantes de la comunidad.

Tabla 19

Costos de construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Tabacay, sector Nudpud.

DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
PRELIMINARES				11.624,33
Replanteo y nivelación	m2	2.500,00	2,02	5.050,00
Limpieza y desbroce	m2	2.500,00	1,92	4.800,00
Cerram. poste H° S. + alambre puas (3rollos) + excavación	m	200	5,37	1.074,00
Acero de refuerzo fy=4200 Kg/cm2	kg	130	1,89	245,70
CANAL DE ENTRADA Y DESBASTE				227,32
Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	0,75	2,7	2,03
Adecuación del fondo de la zanja	m2	2	7	14,00
Encofrado recto	m2	2	14,5	29,00
Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m3	1	90	90,00
Reja canal de cribado	u	1	4	4,00
Malla electrosoldada 6mm 15x15 cm	m2	3	29,43	88,29
DESARENADOR				957,34
Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	2,6	2,7	7,02
Adecuación del fondo de la zanja	m2	2	7	14
Encofrado recto	m2	2,5	15	37,5
Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m3	1,5	102	153
Compuerta de volante de acero inoxidable	u	2	284,62	569,24
Malla electrosoldada 6mm 15x15 cm	m2	6	29,43	176,58
HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUPERFICIAL HORIZONTAL Y VERTICAL.				11.199,91
Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	576,5	2,7	1.556,55
Desalojo de material con volqueta	m3	768,66	4,25	3.266,81
Compactación mecánica	m2	1.990,00	1,34	2.666,60
Cajas de revisión de 60x60x60cm (Incluye tapa H°A°)	u	3	85,25	255,75
Suministro e instalación Tubería PVC 110mm	ml	80	13,88	1.110,40
Sum. Instalación Tub. Tipo dren 110 mm	u	140	9,17	1.283,80
Implementación de vegetación	u	2.360,00	0,25	590,00
Grava sobre tubería de desagüe	m3	20	23,5	470,00
TANQUE DE RECOLECCIÓN IMHOFF				705,76
Excav. h=0 a 2 m a máquina (retroexcavadora suelo normal)	m3	6,75	2,7	18,225
Adecuación del fondo de la zanja	m2	4,5	7	31,5
Encofrado recto	m2	13	15	195

Continuación.....

Costos de construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Tabacay, sector Nudpud.

Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m3	1,5	90	135
Acero de refuerzo fy=4200 Kg/cm2	kg	160	1,21	193,6
Malla electro soldada 6mm 15x15 cm	m2	4,5	29,43	132,435
CASETA				2428,1934
Excavación y desalojo manual para plintos, cimientos y bordillos	m3	0,92	6,3	5,796
Hormigón S. f'c=210 kg/cm2	m3	0,68	102	69,36
Losa de H°S° f'c=210kgf/cm2, e = 20cm + encofrado	m2	8,87	25,5	226,185
Acero de refuerzo fy=4200 Kg/cm2	kg	413,23	1,21	500,0083
Mampostería ladrillo	m2	24	19,58	469,92
Encofrado vigas y columnas	ml	16	15,5	248
Malla electrosoldada 6mm 15x15 cm	m2	8,87	29,43	261,0441
Lavamanos + inodoro + accesorios	glb	1	140	140
Ventanas de hierro + protección	u	1	70	70
Puerta metálica	u	1	75	75
Enlucido vertical Paleteado (1:3)	m2	48	7,56	362,88
EQUIPO				60
Herramienta menor	global	1	60	60
CAPACITACIÓN				240
Curso de capacitación	horas	20	20	400
EQUIPO DE PROTECCIÓN PARA OPERADOR				2961
Guantes de butilo	par	12	35	420
Botas para agua	par	1	28,00	28
Casco de seguridad ligero	u	1	33	33
Gafas tipo panorámicas	u	1	15,00	15
Mascara buconasal con 2 filtros	u	1	35	35
Overol impermeable	global	1	30,00	30
Muestras de control de calidad de agua residual	global	12	200	2400
EQUIPO PARA MANENIMIENTO DEL HUMEDAL				226
Utensilios de aseo(escobas, recogedores, paquete de fundas)	u	3	10	30
Utensilios de remoción de escombros (Palas, rastrillos, mallas, tijeras especiales entre otros)	u	3	46	138
Utensilios de toma de muestras (docena de recipientes, paquete de guantes, paquete de mascarillas, otros)	u	1	58	58
TOTAL				30629,8
IVA 12%				3675,58
TOTAL +IVA				34.305,42
TOTAL+20%				41166,51

Elaboración: Autores (2017)



Conclusiones y Recomendaciones.

- Se diseñó un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de las aguas servidas de la comunidad de Tabacay sector Nudpud, en función de las características del agua residual, flora, parámetros ambientales y demográficos del lugar.
- Se localizó una zona de emplazamiento adecuado para el diseño del sistema el mismo que cumple con las condiciones adecuadas de vialidad, clima, pendiente y sobre todo cumple con las dimensiones apropiadas para su implantación.
- Las características de las aguas residuales de origen domestico de la comunidad de Tabacay, sector Nudpud de la provincia del Cañar; corresponden a un agua biodegradable que si puede ser tratada por medios naturales.
- La vegetación seleccionada (*Scirpus Californicus*) para el diseño es idónea debido a que pertenece al lugar y cumple con las condiciones de remoción de contaminantes previsto para un sistema de humedales.
- Para el diseño se tomó valores del libro Ingeniería de aguas residuales de Metcalf & Eddy, (1995); expuestos en el anexo 3, debido a que los resultados



de las muestras presentaron valores menores a los de la normativa vigente en el país. La presencia de contaminación en los análisis realizados por los estudiantes y EMAPAL EP., (anexo 4 y 5) exponen la presencia de coliformes, nitritos y nitratos; por lo que se debe considerar el tratamiento de las aguas residuales mediante humedales artificiales para reducir la concentración de estos contaminantes. En estos sistemas el agua residual circula por el humedal artificial subsuperficial y es vertida al río con niveles de coliformes, nitritos y nitratos inferiores a los presentados en la Normativa vigente.

- El costo total aproximado de la inversión es de 41166,51 USD americanos repartidos en dos sistemas de humedales subsuperficiales, un horizontal y un vertical. El presupuesto de la construcción es económica comparada con otros sistemas depuradores, la obra civil es pequeña y requiere mantenimientos mínimos con un bajo costo de operación.
- El diseño del sistema está proyectado para una vida útil de 25 años, la empresa EMAPAL EP., contará con un manual de diseño y operación para capacitar a los habitantes de la comunidad sobre cómo realizar el mantenimiento y operación, para que el sistema garantice su eficacia y la vida útil para la cual fue diseñado.

- Los humedales son contruidos acorde al paisaje del sector proporcionando un hábitat para una gran variedad de especies, las cuales viven en armonía con la naturaleza y manteniendo así la estética natural del lugar.

Culminado el diseño del sistema se recomienda:

- Considerar la viabilidad del proyecto y la ejecución del mismo para evitar contaminar el cauce del río Tabacay.
- Realizar análisis continuos de agua residual para tener un registro de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos en las vertientes de los cuerpos de agua.
- Empresa EMAPAL EP., dotar de una red de alcantarillado interconectada de toda la comunidad para tener un solo punto de descarga y así realizar controles de la calidad del agua residual.
- Utilizar material impermeable para evitar que se contaminen las aguas subterráneas por la infiltración.
- Utilizar vegetación adecuada y que pertenezca a la zona de implementación para su pronta adaptabilidad y no alterar el ecosistema del lugar.



- La siembra de la vegetación, el mantenimiento (poda) y operación luego de entrar en funcionamiento el sistema se los puede realizar con mingas por parte de la comunidad y así abaratar los costos y reducir los gastos únicamente a la obra civil. El área del terreno es un gasto nulo debido a que la empresa EMAPAL EP ya cuenta con un área de terreno adecuado para la implementación del sistema.



Bibliografía

- Aguilar, A. (2016). DISEÑO DE UNA CAPTACIÓN SUPERFICIAL CON UNA TOMA DE FONDO PARA ABASTECER DE AGUA POTABLE A LA CIUDAD DE BALSAS.
- Armstrong, W., Beckett, M., & Armstrong, J. (1990). Constructed Wetlands in Water Pollution Control: Proceedings of the ... - Google Libros. Retrieved January 20, 2017, from [https://books.google.com.ec/books?id=drobBQAAQBAJ&pg=PA41&dq=measurement+and+modelling+of+oxygen+release+from+roots+of+Phragmites+australis&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwinvLfvdHRAhXMKCYKHdtrB-YQ6AEIGjAA#v=onepage&q=measurement and modelling of oxygen](https://books.google.com.ec/books?id=drobBQAAQBAJ&pg=PA41&dq=measurement+and+modelling+of+oxygen+release+from+roots+of+Phragmites+australis&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwinvLfvdHRAhXMKCYKHdtrB-YQ6AEIGjAA#v=onepage&q=measurement+and+modelling+of+oxygen)
- Benfield, L. D., & Randall, C. W. (1980). *Biological process design for wastewater treatment*. Prentice-Hall.
- Blazquez, P., & Montero, C. (2010). Reutilización de agua en Bahía Blanca Plata 3era Cuenca. *Editorial de La Universidad Tecnológica Nacional - edUTecNe*. Retrieved from www.edutecne.utn.edu.ar/agua/agua_reutilizacion.pdf
- Brix, & Schierup, H. (1990). Soil_Oxygenation_in_Constructed_Reed_Beds_-_the_Ro.pdf.
- Campos, I. (2000). Saneamiento Ambiental - Google Books. Retrieved January 19, 2017, from <https://books.google.com.ec/books?id=lsgrGBGIGeMC&pg=PA49&dq=solidos+suspendedidos&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjMkr-B3c7RAhWIZCYKHai4D28Q6AEIKDAA#v=onepage&q=solidos+suspendidos&f=false>
- CARE International - Avina. (2012). Sistemas de saneamiento ambiental. *Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades*, 146.
- Carpio, M. C. (2002). COMPOSICIÓN CUALITATIVA DE LAS AGUAS, 1–6.
- CEE, D. (1998). TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES URBANAS Manual de interpretación y elaboración de informes. Retrieved from http://www.mapama.gob.es/es/agua/publicaciones/03_Manual_Directiva_91_271_CEE_tcm7-28959.pdf
- CENTA. (2008). Manual de depuración de aguas residuales urbanas. *Centa, Secretariado de Alianza Por El Agua, Ecología Y Desarrollo*, 264. <http://doi.org/Z-2802/08>
- Cirujano, S. (2002). Conservación y gestión de la flora y la vegetación acuáticas, 35–46.
- Collado Lara, R. (1992). *Depuración de aguas residuales en pequeñas comunidades*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=WxtLAAAACAAJ&dq=depuracion+de+aguas+residuales+en+pequeñas+comunidades+ramon+collado+lara&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi9v4jw1-XTAhUKSiYKHe4HD7kQ6AEIKDAB>
- Constitución de la Republica del Ecuador. (2008). Constitución de la Republica del Ecuador.

- Crites, R., & Tchobanoglous, G. (1998). *Small and decentralized wastewater management systems*. WCB/McGraw-Hill. Retrieved from https://books.google.com.ec/books/about/Small_and_decentralized_wastewater_management.html?id=yx9SAAAAMAAJ&redir_esc=y
- Crites, R., Tchobanoglous, G., & Mejía, G. (2000). *Sistemas de manejo de aguas residuales : para núcleos pequeños y descentralizados*. McGraw-Hill. Retrieved from [https://books.google.com.ec/books?id=2el1AAAACAAJ&dq=Crites,+R.+y+Tchobanoglous,+G.\(2000\).+pdf&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwid3on_rYvUAhVC7yYKHXFfDKoQ6AEISjAF](https://books.google.com.ec/books?id=2el1AAAACAAJ&dq=Crites,+R.+y+Tchobanoglous,+G.(2000).+pdf&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwid3on_rYvUAhVC7yYKHXFfDKoQ6AEISjAF)
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales - Google Libros*. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=1kO2J5aDljQC&printsec=frontcover&dq=parámetros+microbiológicos+de+las+aguas+residuales&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj8hPKg0trPAhWD0h4KHVxVBzsQ6AEINzAB#v=onepage&q&f=false>
- Dierberg, F., & Brezonik, P. (1984). NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL BY CYPRESS SWAMP SEDIMENTS*, 1, 207–213.
- EPA. (2000a). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales Humedales de flujo subsuperficial. *United States Environmental Protection Agency, (Us Epa).*, 13.
- EPA. (2000b). Manual Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters Manual Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters, (September).
- Espigares, M., & Pérez, J. (1985). Aspectos sanitarios del estudio de las aguas.
- FAO. (2005). 5. Bacteria in aquaponics. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i4021e/i4021e05.pdf>
- García, J., & Corzo, A. (2008). Depuración con Humedales Construidos, Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales artificiales.
- Garzón, M. (1995). Eliminación Biológica de Fósforo y Nitrógeno en un Reactor Discontinuo con Biomasa Adherida.
- Guevara, A. (1996). Control de calidad del agua Métodos de análisis para la evaluación de la calidad del agua.
- Hammer, D., & Bastian, R. (1989). *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial and ... - Google Libros*. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=BCdPHXm677kC&pg=PA5&lpg=PA5&dq=Wetlands+ecosystems:+natural+water+purifiers»,&source=bl&ots=KJFJO8RhVG&sig=sM66z3b0Z6fSqielTPSMZKSc38E&hl=es&sa=X&authuser=0#v=onepage&q=Wetlands ecosystems%3A natur>
- INEC. (2010). Hogar | Instituto Nacional de Estadística y Censos. Retrieved June 5, 2017, from <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/?s=hogar>
- INEC. (2012). Información Ambiental en Hogares. Retrieved from http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Ambientales2012junio/Presentacio_Junio_2012.pdf
- Ingeniería Rural. (2016). Ingeniería Rural I. Retrieved June 13, 2017, from <http://www.ingenieriarural.com/Hidraulica.htm#Temario>
- Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2009). *Treatment Wetlands, Second Edition. Treatment Wetlands, Second Edition*. <http://doi.org/10.1201/9781420012514>
- Lahora, A. (1971). DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE

- HUMEDALES ARTIFICIALES : LA EDAR DE LOS GALLARDOS (ALMERÍA), 99–112.
- Lahora Cano, A. (2004). LOS HUMEDALES ARTIFICIALES COMO TRATAMIENTO TERCARIO DE BAJO COSTE EN LA DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS. Retrieved from http://eflus.com/index.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=153&Itemid=109
- Lara, J. (1999). Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales.
- Lemus, M., & Navarro, G. (2003). Manual para el desarrollo de Obras de conservación de Suelo., 1–16.
- Llagas, W., & Gómez, E. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSN., 15, 85–96.
- Luna, V., & Castañeda, S. (2014). SiStema de humedaleS artificialeS para el control de la eutroficación del lago del BoSque de San Juan de aragón. *Revista Especializada En Ciencias Químico-Biológicas*, 17(1), 32–55. Retrieved from <http://www.medigraphic.com/pdfs/revespciequibio/cqb-2014/cqb141c.pdf>
- MAE. (2015). Registro Oficial N° 387, 22.
- Marín, J., & Correa, J. (2010). Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la Guadua angustifolia Kunth. *Trabajo Especial de Grado*, 1–100. Retrieved from <http://recursosbiblioteca.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/1801/1/6283M337.pdf>
- Mena, J. (2002). Depuración de aguas residuales con humedales artificiales : Ventajas de los sistemas híbridos.
- Metcalf & Eddy. (1995). *Ingenieria de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilizacion*.
- Molle, P., Liénard, A., Grasmick, A., & Iwema, A. (2003). Phosphorus retention in subsurface constructed wetlands : investigations focused on calcareous materials and their chemical reactions., 75–83.
- OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales, 42. Retrieved from http://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Pastor, L. (2006). Investigations on the Recovery of Phosphorus from Wastewater by Crystallization. Retrieved June 14, 2017, from https://books.google.com.ec/books?id=V3LMt2r_R7QC&pg=PA5&dq=bacterias+Pa+o&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiPi5WL3rzUAhUG5iYKHTnZDqYQ6AEIKjAB#v=onepage&q=bacterias+Pa&f=false
- Peña, C. (2012). TRATAMIENTO DE AGUAS DE ESCORRENTÍA MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES: ESTADO DEL ARTE, 22, 39–61.
- Peña, C., & Lara, J. (2012). TRATAMIENTO DE AGUAS DE ESCORRENTÍA MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES: ESTADO DEL ARTE. In *CIENCIA E INGENIERÍA NEOGRANADINA* (Vol. 22–2, pp. 39–61).
- Petticrew, E., & Kalff, J. (1992). Water Flow and Clay Retention in Submerged Macrophyte Beds. *Can. J. Fish. Aqua. Sci.*, 49(12), 2483–2489. Retrieved from aquatic plant uptake and physical ecology
- Plan Nacional del Buen Vivir. (2013).
- PROMAS. (2005). Plan de manejo integral de la microcuenca del río Tabacay.
-

- Rangel-ortiz, L., Acosta-zamora, G., Casimiro-reyes, M. D. J., Santamaría-, M. E., Salvador, S., María, R., ... Quietud, C. V. (2010). " ANÁLISIS Y CARACTERIZACIÓN DE BACTERIAS HETERÓTROFAS AISLADAS A PARTIR DE MUESTRAS DE AGUA DE UNO DE LOS CANALES DE XOCHIMILCO ," 1–9.
- Rers, C. F. (2008). El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales, 11, 301–305.
- Rivas, A., & Paredes, D. (2014). Sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua. Retrieved from https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/sistemas-de-humedales/files/assets/common/downloads/publication.pdf
- Romero, J. (2000). *Tratamiento de aguas residuales: teoría y principios de diseño*. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Severiche, C., Castillo, M., & Acevedo, R. (2013). Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Físicoquímicos Básicos en Aguas, 69–72. <http://doi.org/Biblioteca Virtual EUMED.NET>
- Tejero, J., Suárez, A., & Jácome, J. (2002). Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 1–21. TULSMA. (2012). full-text.
- Valdés, I., Curt, D., & Fernández, J. (2005). Tolerancia de Phragmites y Typha a la contaminación del agua” en Memoria del Encuentro Internacional en Fitodepuración, Lorca. Retrieved from <http://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Conferencias y P%F3sters/C-23 Vald%E9s,I.pdf>
- Valencia, E., Silva, I., & Narváez, C. (2010). Sistemas Descentralizados Integrados y Sostenibles para el Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas Sustainable Integrated Systems Decentralized for the Treatment of Residual Waters Domiciliary, (7).
- Vymazal, J., Brix, H., Cooper, P. F., Haberl, R., Perfler, R., & Laber, J. (1998). Removal mechanisms and types of constructed wetlands. *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*.
- Yocum, D. (2006). Manual de Diseño : Humedal Construido para el Tratamiento de las Aguas Grises por Biofiltración. *Universidad De California*, 1–16. Retrieved from http://www2.bren.ucsb.edu/~keller/courses/GP_reports/Diseno_Humedal_AguasGrises.pdf



Anexos

Anexo 1

Manual de Mantenimiento y operación: Humedal subsuperficial construido para el tratamiento de aguas residuales.

Alcance

Este manual tiene el fin de proporcionar una guía para el mantenimiento y operación de humedales construidos con flujo subsuperficial. Esta información se considera necesaria debido a la acogida en el uso de esta tecnología en comunidades pequeñas las mismas que no cuentan con una planta de tratamiento convencional.

En este manual se plantea resolver los inconvenientes que surgieron en otros sistemas de humedales artificiales y se buscara dar una orientación para tratar de evitar que se repitan dichos problemas.

Responsabilidades

Con el fin de poder realizar el mantenimiento y operación del sistema de humedales artificiales se sugiere conformar un equipo que cumpla con las siguientes actividades.

Operario.- se encargara de la revisión y limpieza periódica de las estructuras que conforman el sistema de humedales.

Técnico.- Se encargara de realizar un muestreo periódico para garantizar la eficiencia del sistema o en su defecto realizar los cambios convenientes.

EMAPAL EP.- Se encargara de financiar conjuntamente con la comunidad al personal técnico encargado del sistema.

1. Información general.

Las personas que asisten a la socialización de esta clase de proyectos usualmente se preguntan **¿Que es un humedal construido con flujo subsuperficial?**

Un humedal construido con flujo subsuperficial (SFCW) es un lecho de estructura de piedra estratificada; en un extremo del lecho tiene un afluente que incorpora las aguas residuales de manera uniforme al sistema, y un efluente de recolección en su extremo opuesto del lecho. Además posee vegetación sembrada de manera estratégica en la superficie del lecho de piedra.

2. Descripción del proyecto

El proyecto fue diseñado para la comunidad de Tabacay, sector Nudpud, cantón Azogues, el sistema consta de un pre tratamiento (aliviadero de entrada y desarenador), tratamiento primario (tanque Imhoff) y un tratamiento secundario (humedales vertical y horizontal) diseñado acorde a las necesidades de la comunidad para el tratamiento de agua residual.

Manual de mantenimiento y operación

Objetivo

-Mostrar el funcionamiento del sistema de humedales artificiales de la comunidad de Tabacay.

-Establecer los procedimientos para su mantenimiento y operación diaria.

Funcionamiento

El agua residual al ingresar por efecto de la gravedad al aliviadero disminuye su velocidad y se produce la sedimentación, los sólidos de gran tamaño presentes en el agua son retenidos en las rejillas gruesas y finas. En la siguiente etapa el agua ingresa al tanque Imhoff que consta de dos compartimientos: la zona de decantación y la zona de digestión. En la zona de decantación se produce la sedimentación de sólidos los mismos que atraviesan las ranuras ubicadas en la parte inferior del compartimiento.

En la zona de digestión los sólidos son degradados a temperatura ambiente. Para las condiciones de la comunidad de Tabacay se recomienda que el periodo de degradación sea de un año; los lodos digeridos se sustraerán de la cámara de digestión abriendo lentamente la válvula de la línea de lodos.

Finalmente el agua atraviesa el humedal vertical descargándose equitativamente en cada una de las celdas del cual consta; terminado este proceso el agua ingresa a cada una de las arquetas que compone el humedal horizontal para atenuar el caudal que posteriormente atravesara el humedal horizontal y es descargado al cauce del río.

La vegetación presente en el humedal vertical y horizontal absorbe los contaminantes degradados por las bacterias por medio de sus raíces; la absorción de contaminantes difiere en cantidad respecto a la especie de planta. En el humedal diseñado para la comunidad se recomienda utilizar la Totorá (*Scirpus Californicus*).

Para las actividades de mantenimiento y operación del sistema de humedales se debe realizar lo siguiente:

Actividad	Frecuencia	Instructivo
Determinación de caudales	Diaria	1
Mantenimiento del pretratamiento	Diario	2
Mantenimiento del tanque Imhoff	Diario	3
Mantenimiento de tuberías	Diario	4

Elaboración: Autores (2017)

1 Instructivo para la determinación de caudales

OBJETO.

Establecer el procedimiento para determinar el valor del caudal del sistema de humedales artificiales.

ALCANCE: Este instructivo se aplica al sistema de humedales artificiales de la comunidad de Tabacay.

RESPONSABLE: Operador encargado de la planta

PROCEDIMIENTO

Los caudales se determinarán a la salida de los humedales en el vertedero del canal de efluentes.

- Llenar un recipiente de 20L y tomar el tiempo de forma simultánea (aprox. 5 min)
- Medir volumen de agua recogida en el recipiente y anotarla en litros en la hoja de registro.
- Apuntar el tiempo registrado en el cronómetro.
- Con la ayuda de una calculadora dividir el volumen de agua en litros con el tiempo.
- Realizar el procedimiento nuevamente.
- Promediar los dos valores obtenidos de caudal



- Anotar el valor promedio en la planilla respectiva.

Se deben realizar aforos en los siguientes horarios:

En la mañana 8:00, 9:00, 10:00, 11:00, 12:00; en la tarde 3:00, 4:00, 5:00, 6:00.

2 Instructivo mantenimiento del pretratamiento

OBJETO

Establecer el procedimiento para realizar el mantenimiento del pre tratamiento del sistema de humedales artificiales de la comunidad de Tabacay.

ALCANCE: Este instructivo se aplica al aliviadero de entrada, canal de desbaste y desarenador del sistema de humedales artificiales de la comunidad de Tabacay.

RESPONSABLE: Operador encargado de la planta.

PROCEDIMIENTO

- Con la ayuda de un rastrillo extraer del canal de desbaste aliviadero y desarenado los cuerpos de gran tamaño que flotan.
- Depositar los desechos en un recipiente plástico para que sean recogidas el día de recolección de basuras.

3 Instructivo para el mantenimiento del tanque Imhoff.

OBJETO

Establecer el procedimiento para realizar el mantenimiento del tanque Imhoff del sistema de humedales artificiales de la comunidad de Tabacay.

ALCANCE: Este instructivo se aplica a los dos compartimientos del tanque Imhoff del sistema de humedales de la comunidad de Tabacay.

RESPONSABLE: Operador encargado de la planta.

PROCEDIMIENTO

- Obsérvese si hay presencia de espumas en la superficie del agua residual o en los bordes del tanque Imhoff y marque con una x en la hoja de registro diario y comunique inmediatamente al técnico encargado del sistema.

- La zona de digestión se debe realizar la extracción de los lodos abriendo lentamente la válvula de la línea de lodos.

- La zona de decantación del tanque Imhoff se debe limpiar con la ayuda de un desnatador (paleta cuadrada construida con malla acoplado a un listón de manguera).



Ilustración 33 Desnatador Fuente: Google 2017

- Monitoreo. Se debe monitorear periódicamente los niveles de DBO, DQO y coliformes en el agua para constatar el funcionamiento del humedal caso contrario implementar las correcciones; se debe crear un programa de monitoreo.

4 Instructivo para el mantenimiento de tuberías

OBJETO.



Establecer el procedimiento para efectuar el mantenimiento de tuberías del sistema de humedales artificiales de la comunidad de Tabacay.

ALCANCE: Este instructivo se aplica a las tuberías que conectan el pre tratamiento, tratamiento primario y tratamiento secundario del sistema de humedales de la comunidad de Tabacay.

RESPONSABLE: Operador encargado de la planta.

PROCEDIMIENTO.

Las tuberías deben conservarse completamente limpias sin obstrucciones de cualquier naturaleza. Para su limpieza se debe:

- Remover con una varilla la suciedad que se encuentre adherida a éstas.
- Agregar agua a presión hasta que la tubería esté limpia.

Fecha: 04 de julio del 2017.

Versión 1 tomada de:

- Manual de Diseño : Humedal Construido para el Tratamiento de las Aguas Grises por Biofiltración (Yocum, 2006).
- Manual Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters (EPA, 2000b).

Anexo 2

Criterios de descarga a un cuerpo de agua dulce, (MAE, 2015)

Tabla 20
Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

PARAMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	30
Alkil mercurio	-	mg/l	No detectable
Aldehídos	-	Mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	B	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Cloro activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,1
Cloruros	Cl	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes fecales	Nmp/100ml		2000
Color real	-	Unidades de color	Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,5
DBO5	DBO5	mg/l	100
DQO	DQO	mg/l	200
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fosforo total	P		10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visibles	-	Ausencia
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0

Continuación.....

Criterios de descarga a un cuerpo de agua dulce.(MAE, 2015)(MAE, 2015)(MAE, 2015)(MAE, 2015)

Nitratos + Nitritos	Expresado como nitrógeno	mg/l	0,1
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	0,1
Organoclorados totales	Concentración de Organoclorados totales	mg/l	0,2
Potencial de hidrogeno	Ph		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Solidos sedimentables		ml/l	1,0
Solidos suspendidos totales		mg/l	130
Solidos totales		mg/l	1600
Sulfatos	SO ₄	mg/l	1000
Sulfitos	SO ₃	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	⁰ C	-	Condición natural +-3
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio	-	mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

Elaboración: Autores Fuente: (MAE, 2015)

Anexo 3

Tabla 21

Composición típica del agua residual doméstica bruta

Contaminantes	Unidades	Concentración		
		Débil	Media	Fuerte
Sólidos totales (ST)	mg/l	350	720	1200
Disueltos, totales (SDT)	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos en suspensión (SS)	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Sólidos sedimentables	ml/l	5	10	20
Demanda bioquímica de oxígeno, 20°C (DBO ₅ , 20°C)	mg/l	110	220	400
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/l	250	500	1000
Nitrógeno (total en la forma N)	mg/l	20	40	85
Orgánico	mg/l	8	15	35
Amoníaco libre	mg/l	12	25	50
Nitritos	mg/l	0	0	0
Nitratos	mg/l	0	0	0
Kjeldahl (NKT)	mg/l	20	40	85

Fuente: Ingeniería de aguas residuales, (Metcalf & Eddy, 1995). Elaboración: Autores.



Anexo 4

Muestra de los análisis de agua residual.

LABORATORIO ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE
CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA

Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua

Solicitado por: Sres. Esteban Ludizaca y Andrés García Código 07017
Lugar de la toma de muestra: Planta de tratamiento de NUD PUD
Tipo de agua: Agua residual
Dirección: NUD PUD
Teléfono:
Fecha de la toma: 7/05/2017
Fecha del análisis: 7/05/2017

	PARAMETRO	VALOR HALLADO	UNIDADES	PROCEDIMIENTOS SEGUIDOS EN MS
1	pH	6,9	Unidades	MNE 4500 B H
2	Sólidos totales	204	mg/l	MNE 2540 C
3	Sólidos sedimentables	0,2	mm/l	MNE 2540F
4	Sólidos suspendidos	0,173	mg/l	MNE 2540-D
5	Sólidos volátiles	0,03	mg/l	MNE 2540-E
6	Nitritos	0,09	mg/l	MNE 4500- NO ₂ B
7	Nitratos	2,9	mg/l	MNE 4500- NO ₃ F
8	Nitrógeno total	3,3	mg/l	
9	Fósforo reactivo (P)	2,21		MNE 4500 -P C
10	Fósforo total	2,85	mg/l	MNE 4500 -P E
11	Oxígeno disuelto OD	1,29	mg/l O ₂	MNE 4500 G
12	Demanda Bioquímica de oxígeno DBO ₅	37	mg/l O ₂	MNE 5210 B
	Demanda química de oxígeno DQO	53	mg/l O ₂	MNE 5220 C

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg y siguiendo los proceso de Estándar Metodos Normalizados MNE

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

Dr. Giovanni Larriva, Mgts.

Analista Responsable

TERMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y a muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad internacionalmente reconocidos. El laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente. Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que las contenedores; las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser tratadas inmediatamente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el L. A. C. A tendrán el carácter de profesional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio. Se entenderá como certificado o informe de análisis y únicamente emitido el documento en original, debidamente timbrado y firmado por el responsable del laboratorio.

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

DATOS DE RECEPCION:

Solicitado por:	Sres. Esteban Ludizaca y Andrés García
Muestra:	AGUA RESIDUAL PLANTA DE TRATAMIENTO DE NUD PUD
Fecha:	07/06/2017
Fecha de análisis:	07/06/2017–11/06/2017
Nº de muestras:	1muestra
Procedencia:	PLANTA NUD PUD
Código:	08017

Inspección de la muestra	Recolectada en recipientes de plástico "Estéril"
--------------------------	--

INFORME DEL RESULTADO

Muestra	Parametro	Metodo	Unidad	Resultado
NUD PUD AR.	Coliformes totales	NTE / INEN	NMP/100ml	$1,2 \cdot 10^9$
	Coliformes fecales	NTE / INEN	NMP/100ml	$1,3 \cdot 10^8$

Se siguieron las siguientes normas INEN:

1529-1 Preparación de los medios de cultivo

1529-2 Toma, envío y preparación de las muestras para el análisis

NMP= Número más probable

NTE= Norma Técnica Ecuatoriana

Método de los tubos múltiples

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUIMICAS
LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUAS

Dr. Giovanni Larriva

Analisis responsable

LABORATORIO ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE AGUA FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CUENCA**Resultados del Análisis Físico-Químico de Agua**

Solicitado por: Sres. Esteban Ludizaca y Andrés García Código 06017
Lugar de la toma de muestra: Planta de tratamiento de **NUD PUD**
Tipo de agua: Agua residual
Dirección: **NUD PUD**
Teléfono:
Fecha de la toma: 28/05/2017
Fecha del análisis: 28/05/2017

PARÁMETRO	VALOR Hallado	UNIDADES	PROCEDIMIENTOS SEGUIDOS EN M/S
1 pH	7,8	Unidades	MNE 4500 B H ⁺
2 Sólidos totales	670,3	mg/l	MNE 2540 C
3 Sólidos sedimentables	1,8	mm/l	MNE 2540F
4 Sólidos suspendidos	0,720	mg/l	MNE 2540-D
5 Sólidos volátiles	0,06	mg/l	MNE 2540-E
6 Nitritos	1,470	mg/l	MNE 4500- NO ₂ B
7 Nitratos	11,8	mg/l	MNE 4500- NO ₃ F
8 Fósforo reactivo (P)	5,7	mg/l	MNE 4500 -P C
9 Fósforo total	6,2	mg/l	MNE 4500 -P E
10 Oxígeno disuelto OD	0,9	mg/l O ₂	MNE 4500 G
11 Demanda Bioquímica de oxígeno DBO ₅	50,4	mg/l O ₂	MNE 5210 B
12 Demanda química de oxígeno DQO	86	mg/l O ₂	MNE 5220 C

Los parámetros han sido analizados en las siguientes condiciones del laboratorio: temperatura 18 °C a 2530 msnm. Y una presión atmosférica de 530mmHg. y siguiendo los procesos de Estándar Métodos Normalizados MNE

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

Dr. Giovanni Larriva Mgts.

Analista Responsable

TERMINOS Y CONDICIONES: La responsabilidad del Laboratorio de Análisis de Aguas de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Cuenca se restringe a la presentación de los servicios analíticos, generación de planes de muestreo y/o muestreo medio ambiental convenidos con el cliente. Los servicios analíticos y el muestreo son realizados teniendo en cuenta los criterios de calidad internacionalmente reconocidos. El Laboratorio de AA no se responsabiliza por la condiciones de preservación de las muestras tomadas por el Cliente. Una vez realizado los análisis de las muestras estas serán conservadas durante 15 días luego de los cuales serán desechadas y por ende no podrán ser reclamadas al igual que los contenedores. Las muestras que sean clasificadas como peligrosas deberán ser retiradas inmediatamente por el cliente o en su defecto el cliente deberá cubrir los costos para su disposición final. Los resultados informados por el LAA son válidos solo para las muestras analizadas. Los resultados enviados de manera electrónica por el LAA tendrán el carácter de provisional y podrán estar sujetos a cambios basados en el procedimiento normal de aseguramiento y control de calidad del laboratorio. Se entenderá como certificado o informe de análisis válidamente emitido al documento en original, debidamente timbrado y firmado por el responsable del Laboratorio.

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

DATOS DE RECEPCIÓN:

Solicitado por:	Sres. Esteban Ludizaca y Andrés García
Muestra:	AGUA RESIDUAL PLANTA DE TRATAMIENTO DE NUD PUD
Fecha:	29/05/2017
Fecha de análisis:	29/05/2017--1/06/2017
Nº de muestras:	1muestra
Procedencia:	PLANTA NUD PUD
Código:	07017

Inspección de la muestra

Recolectada en recipientes de plástico "Estéril"

INFORME DEL RESULTADO

Muestra	Parametro	Método	Unidad	Resultado
NUD PUD AR.	Coliformes totales	NTE / INEN	NMP/100ml	$1.6 \cdot 10^6$
	Coliformes fecales	NTE / INEN	NMP/100ml	$1,5 \cdot 10^6$

Se siguieron las siguientes normas INEN:

1529-1 Preparación de los medios de cultivo

1529-2 Toma, envío y preparación de las muestras para el análisis

NMP= Número más probable

NTE= Norma Técnica Ecuatoriana

Método de los tubos múltiples

UNIVERSIDAD DE CIENCIA
FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS

Dr. Giovanni Larriva

Analista Responsable

Anexo 5

Muestra de análisis de agua EMAPAL EP.

Análisis de calidad de agua de la empresa EMAPAL EP., del año 2014;

comparada con la Normativa del TULSMA 2015

Tabla 22 Análisis de calidad de agua EMAPAL EP., comparado con el Tulsma

PARÁMETRO	UNIDAD	CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUA DULCE.	QUEBRADA NUDPUD										
			Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre
Coliformes Fecales	NMP/ 100 ml	200	517,2	517,2	201,4	129,1	365,4		216,3	185	290,9	290,9	27,5
Coliformes Totales	NMP/ 100 ml		>2419,6	>2419,6	>2419,6	>2419,6	>2419,6		1299,7	1046,2	2	727	68,3
DBO5	mg/l	20	0,9		1,3	0,5	1,4		0.25*	0.4*	0,4	0,4	0,5
DQO	mg/l	40											
Fósforo Total	mg/l		0,07		0,22	0,03	0,17		<0.1	<0.1	<0,01	<0.1	<0,1
Nitratos	mg/l	13	<0,01		0,04	0,14	0,07		0,09	0,14	0,08	0,08	0,04
Nitritos	ug/l	0,2	0,002		<0.002	<0.002	<0.002		<0.02	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Nitrógeno amoniacal	mg/l		0		0	0	0		0	0	0	0	0,15
Potencial Hidrógeno	pH	6,5 - 9	7,6	7,5	7,7	8	7,8		7,8	8,2	8	7,7	7,8
sólidos sedimentables	ml/l		0,1		0,5	0	0,7		0,2	0	0	0	0
Sólidos Suspendedos	mg/l	crecimiento de 10% de la condicion r	21		193	19	105		33				21
Sólidos Totales Disueltos	mg/l		83,2	83,2	80,9	79	67,1		73,1	68	63,5	70,9	66,2

Fuente: EMAPAL EP. Elaboración: Autores (2017).

Análisis de calidad de agua de la empresa EMAPAL EP., del año 2015, comparada con la Normativa del TULSMA 2015

PARÁMETRO	UNIDAD	CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUATICA Y SILVESTRE EN AGUA DULCE.	QUEBRADA NUDPUD											
			Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
Coliformes Fecales	NMP/ 100 ml	200	178,9	186	>2419.6	111,9	547,5	1203,3	86,2	298,7	307,6	1553,1	86	
Coliformes Totales	NMP/ 100 ml		435,2	517,2	>2419.6	920,8	1299,5	>2419.6	613,1	1986,3	>2419.6	1732,9	307,6	
DBO5	mg/l	20	0,55	0,4	2,8	0,6	0,45	2,25	0,4	0,5	0,85	0,7	0,7	
DQO	mg/l	40												
Fósforo Total	mg/l		<0.1	<0.1	0,34	<0.1	<0.1	0,66	0,23	<0.1	<0.1	0,02	0,02	
Nitratos	mg/l	13	0,04	0,03	0,07	0,11	0,07	0,18	0,14	0,1	0,07	0,1	0,1	
Nitritos	ug/l	0,2	<0.002	<0.002	0,007	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0,002	<0.002	<0.002	<0.02	
Nitrógeno amoniacal	mg/l		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Potencial Hidrógeno	pH	6,5 - 9	7,6	7,8	7,6		8				7,8	7,8	7,8	
sólidos sedimentables	ml/l		0	0,1	1,5	0,1	0,1	2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	
Sólidos Suspendidos	mg/l	crecimiento de 10% de la condición	12	9	458	50	14	1508	30	39	52	19	19	
Sólidos Totales Disueltos	mg/l		76,8	76,5	69,1	59,4			66,6		68,2	76	74,2	

Fuente: EMAPAL EP. Elaboración: Autores (2017).

Análisis de calidad de agua de la empresa EMAPAL EP., del año 2016, comparada con la Normativa del TULSMA 2015.

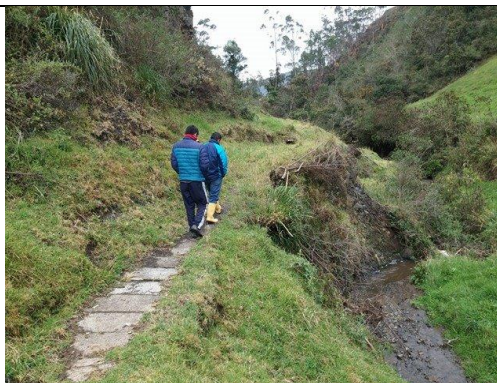
PARÁMETRO	UNIDAD	CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUA DULCE.	QUEBRADA NUDPUD											
			Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Coliformes Fecales	NMP/ 100 ml	200	191,8	95,9	127,4	1119,9	3.3E+02	325,5	770,1	290,9	307,6	1046,2	579,4	155,3
Coliformes Totales	NMP/ 100 ml		613,1	770,1	272,3	>2419,6	3.3E+02	>2419,6	<2419,6	<2419,6	1986,3	2419,6	2419,6	>2419,6
DBO5	mg/l	20	0,8	0,5	0,45	0,2	0,5	0,6	0,2	0,5	0,4	0,2	0,9	0,65
DQO	mg/l	40												
Fósforo Total	mg/l		<0,1	<0,1	0,10	<0,1	<0,1	0,11	0,24	0,16	<0,1	<0,1	<0,1	0,11
Nitratos	mg/l	13	0,07	0,02	0,05	0,07	0,16	0,28	0,12	0,07	0,018	0,05	0,038	0,05
Nitritos	ug/l	0,2	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	0,003	0,002	<0,002
Nitrógeno amoniacal	mg/l		0	0	0	0,3	0	0	0,00	0	0,57	0	0,28	0
Potencial Hidrógeno	pH	6,5 - 9	7,8	7,8	7,8	7,8	7,6	7,6	7,8	7,7	8	7,8	7,9	7,8
Sólidos sedimentables	ml/l		0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,2	0,3	0	0	0	0
Sólidos Suspendidos	mg/l	Incremento de 10% de la condición	17	13	30	21	50	64	24	178	18	8	11	16
Sólidos Totales	mg/l		89,3	87,2	61,1	66,6	56,4	53	61	58	68,5	75,4	81	78,4

Fuente: EMAPAL EP. Elaboración: Autores (2017).

Anexo 6.

Fotos de la salida de campo

SALIDA DE CAMPO.



Elaboración: Autores (2017).

Anexo 7.

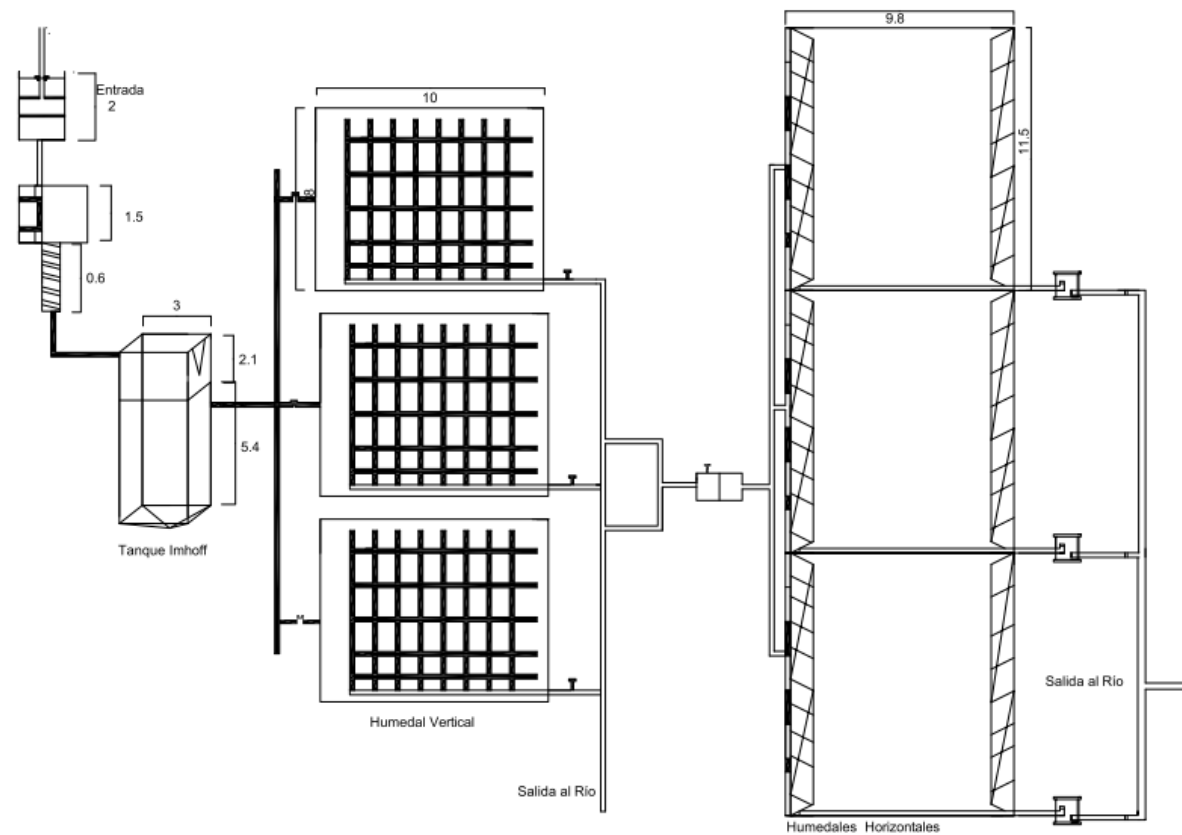
Fotos de toma de muestra y medición de caudal.



Elaboración: Autores (2017)

Anexo 8.

Plano del sistema de humedales artificiales.



Elaboración: Autores (2017)

Anexo 9

TABLA 2: CRITERIOS DE CALIDAD ADMISIBLES PARA LA PRESERVACIÓN DE LA VIDA ACUÁTICA Y SILVESTRE EN AGUAS DULCES, MARINAS Y DE ESTUARIOS

PARAMETROS	Expresados como	Unidad	Criterio de calidad	
			Agua dulce	Agua marina y de estuario
Aluminio ⁽¹⁾	Al	mg/l	0,1	1,5
Amoniaco Total ⁽²⁾	NH ₃	mg/l	-	0,4
Arsénico	As	mg/l	0,05	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1	1,5
Bifenilos Policlorados	Concentración de PCBs totales	µg/l	1,0	1,0
Boro	B	mg/l	0,75	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,001	0,005
Cianuros	CN	mg/l	0,01	0,01
Cinc	Zn	mg/l	0,03	0,015
Cloro residual total	Cl ₂	mg/l	0,01	0,01
Clorofenoles ⁽³⁾		mg/l	0,05	0,05
Cobalto	Co	mg/l	0,2	0,2
Cobre	Cu	mg/l	0,005	0,005
Cromo total	Cr	mg/l	0,032	0,05
Estaño	Sn	mg/l		2,00
Fenoles monohídricos	Expresado como fenoles	mg/l	0,001	0,001
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3	0,3
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	0,5	0,5
Hierro	Fe	mg/l	0,3	0,3
Manganeso	Mn	mg/l	0,1	0,1
Materia flotante de origen antrópico	visible		Ausencia	Ausencia
Mercurio	Hg	mg/l	0,0002	0,0001
Níquel	Ni	mg/l	0,025	0,1
Oxígeno Disuelto	OD	% de saturación	> 80	> 60
Piretroides	Concentración de piretroides totales	mg/l	0,05	0,05
Plaguicidas organoclorados totales	Organoclorados totales	µg/l	10,0	10,0
Plaguicidas organofosforados totales	Organofosforados totales	µg/l	10,0	10,0
Plata	Ag	mg/l	0,01	0,005
Plomo	Pb	mg/l	0,001	0,001
Potencial de Hidrógeno	pH	unidades de pH	6,5 – 9	6,5 – 9,5
Selenio	Se	mg/l	0,001	0,001
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5	0,5
Nitritos	NO ₂	mg/l	0,2	
Nitratos	NO ₃	mg/l	13	200
DQO	DQO	mg/l	40	-
DBO ₅	DBO ₅	mg/l	20	-
Sólidos Suspendidos Totales	SST	mg/l	max incremento de 10% de la condición natural	-

⁽¹⁾ Aluminio: Si el pH es menor a 6,5 el criterio de calidad será 0,005 mg/l

⁽²⁾ Aplicar la Tabla 2a como criterio de calidad para agua dulce

⁽³⁾ Si sobrepasa el criterio de calidad se debe analizar el diclorofenol cuyo criterio de calidad es 0,2 µg/l

Fuente: MAE (2015).

Anexo 10.

Tabla de escorrentías.

Cobertura Vegetal	Tipo de suelo	Pendiente del terreno				
		Pronunciada >50%	Alta 50%-20%	Media 20%-8%	Suave 8%-1%	Despreciable <1%
Sin vegetación	Impermeable	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60
	Semipermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Permeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
Cultivos	Impermeable	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
	Semipermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Permeable	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20
Pastos y vegetación ligera	Impermeable	0.65	0.60	0.55	0.50	0.45
	Semipermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Permeable	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15
Hierva y grama	Impermeable	0.60	0.55	0.50	0.45	0.40
	Semipermeable	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30
	Permeable	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10
Bosques y vegetación densa	Impermeable	0.55	0.50	0.45	0.40	0.35
	Semipermeable	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25
	Permeable	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05

Fuente: (Lemus & Navarro, 2003)