



UNIVERSIDAD DE  
COSTA RICA

Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería de Biosistemas

Diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises y negras por medio de un humedal artificial, con fines de reúso para servicios sanitarios, en el Refugio Natural de Vida Silvestre Bahía Junquillal

Trabajo final de graduación bajo la modalidad de práctica dirigida, sometido ante la Escuela de Ingeniería de Biosistemas como requisito para optar por el grado de:

Licenciatura en Ingeniería Agrícola y de Biosistemas

**Jorge Rodríguez Vásquez**

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio  
San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica

2024

Trabajo Final de Graduación bajo la modalidad de práctica dirigida, sometido a revisión por la Comisión de Trabajos Finales de Graduación de la Escuela de Ingeniería de Biosistemas de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Costa Rica, como requisito para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Agrícola y de Biosistemas



---

Jorge Rodríguez Vásquez

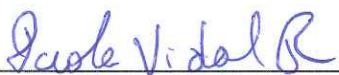
Postulante



---

Ing. Ronald Aguilar Álvarez, Ph.D.

Director, Comité Asesor



---

Ing. Paola Vidal Rivera

Miembro, Comité Asesor



---

Ing. María José Rodríguez Vásquez, Ph.D.

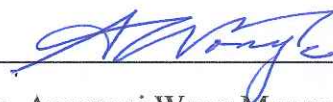
Miembro, Comité Asesor



---

Ing. Alejandra Rojas Gonzales, Ph.D.

Miembro, Tribunal Examinador



---

Ing. Anayansi Wong Monge, M.Sc.

Miembro, Tribunal Examinador

### *Dedicatoria*

A mi papá Arturo y a mi mamá Mauren, por su apoyo incondicional y por sus esfuerzos para que mi desarrollo como profesional fuera posible. Este éxito no me pertenece sólo a mí, nos pertenece a los tres.

## *Agradecimientos*

Al profesor Ronald Aguilar y su contribución a través del proyecto C2451 “Sistematización de los Humedales Artificiales Instalados en Costa Rica y Evaluación de Sustratos Alternativos en el Tratamiento de las Aguas Residuales Ordinarias” por la facilitación del trabajo de graduación y el financiamiento proveído.

A Gretel Vega Alemán, administradora de AsoJunquillal y todos sus miembros, por su hospitalidad y atención y por brindarme la ayuda necesaria durante las giras realizadas al refugio.

A las profesoras Paola Vidal Rivera y María José Rodríguez Vásquez, por disponer de su tiempo como asesoras de este proyecto y las oportunas recomendaciones para su desarrollo.

A Ensio Pérez, por su colaboración ante la solicitud de préstamos de equipos requeridos para el desarrollo del proyecto.

A cada uno de los profesores de la Universidad de Costa Rica que contribuyeron con sus enseñanzas para mi formación profesional.



## RESUMEN

El Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal es una de las 169 áreas protegidas que se encuentran en Costa Rica. En este refugio se ofrecen servicios de ecoturismo que genera aguas residuales, por lo que el objetivo del proyecto fue realizar el diseño de un sistema de tratamiento por medio de un humedal artificial para las aguas residuales. Para esto, el proyecto se dividió en tres objetivos. El primero consistió en recoger todos los datos necesarios para el diseño por medio de la caracterización del sitio de estudio. El segundo consistió en el diseño de todo el sistema. El tercero consistió en la realización de un manual de operación y mantenimiento.

Para el cumplimiento del primer objetivo se realizó dos visitas al refugio. En las visitas se hizo un mapeo de las distintas áreas destinadas para los turistas. Dichas áreas son una zona de parqueo, zona de picnic, zona de camping y senderos. En cuanto a la topografía del terreno, se hizo un levantamiento por medio de un tránsito topográfico para obtener las curvas de nivel, con pendientes que van desde el 0% hasta el 3% de inclinación. Se realizó un total de tres pruebas de infiltración, encontrando que la infiltración del suelo cercano al mar es una infiltración baja con una tasa de 30 min/cm, mientras que, en zonas más alejadas del mar, se tiene una infiltración con una tasa promedio de 3,28 min/cm.

Se encontró que el consumo promedio de agua corresponde a 61,49 L/persona/día, dando a la generación de aguas residuales de tipo ordinario las cuales se caracterizaron con una concentración de 300 mg/L de DBO. En cuanto a la caracterización climática, se solicitó un registro de cinco años de datos de precipitación y temperatura de dos estaciones climáticas del IMN cercanas al sitio de estudio. La temperatura promedio es de 24,5 °C en el mes más frío, mientras que la precipitación anual promedio es de 1560 mm.

El segundo objetivo tuvo como finalidad el diseño de todos los componentes del sistema de tratamiento y determinar los costos asociados a la inversión del proyecto. Para esto se trabajó con un total de tres escenarios. El primer escenario asume que el vertido final se hace usando drenajes. El segundo escenario considera un sistema de riego superficial. El tercer escenario fue igual al segundo, pero usando dos humedales en paralelo. Los componentes que forman parte del sistema son trampas de grasas, interceptores de sólidos, tanques sépticos, tanques interceptores, el humedal artificial y el vertido final.

También se realizó el diseño de un sistema para reúso de aguas residuales tratadas en servicios sanitarios. El agua tratada es impulsada desde el tanque receptor, a la salida del humedal, hasta un tanque de almacenamiento, por medio de una bomba sumergible, y del tanque de almacenamiento se distribuye por medio de la gravedad. La red de tuberías fue diseñada usando el programa Epanet el cual es un software dedicado a la modelación de conducción de aguas a presión. El coste final del escenario uno fue de ₡ 19 480 942, mientras que del escenario dos fue de ₡ 14 653 980 y del escenario tres ₡ 14 736 730.

Por último, con el tercer objetivo se realizó un manual de operación y mantenimiento del sistema, basándose en el artículo 19 del Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (N° 31545-S-MINAE). Este reglamento describe el formato y contenido del manual de operación y mantenimiento.

## ÍNDICE GENERAL

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
1.1. <i>Justificación</i> .....	1
1.2. <i>Delimitación del problema</i> .....	2
1.3. <i>Objetivos</i> .....	4
1.3.1. <i>Objetivo general</i> .....	4
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	4
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	5
2.1. <i>Agua residual y sus características</i> .....	5
2.1.1. <i>Parámetros físicos de las aguas residuales</i> .....	5
2.1.2. <i>Parámetros químicos de las aguas residuales</i> .....	5
2.2.3. <i>Parámetros biológicos de las aguas residuales</i> .....	7
2.2. <i>Tratamiento de aguas residuales</i> .....	7
2.3. <i>Humedales artificiales</i> .....	9
2.3.1. <i>Tipos de humedales artificiales</i> .....	9
2.3.2. <i>Ventajas y desventajas de humedales artificiales</i> .....	12
2.3.3 <i>Diseño de humedales artificiales</i> .....	12
2.4. <i>Marco legal</i> .....	16
2.5. <i>Operación y mantenimiento</i> .....	17
<b>3. METODOLOGÍA</b> .....	18
3.1. <i>Descripción general</i> .....	18
3.2. <i>Caracterización del lugar de estudio</i> .....	18
3.2.1. <i>Caracterización del agua</i> .....	19
3.2.2. <i>Inventario de instalaciones sanitarias y reconocimiento espacial</i> .....	19
3.2.3. <i>Infiltración del suelo</i> .....	20
3.2.4. <i>Recolección de datos meteorológicos</i> .....	21
3.3. <i>Diseño del sistema para el tratamiento de aguas residuales</i> .....	21
3.3.1. <i>Diseño del pretratamiento</i> .....	21
3.3.2. <i>Diseño del tratamiento primario</i> .....	22
3.3.3. <i>Diseño de humedal artificial</i> .....	23
3.3.4. <i>Dimensionamiento de vertido final de aguas tratadas</i> .....	24
3.3.5. <i>Diseño de vertedero para medición de caudales</i> .....	27
3.3.6. <i>Dimensionamiento de tuberías para desagüe de aguas residuales y posicionamiento del sistema</i> .....	28

3.3.7. <i>Diseño de sistema para reúso de aguas tratadas en servicios sanitarios</i> .....	30
3.3.8. <i>Estimación de presupuesto del proyecto</i> .....	32
3.4. <i>Elaboración de manual de operación y mantenimiento</i> .....	32
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>33</b>
4.1. <i>Caracterización del sitio de estudio</i> .....	33
4.1.1. <i>Descripción de la infraestructura, reconocimiento espacial y altimetría del terreno</i> .....	33
4.1.2. <i>Manejo y caracterización del agua en el refugio</i> .....	36
4.1.3. <i>Infiltración del suelo</i> .....	41
4.1.4. <i>Caracterización climática</i> .....	42
4.1.5. <i>Resumen de datos requerido para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales</i> .	44
4.2. <i>Diseño del sistema de tratamiento y reúso de aguas residuales en el Refugio Nacional de Vida silvestre Bahía Junquillal</i> .....	45
4.2.1. <i>Dimensionamiento de pretratamiento por trampas de grasas</i> .....	47
4.2.2. <i>Dimensionamiento de pretratamiento por interceptor de sólidos</i> .....	47
4.2.3. <i>Diseño de tratamiento primario para aguas negras</i> .....	48
4.2.4. <i>Diseño de humedal artificial</i> .....	55
4.2.5. <i>Dimensionamiento del vertedor</i> .....	69
4.2.6. <i>Dimensionamiento de vertido final de aguas tratadas</i> .....	73
4.2.7. <i>Dimensionamiento de tuberías para desagüe de aguas residuales y posicionamiento del sistema</i> .....	79
4.2.8. <i>Diseño de sistema para reúso de aguas en servicios sanitarios</i> .....	91
4.2.9. <i>Estimación de presupuesto del proyecto</i> .....	103
4.3. <i>Manual de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento</i> .....	106
4.3.1. <i>Descripción del proceso de producción de aguas residuales</i> .....	106
4.3.2. <i>Procesos de tratamiento</i> .....	107
4.3.3. <i>Información básica de diseño</i> .....	109
4.3.4. <i>Personal</i> .....	110
4.3.5. <i>Equipo</i> .....	110
4.3.6. <i>Puesta en marcha</i> .....	110
4.3.7. <i>Operación</i> .....	111
4.3.8. <i>Control operacional</i> .....	111
4.3.9. <i>Posibles problemas</i> .....	112
4.3.10. <i>Mantenimiento</i> .....	112
4.3.11. <i>Desechos</i> .....	114

4.3.12. Reportes operacionales.....	115
4.3.13. Cuadro resumen.....	115
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>116</b>
5.1. Conclusiones.....	116
5.2. Recomendaciones.....	117
<b>6. REFERENCIAS.....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>121</b>
<i>Anexo 1. Registro de visitas en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal para los meses de enero a julio del año 2023.</i> .....	121
<i>Anexo 2. Respuesta del IMN ante la solicitud de datos de temperatura y precipitación de estaciones meteorológicas en La Cruz, Guanacaste.</i> .....	123
<i>Anexo 3. Datos de cotización de materiales realizados en ferretería San Carlos Liberia</i> .....	124
<i>Anexo 4. Cotización de trampas de grasa grupo Mucho Tanque</i> .....	126
<i>Anexo 5. Cotización La Casa del Tanque</i> .....	127
<i>Anexo 6. Cotización de geomembrana Coverttech</i> .....	128
<i>Anexo 7. Cotización plantas. Vivero Benavente y Vargas</i> .....	129
<i>Anexo 8. Manual de operación y mantenimiento</i> .....	130
<i>Anexo 9. Desglose de materiales y precios de cada escenario</i> .....	145
<i>Anexo 10. Toma de datos con equipo topográfico</i> .....	145
<i>Anexo 11. Memoria de cálculo de todas las configuraciones de humedal artificial</i> .....	145
<i>Anexo 12. Memoria de cálculo de tanque séptico</i> .....	145
<i>Anexo 13. Memoria de cálculo de drenajes</i> .....	145
<i>Anexo 14. Planos originales del sistema de tratamiento</i> .....	145

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de humedales artificiales (Kadlec & Wallace, 2009).....	10
Figura 2. Ilustración de humedal artificial de flujo superficial (Dotro et al., 2017).....	10
Figura 3. Ilustración de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal (Dotro et al, 2017) ..	11
Figura 4. Ilustración de humedal artificial de flujo subsuperficial vertical (Dotro et al., 2017) ..	11
Figura 5. Ubicación del Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal.....	18
Figura 6. Tránsito utilizado para levantamiento de niveles .....	20
Figura 7. Lectura del nivel de agua para medición de infiltración (Rosales, 2008) .....	20
Figura 8. Datos de entrada para cálculo de tirante en el software de Hcanales .....	27
Figura 9. Coeficientes de descarga para vertedero de cresta delgada en función de la carga hidráulica sobre la cresta del vertedero y ángulo de la abertura triangular (Sotelo, 1994).....	28
Figura 10. Ejemplo de ingresos de datos para una tubería en software Epanet.....	31
Figura 11. Ejemplo de curva característica de bomba hidráulica ingresada en Epanet .....	32
Figura 12. Vista en planta de la distribución del Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal.....	34
Figura 13. Curvas de nivel en la zona turística del Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal.....	36
Figura 14. Reservorio de almacenamiento de agua potable .....	37
Figura 15. Medidor de agua instalado en el refugio .....	37
Figura 16. Consumo registrado por medidor de agua en el periodo de Semana Santa del año 2023 .....	38
Figura 17. Cantidad de visitantes en el periodo de semana santa del año 2023 .....	38
Figura 18. Visitantes promedio mensuales en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal.....	39
Figura 19. Fosas sépticas para captación de aguas negras.....	40
Figura 20. Disposición final de aguas grises de duchas (a) y pilas (b).....	40
Figura 21. Pruebas de infiltración del suelo.....	41
Figura 22. Estimación de temperatura promedio mensual (año 2018-2023) en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal, a partir de las estaciones meteorológicas La Cruz y Santa Elena.....	43
Figura 23. Estimación de la precipitación promedio mensual (año 2018-2023) en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal, a partir de las estaciones La Cruz y Santa Elena ..	43
Figura 24. Diagrama de flujo de sistema para tratamiento de aguas residuales en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal (dibujo sin escala) .....	45
Figura 25. Representación de elevación de edificio de inodoros sobre el nivel del suelo.....	46
Figura 26. Planos constructivos de tanque séptico .....	54
Figura 27. Planos constructivos de humedal artificial .....	61
Figura 28. Planos constructivos de vista isométrica de humedal artificial .....	62
Figura 29. Detalle de vistas isométricas y en planta de tuberías de entrada y salida de humedal artificial .....	63
Figura 30. Planos constructivos de humedal artificial en paralelo .....	64
Figura 31. Planos constructivos de vista isométrica de humedal artificial en paralelo .....	65

Figura 32. Detalle de vistas isométricas y en planta de tuberías de entrada y salida de humedal artificial en paralelo .....	66
Figura 33. Planos constructivos de humedal de pilas en zona de camping para escenario 1 .....	67
Figura 34. Plantas ornamentales para uso del humedal artificial.....	68
Figura 35. Arreglo de siembra triangular para siembra de plantas en humedal artificial .....	69
Figura 36. Planos constructivos de vertedor para medición de caudales.....	72
Figura 37. Ejemplo de cálculo de tirante y velocidad para una tubería de 100 mm correspondiente al caudal de tres inodoros .....	81
Figura 38. Acomodo de unidades y tuberías del sistema de tratamiento del escenario 1 .....	83
Figura 39. Representación en 3D de acomodo del sistema de tratamiento para escenario 1 .....	84
Figura 40. Acomodo de unidades y tuberías del sistema de tratamiento del escenario 2.....	87
Figura 41. Acomodo de unidades y tuberías del sistema de tratamiento del escenario 2 con humedales en paralelo.....	88
Figura 42. Representación en 3D de acomodo del sistema de tratamiento para escenario 2 .....	89
Figura 43. Representación en 3D de acomodo del sistema de tratamiento para escenario 2 con humedales en paralelo.....	90
Figura 44. Diagrama de accesorios, sus coeficientes de pérdida y longitudes de tuberías para escenario 1 de reúso en servicios sanitarios (figura no está a escala).....	93
Figura 45. Modelo hidráulico en Epanet para tuberías de reúso de escenario 1 .....	95
Figura 46. Diagrama de accesorios, sus coeficientes de pérdida y longitudes de tuberías para escenario 2 de reúso en servicios sanitarios (figura no está a escala).....	96
Figura 47. Modelo hidráulico en Epanet para tuberías de reúso de escenario 2.....	97
Figura 48. Diagrama de sistema de bombeo para reúso de aguas tratadas (Figura sin escala) ....	98
Figura 49. Ubicación de sistema de reúso de aguas tratadas en servicios sanitarios para escenario 1.....	100
Figura 50. Ubicación de sistema de reúso de aguas tratadas en servicios sanitarios para escenario 2.....	101
Figura 51. Ubicación de sistema de reúso de aguas tratadas en servicios sanitarios para escenario 2 con humedales en paralelo .....	102
Figura 52. Distribución porcentual de inversión para construcción del escenario 1 del sistema de tratamiento. ....	104
Figura 53. Distribución porcentual de inversión para construcción del escenario 2 del sistema de tratamiento. ....	104
Figura 54. Diagrama del proceso de producción de aguas residuales en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal.....	106

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Constantes de remoción y coeficientes adimensionales a 20 °C para distintos tipos de remoción de contaminantes en humedales de flujo subsuperficial (Tanaka, 2011). .....	14
Tabla 2. Conductividad hidráulica de distintos tipos de sustrato en humedales artificiales según su diámetro efectivo y porosidad (Asprilla et al, 2020) .....	15
Tabla 3. Valores máximos permisibles para vertido de aguas residuales (MINAE, 2007) .....	16
Tabla 4. Criterios para dimensionamiento de interceptor de sólidos (CFIA, 2017).....	22
Tabla 5. Ecuaciones y variables para dimensionamiento del volumen de tanque séptico (CFIA, 2017) .....	22
Tabla 6. Configuraciones utilizadas para cálculo de área superficial de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal .....	24
Tabla 7. Ecuaciones y variables para dimensionamiento del drenaje de aguas tratadas al subsuelo (CFIA, 2017).....	25
Tabla 8. Ángulo de abertura triangular recomendado según el caudal del vertedero (Sotelo, 1994) .....	28
Tabla 9. Pendiente mínima de desagües según diámetro de conducto (CFIA, 2017) .....	29
Tabla 10. Cantidad de componentes sanitarios e información general del Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal .....	35
Tabla 11. Resultados de lámina infiltrada en el suelo en un intervalo de 30 minutos, bajo condiciones de saturación .....	42
Tabla 12. Resumen de resultados requeridos para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.....	44
Tabla 13. Criterios para dimensionamiento del volumen del tanque séptico .....	49
Tabla 14. Criterios para determinación de dimensiones de tanque séptico (MINAE, 2003) .....	50
Tabla 15. Resultados de dimensionamiento de tanque séptico para baños actuales.....	52
Tabla 16. Consideraciones para dimensionamiento de los humedales artificiales por medio del modelo de flujo de tapón modificado .....	55
Tabla 17. Resultados de dimensionamiento de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con totalidad del caudal tratado .....	58
Tabla 18. Resultados de dimensionamiento de dos humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal con 50 % de caudal tratado cada humedal.....	58
Tabla 19. Resultados de dimensionamiento de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal para pilas del camping en escenario 1 del sistema de tratamiento.....	59
Tabla 20. Cantidad de unidades de descarga total por parte de los accesorios sanitarios .....	69

Tabla 21. Dimensiones de vertedor de cresta delgada con forma triangular (unidades en metros)	71
Tabla 22. Criterios para dimensionamiento de zanjas de infiltración	73
Tabla 23. Resultados de dimensionamiento de zanjas de infiltración	75
Tabla 24. Resultados de diseño de tuberías para riego superficial de agua tratada	79
Tabla 25. Caudales para las tuberías de descarga de aguas residuales en el primer escenario	80
Tabla 26. Resultados de dimensionamiento de tuberías de descarga para escenario 1	81
Tabla 27. Caudales para las tuberías de descarga de aguas residuales en el segundo escenario	85
Tabla 28. Resultados de dimensionamiento de tuberías de descarga para escenario 2	86
Tabla 29. Coeficientes de pérdidas menores por accesorios en tuberías para reúso en escenario 1 (CFIA, 2017, Yunus & Cengel, 2012)	94
Tabla 30. Coeficientes de pérdidas menores por accesorios en tuberías para reúso en escenario 2 (CFIA, 2017, Yunus & Cengel, 2012)	96
Tabla 31. Resultados de dimensionamiento de tuberías para reúso de aguas tratadas en servicios sanitarios	98
Tabla 32. Inversión asociada a cada escenario para la construcción del sistema de tratamiento (Costos en colones)	103
Tabla 33. Inversión asociada a cada escenario para la construcción del sistema de tratamiento sin contemplar reúso de aguas tratadas (Costos en colones)	105
Tabla 34. Volúmenes y dimensiones características de las unidades del sistema de tratamiento	109
Tabla 35. Relación entre nivel de agua en el vertedor y su caudal	111
Tabla 36. Resumen de actividades de mantenimiento del sistema de tratamiento en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal	115



# 1. INTRODUCCIÓN

## *1.1. Justificación*

Según estadísticas mundiales, la mayoría de las actividades humanas en donde se hace uso del recurso hídrico dan a la generación aguas residuales. El agua es un recurso cuya demanda va en aumento, en consecuencia, se prevé que su contaminación vaya al alza. Se estima que, a nivel mundial el 80 % de las aguas residuales son vertidas al medio ambiente sin ningún tratamiento previo, generando problemas en el ambiente y en la salud humana (Programa mundial de las Naciones Unidas Para la Evaluación de los Recursos Hídricos [WWAP], 2017).

Costa Rica es un país que también presenta un rezago con respecto al saneamiento de aguas, dado que gran parte de estas son vertidas a ríos o mares sin ningún tratamiento previo. En lo que respecta a aguas residuales ordinarias, se estima una producción diaria de 966 455 m<sup>3</sup>/día, de la cual sólo 139 498,29 m<sup>3</sup>/día recibe tratamiento, representando únicamente un 14,43 % de cobertura en tratamiento de aguas residuales ordinarias (Acueductos y Alcantarillados [AyA], 2016).

Según la encuesta nacional de hogares realizada en el 2015, del total de aguas residuales ordinarias generadas, 21,4 % van a dar a un alcantarillado público, del cual el 8 % cuenta con conexión a una planta de tratamiento, mientras que 13,4 % representa alcantarillado que desfoga en receptores naturales sin ningún tratamiento. En la misma encuesta se muestra que el sistema con mayor uso para aguas residuales es el tanque séptico, en donde el 70 % de las viviendas del país hace uso de este (AyA, 2016).

El uso de tanques sépticos cumple el rol de bajar los niveles de contaminación del agua antes de ser vertida al ambiente por medio de un drenaje o pozo de infiltración, sin embargo, su presencia no es garantía de que no haya afectaciones ambientales. En muchos casos no hay control en su construcción, operación y mantenimiento. Los tanques sépticos requieren de un mantenimiento regular y remoción de lodos frecuente, sin embargo, en los costarricenses no existe una cultura de darles un mantenimiento adecuado (AyA, 2016). Además, la falta de buenas condiciones de infiltración en el terreno y carentes prácticas de mantenimiento hacen que los drenajes se saturen de grasas y de otros componentes orgánicos que generan obstrucciones. Estas obstrucciones provocan desbordes en el tanque séptico e impide la evacuación de las aguas residuales, generando el riesgo de contaminación ambiental y afectaciones en la salud pública (Rosales, 2008).

El tema del manejo de aguas residuales toma importancia debido a que además del daño ambiental que pueden generar, la disponibilidad del recurso hídrico está ligada a la calidad del agua. Esto se debe a que las aguas contaminadas pueden llegar a aguas superficiales y subterráneas, disminuyendo la disponibilidad de agua fácilmente potabilizable. También pueden contaminar las costas y los mares, lo que puede generar una contaminación cruzada en los casos de pesca, además de que la población puede tener un contacto directo con las aguas costeras contaminadas (AyA, 2016).

Por otra parte, se estima que la demanda mundial del agua va a ir en aumento debido al incremento poblacional, previendo para el año 2050 un aumento entre el 20 - 30 %. Del total de extracciones de agua, aproximadamente el 70% es destinada al uso agrícola, lo que evidencia la dependencia

de la alimentación en la disponibilidad de agua y reafirma la importancia del saneamiento de estas (WWAP, 2018).

En cuanto a aspectos legales, la Ley General de Salud y la Ley de conservación de Vida Silvestre prohíbe cualquier tipo de vertido de aguas residuales en cauces naturales, o al suelo por medio de drenaje sin un tratamiento previo (MINAE, 2003). En vista de esto, es recomendable buscar un sistema de tratamiento que modifique los actuales sistemas de tanque séptico y drenaje, de tal modo que se pueda evitar o disminuir el impacto negativo que estas generan en el ambiente y en la disponibilidad del recurso hídrico.

Para las zonas rurales con baja densidad poblacional, en donde no hay un sistema centralizado para tratamiento de aguas residuales, se considera que los sistemas de saneamiento individuales in situ son más apropiados (WWAP, 2017). Entre los sistemas de saneamiento individuales se pueden encontrar los humedales artificiales. Estos sistemas poseen la ventaja de que tienen una implementación de bajo costo, construcción sencilla y una operación y mantenimiento de tareas básicas que no requieren una alta capacitación por parte de los operarios (UN-HABITAT, 2008).

Por otra parte, buscar alternativas para el tratamiento de aguas residuales tienen un impacto positivo en los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) los cuales fueron establecidos por los estados miembros de las Naciones Unidas para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad de la población mundial (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015). Al disminuir el vertido de aguas residuales se contribuye a garantizar la disponibilidad de agua limpia y gestionar de forma sostenible el recurso hídrico, promoviendo el cumplimiento del objetivo 6, “agua limpia y saneamiento”. A su vez, se busca prevenir y reducir la contaminación marina, producto de las actividades humanas en donde se involucra el uso del agua, contribuyendo así con el cumplimiento del objetivo 14, “vida submarina” (ONU, 2015).

En vista de lo expuesto, el presente proyecto toma importancia para el diseño de un sistema de tanque séptico modificado con un humedal artificial, en donde las aguas producidas por medio de actividades turísticas podrán ser tratadas y vertidas de forma segura al ambiente o reusadas.

## *1.2. Delimitación del problema*

Según el decreto N° 34433, Reglamento a la Ley de Biodiversidad, un área silvestre protegida (ASP) es un espacio geográfico con importancia natural, cultural y socioeconómica, con el cual se deben cumplir determinados objetivos para la conservación de la biodiversidad (MINAE, 2008). En Costa Rica, hay un total de 169 áreas silvestres protegidas que representan el 26% del territorio nacional, entre las cuales se puede encontrar el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal. Geográficamente, se ubica en el Cantón de La Cruz, en la provincia de Guanacaste. El lugar posee una extensión de 505 hectáreas, además, cuenta con una reserva de bosque y una zona costera que posee playas con la categoría de Bandera Azul Ecológica de tres estrellas (Área de Conservación Guanacaste [ACG], 2012).

Bahía Junquillal, además de ser una zona de conservación, cuenta con servicios de ecoturismo como áreas de picnic, camping y caminata por senderos. En vista de esto, es requerido que también se brinden servicios para cubrir las necesidades básicas de los turistas, tales como presencia de duchas, pilas y servicios sanitarios, los cuales dan lugar a la generación de aguas residuales. La problemática con las aguas residuales radica en que no hay un funcionamiento correcto del tanque

séptico, de tal modo que en épocas de alta visitación se da el rebalse de las aguas negras por encima de la superficie y se generan atascos en los inodoros. Este rebalse del agua da generación de malos olores, además de que los animales silvestres interactúan con dichas aguas.

Según la Asociación Centroamericana para la Economía, la Salud y el Ambiente (ACEPESA, 2010) es necesario dar tratamiento a las aguas residuales ya que estas pueden producir un impacto negativo al ambiente, además de la producción de malos olores y vectores que transmiten enfermedades. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales pueden estar conformados por varias unidades colocadas en serie para que la remoción de contaminantes sea más eficiente (CFIA, 2017). Entre las unidades que conforman el sistema de tratamiento, es posible incorporar humedales artificiales. Un humedal artificial consiste en un sistema natural, en el que los componentes orgánicos contenidos en el agua interactúan con el sustrato y la flora del humedal para reducir los niveles de contaminación en el agua. El agua tratada puede ser integrada en cuerpos de agua, o puede plantearse su reúso (Ruiz, 2019).

En vista de lo expuesto y por solicitud de la administración del refugio, para el presente proyecto se tiene como objetivo implementar un sistema de tratamiento para las aguas grises y negras generadas debido a las actividades de turismo en Bahía Junquillal. Para esto, se realizó una visita al lugar para poder recolectar toda la información necesaria para el diseño, tales como la geografía, propiedades del suelo y del agua generada, además, observar la dinámica del uso del agua y determinar su caudal.

Como segundo paso, se realizó el diseño del sistema de tratamiento, contemplando el pretratamiento, tratamiento primario, el humedal artificial, el sistema de salida del agua para su almacenamiento y reúso, además de todos los componentes y accesorios que conformen parte del sistema. Como parte del diseño, se realizó la cotización del proyecto, con el fin de que el personal de la asociación para el apoyo y promoción del turismo en Bahía Junquillal (AsoJunquillal) pueda realizar un presupuesto para la implementación del proyecto. Por último, se realizó un manual de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento, detallando las tareas de tal modo que, en caso de implementarse, los trabajadores puedan aplicar las labores de mantenimiento para que el humedal funcione de manera óptima.

### *1.3. Objetivos*

#### *1.3.1. Objetivo general*

Diseñar un sistema de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal, ubicado en la Cruz, Guanacaste.

#### *1.3.2. Objetivos específicos*

1. Caracterizar el agua residual producida y el sitio del proyecto, por medio de aspectos geográficos, edáficos, climáticos y la infraestructura, para obtener la información requerida para el diseño de un humedal artificial.
2. Diseñar un sistema de tratamiento de aguas negras y grises por medio de un humedal artificial, para la reducción de sus contaminantes según la normativa nacional, con el fin de establecer actividades de reúso, tomando en consideración el costo de la implementación del proyecto.
3. Realizar un manual de operación y mantenimiento según lo descrito por el Reglamento de aprobación y operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, que sirva como guía para el personal encargado del humedal, en donde se detalle las tareas a realizar y la frecuencia de estas.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Agua residual y sus características

El agua residual, es aquella que por medio de su uso ha recibido la incorporación de agentes contaminantes generando la disminución de su calidad. Se reconocen dos tipos de aguas residuales, siendo estas las ordinarias y las especiales. Las aguas residuales ordinarias son las que se producen por actividades domésticas, como el uso de inodoros, duchas y lavatorios, generando aguas jabonosas, con grasas, heces y orina (MINAE, 2007, Lozano, 2012). Las aguas residuales especiales el MINAE (2007) las define como aquellas que son diferentes a las ordinarias, en donde puede darse la presencia de residuos de procesos productivos por parte de la industria, además, pueden tener composición muy variable (Lozano, 2012).

Existe una serie de parámetros que permiten caracterizar la composición de las aguas residuales, los cuales funcionan como una medición de la calidad del agua. Estos parámetros se pueden agrupar en características físicas, químicas y biológicas (AyA, 2016). A continuación, se explican cada uno de estos grupos, haciendo énfasis en los parámetros considerados de análisis obligatorio según el reglamento de vertido y reúso de aguas residuales (MINAE, 2007).

#### 2.1.1. Parámetros físicos de las aguas residuales

Sólidos suspendidos: son aquellas partículas sólidas que son visibles y flotan en el agua, las cuales pueden ser removidas por medios físicos o mecánicos. Sirven como un indicador del impacto que tendrán las aguas residuales al verterlas sobre un cuerpo receptor, ya que la acumulación de estos genera efluentes turbios y lodos. Según su capacidad de sedimentación, se pueden clasificar entre sólidos sedimentables y no sedimentables (AyA, 2016).

Sólidos sedimentables: es aquella parte de los sólidos suspendidos con la capacidad de sedimentar en el fondo de un recipiente (AyA, 2016). Para determinar la cantidad de sólidos sedimentables se hace uso del cono Imhoff, en donde se deposita un litro de agua en el cono, y al paso de 60 minutos se realiza la lectura de la fracción sedimentada en ese litro (Metcalf & Eddy, 2004).

Temperatura: la temperatura de las aguas residuales generalmente es mayor que la temperatura del agua suministrada para consumo humano, esto debido a la adición de agua caliente desde las viviendas o de actividades industriales (Metcalf & Eddy, 2004). Su importancia reside en su influencia del desarrollo de la vida acuática. Además, incide en la capacidad de biodegradación por parte de las bacterias en el agua. Aquellas aguas con un excedente de temperatura promueven la proliferación de hongos y plantas acuáticas no deseadas. (AyA, 2016).

#### 2.1.2. Parámetros químicos de las aguas residuales

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO): es una medida en el consumo de oxígeno por parte de los microorganismos en la oxidación de la materia orgánica. Esta prueba normalmente dura cinco días, por lo que usualmente se le designa como DBO<sub>5</sub> (Kadlec & Wallace, 2009). La cantidad de oxígeno consumido se asocia con la actividad microbiana en el agua, la cual es la que degrada la materia orgánica, por lo que la DBO funciona como una medición indirecta de la cantidad de materia orgánica en el agua (Lozano, 2012).

Para aguas residuales de origen domiciliario, se pueden encontrar varias referencias que dan un indicativo a cuánto corresponde el DBO para este tipo de aguas. Metcalf & Eddy (2004) reportan la composición típica de las aguas residuales domésticas en los Estados Unidos, basado en un consumo promedio de agua de 790, 460 y 240 L/persona/día para concentraciones de carga orgánica bajas, medias y altas respectivamente. En promedio, el DBO se reporta en una concentración de 110, 190 y 350 mg/L para los caudales antes mencionados en orden el respectivo.

Kadlec & Wallace (2009) hacen una diferenciación de aguas domésticas completamente crudas y aquellas resultantes del efluente de un tanque séptico. Para aguas completamente crudas reportan un rango entre 210-530 mg/L de DBO, siendo 450 mg/L es valor más típico. Por otra parte, para aquellas aguas que salen de un tanque séptico, con las cuales ya se ha sedimentado parte de su materia orgánica, se reporta un DBO entre 140-200 mg/L, siendo 190 mg/L el valor más típico.

Muttamara (1996) realizó un análisis de datos de la composición de aguas residuales de distintos municipios, en donde menciona que la composición típica de aguas domésticas puede ir desde los 110, 220 y 400 mg/L para aguas livianas, medianas o pesadas respectivamente. Cabe destacar el énfasis que se hace en que la composición del agua puede variar según la hora del día, día de la semana o mes del año, por lo que se da los distintos rangos de la carga orgánica.

La FAO (*s.f*) también menciona valores generales para la composición de las aguas residuales domésticas. Al igual que casos anteriores, el DBO lo clasifican en una carga orgánica débil, mediana o fuerte, yendo desde los 100, 200 o 300 mg/L de DBO. Por su parte, Sperling (2007) menciona un valor único de carga orgánica en aguas residuales domésticas para países en desarrollo, siendo este de 300 mg/L de DBO, mismo valor que utiliza Solano (2019) para el diseño de tratamiento de aguas residuales para una urbanización.

Picado (2016) realizó evaluaciones de aguas residuales domiciliarias (aguas grises con aguas negras) en urbanizaciones nacionales, con el fin de evaluar el rendimiento de los sistemas de tratamiento. Estos sistemas consisten en tanques sépticos conectados a un filtro anaerobio de flujo ascendente. Las evaluaciones se realizaron en un complejo de apartamentos y un complejo de condominios, ambos ubicados en la zona de Escazú. Entre las mediciones realizadas se encontró la medición del DBO, el cual fue medido a partir de muestras tomadas en la entrada y la salida de los sistemas de tratamiento. En el caso de los apartamentos, se obtuvo un DBO promedio de 327,98 mg/L, mientras que en el caso de los condominios de obtuvo un DBO promedio de 289,63 mg/L, encontrándose dentro de los rangos expuestos en las consultas bibliográficas previas.

Con base en todas las consultas realizadas, se puede observar que las aguas residuales de origen domiciliario pueden contener desde 100 mg/L de DBO hasta 400 mg/L de DBO. Las variaciones estarán en función de las prácticas realizadas en el domicilio en donde se originan las aguas.

Demanda química de oxígeno (DQO): es la cantidad de oxígeno consumida en reacciones químicas, en donde por medio de oxidantes se degrada la materia orgánica contenida en el agua (Alianza por el agua, 2008). Las reacciones generadas para medir el DQO también degrada otros compuestos además de los orgánicos, por lo que su medición es mayor que la del DBO (Kadlec & Wallace, 2009).

Por medio de la relación entre el DBO y el DQO (DBO/DQO) se puede determinar la biodegradabilidad de las aguas residuales. Si esta relación es mayor o igual a 0,4 indica que las aguas son muy biodegradables, entre 0,2-0,4 son biodegradables, mientras que una relación menor a 0,2 indica aguas poco biodegradables (Alianza por el agua, 2008).

Potencial de hidrógeno (pH): expresa la concentración del ion hidrógeno presente en el agua (Metcalf & Eddy, 2004). Aquellos valores alejados de un pH neutro (fuera de la escala entre 5-9) pueden generar afectaciones en la vida acuática y en el desarrollo de los microorganismos que ayudan en la degradación de la materia orgánica presente en el agua, dificultando el tratamiento de aguas residuales (AyA, 2016).

Sustancias activas al azul de metileno (SAAM): son sustancias que reaccionan con moléculas utilizadas para sintetizar detergentes. Su presencia en las aguas residuales da lugar a la generación de espumas además de contener grandes cantidades de nutrientes como el fósforo (AyA, 2016).

Nitrógeno total: consiste en el conjunto de las distintas formas en que el nitrógeno se puede presentar en las aguas residuales. El contenido total de nitrógeno se presenta principalmente en formas de nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico. La presencia de nitrógeno en altas concentraciones genera disminuciones en el oxígeno disuelto en el agua, además de toxicidad en las distintas formas de vida marina (Delgadillo et al, 2010). Valores altos de nitrógeno amoniacal que superen los 1500 mg/L genera inhibiciones de los microorganismos, generando una disminución en el rendimiento del tratamiento de las aguas residuales (Lozano, 2012).

Fosfatos: el fósforo es un nutriente esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos (Metcalf & Eddy, 2004) por lo que su vertido en cuerpos de aguas puede estimular el crecimiento de organismos fotosintéticos generando problemas de eutrofización de las aguas (Delgadillo et al, 2010).

### *2.2.3. Parámetros biológicos de las aguas residuales*

En las aguas residuales se pueden encontrar una gran variedad de agentes biológicos tales como protozoos, hongos, virus, algas y bacterias, los cuales pueden ser beneficiosos o perjudiciales para la salud humana. Desde un punto de vista patológico, los organismos que son perjudiciales para la salud humana tienen su origen principalmente en las heces humanas, por lo que uno de los indicadores de contaminación fecal mayormente utilizados es el conteo de coliformes fecales. Por otra parte, hay bacterias que son de especial interés en los sistemas de tratamiento de aguas, ya que estas son las encargadas de la degradación de la materia orgánica y de dar tratamiento a las aguas residuales (AyA, 2016).

### *2.2. Tratamiento de aguas residuales*

Una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) consiste en una serie de procesos y operaciones unitarias cuyo fin es la reducción de contaminantes de las aguas residuales antes de su disposición final en un cuerpo receptor. El fin de las operaciones como el de los procesos es bajar la carga contaminante del agua residual, sin embargo, se diferencian en que las operaciones se basan en métodos físicos, mientras que los procesos en métodos químicos y biológicos que resultan en la transformación de la materia. El conjunto de operaciones y procesos dan como resultado el tren de tratamiento para las aguas residuales, el cual se divide en pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario (Lozano, 2012).

En el pretratamiento se utilizan medios físicos para la remoción de sólidos gruesos, arenas, grasas y aceites presentes en el agua residual, los cuales pueden generar afectaciones operacionales y aumentar la frecuencia de mantenimiento en los equipos y componentes del sistema de tratamiento. Generalmente las operaciones del pretratamiento se constituyen por las siguientes etapas:

- Cribado o desbaste: en esta etapa se retiran elementos flotantes que puedan generar obstrucciones en tuberías y equipos. Estos elementos pueden ser basura como piedras, botellas, ramas, trozos de madera, entre otros (Comisión Nacional del Agua [CONAGUA], 2019). El desbaste se realiza por medio de la instalación de rejillas metálicas, cuyo diseño, tamaño, separación entre barrotes y operación va a depender del tipo de agua a tratar (Lozano, 2012).
- Desarenado: consiste en la remoción de las partículas de arenas en las aguas residuales, ya que dichas partículas resultan abrasivas para las tuberías y los distintos equipos en un sistema de tratamiento. En el desarenado se lleva el agua a una velocidad tal que permita la sedimentación de las partículas de arena, y a su vez, que esta velocidad no vaya a permitir el asentamiento de las partículas orgánicas, las cuales se tratan en etapas posteriores (Lozano, 2012).
- Desengrasado: el objetivo del desengrasado es la remoción de grasas y aceites suspendidas en el agua. Para la remoción de grasas a pequeña escala se suelen usar trampas de grasas (Lozano, 2012), sin embargo, a mayor escala se suele usar la flotación por aire disuelto (FAD). En LA FAD se separan las emulsiones y partículas sólidas del agua por medio de las burbujas generadas por un aireador (Romero, 2004).
- Igualación y homogenización: en la igualación no se realiza la remoción de objetos físicos, sin embargo, es una operación importante ya que permite amortiguar las variaciones de caudal para que este sea aproximadamente constante. Por otra parte, en el igualamiento se regula las características fisicoquímicas variables de las aguas residuales, tales como el pH, de tal modo que se minimiza las dosificaciones necesarias de neutralización (Romero, 2004).

En el tratamiento primario el objetivo es remover la materia en suspensión, principalmente orgánica, que no fue eliminada en el pretratamiento. Las partículas en suspensión son eliminadas principalmente por medios físicos, sin embargo, el proceso puede ser asistido con floculantes para lograr la conglomeración de partículas y la decantación de estas (Lozano, 2012).

Entre las operaciones o procesos del tratamiento primario se pueden encontrar el uso de rejillas finas, tamices, decantadores y sedimentadores, entre los cuales se encuentran los tanques sépticos (Lozano, 2012). Un tanque séptico es un sistema de tratamiento individual en donde por medios anaerobios se da la degradación de la materia orgánica (CFIA, 2017). La materia orgánica pesada que entra al tanque séptico es decantada hacia el fondo, mientras que las partículas flotantes como las grasas y aceites se acumulan en la parte superior del tanque. Al dar un tiempo de retención hidráulica adecuado, se da la degradación de la materia orgánica por medio de la biodigestión bacteriana (Rosales, 2008).

En el tratamiento secundario se hace el uso de medios biológicos tales como los microorganismos para remover los sólidos disueltos en el agua que no son decantables. La materia orgánica es biodegradada convirtiéndola en gases y en biomasa la cual puede ser separada por sedimentación. Cabe destacar que el rendimiento de reducción del DBO y sólidos solubles totales en el tratamiento



secundario es aproximadamente del 85 %, sin embargo, no se tiene reducciones significativas en nutrientes como el fósforo y nitrógeno, ni en metales pesados (Lozano, 2012).

En el tratamiento terciario es en donde se da la reducción de aquellos componentes que no pudieron ser eliminados en el tratamiento secundario, tales como el nitrógeno y el fósforo debido su naturaleza de no ser biodegradables. En el tratamiento terciario se suelen encontrar procesos de nitrificación y desnitrificación, por medio del uso de reactores aerobios y anaerobios. Además, se dan procesos de desinfección por distintos medios tales como el uso de cloro, ozono, aplicación de rayos UV, entre otros (Lozano, 2012).

### *2.3. Humedales artificiales*

Un humedal artificial consiste en una excavación la cual es rellena con un medio filtrante, compuesto generalmente de arena o grava que funciona como sustrato, en el cual se realiza la siembra de vegetación. Las aguas residuales se introducen en el humedal, fluyen a través del sustrato y se descargan a través de una estructura que controla la profundidad de las aguas residuales, de tal modo que se reduce la contaminación del agua (UN-HABITAT, 2008).

El principio de funcionamiento de los humedales artificiales se basa en la interacción de sus componentes, los cuales son el sustrato, vegetación y microorganismos. El sustrato funciona como medio de anclaje para las plantas, además que retiene los nutrientes como el fósforo y el nitrógeno para que las plantas puedan hacer uso de estos y es el medio en donde se da el desarrollo de los microorganismos (Delgadillo et al, 2010).

Las plantas a través de sus raíces proporcionan un medio apto para la formación y unión de biopelículas microbianas, lo que permite el aumento de la actividad biológica por unidad de área de tratamiento. Por otra parte, las plantas aportan oxígeno en la zona de la rizosfera, lo que promueve los procesos microbianos aeróbicos (Dotro et al., 2017).

Los microorganismos son los encargados de realizar el tratamiento biológico por medio de la degradación de la materia orgánica, y de la eliminación de nutrientes por medio de procesos de nitrificación y desnitrificación. Los principales organismos presentes en los humedales artificiales se tratan de bacterias, levaduras, hongos y protozoarios. El tratamiento de las aguas residuales se basa en que los microorganismos transformen los elementos contaminantes en otros elementos inocuos o menos dañinos los cuales son liberados a la atmósfera, tales como el nitrógeno gaseoso y el dióxido de carbono (Delgadillo et al, 2010).

#### *2.3.1. Tipos de humedales artificiales*

Se pueden encontrar distintas configuraciones de humedales artificiales, las cuales se pueden clasificar en dos grupos según el tipo de flujo de agua, ya sea flujo superficial o flujo subsuperficial. A su vez, los humedales de flujo superficial se pueden clasificar según la disposición de las plantas (plantas flotantes, plantas sumergidas, plantas emergentes) mientras que los humedales de flujo subsuperficial según la dirección de flujo el agua (flujo horizontal y flujo vertical) (Kadlec & Wallace, 2009). Se muestra un esquema de la clasificación de los humedales artificiales en la Figura 1.

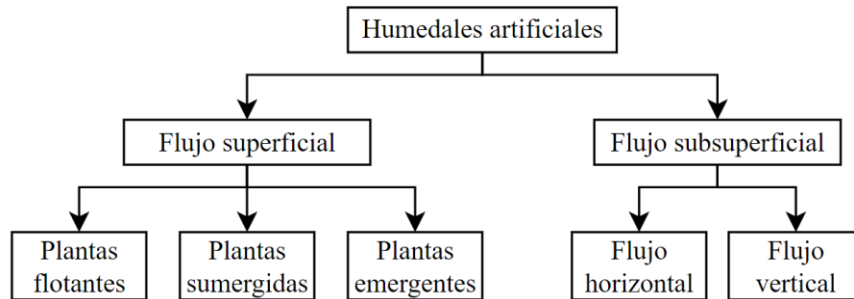


Figura 1. Clasificación de humedales artificiales (Kadlec & Wallace, 2009)

Los humedales de flujo superficial libre son aquellos que contienen áreas de aguas abiertas con vegetación flotante o emergente, con una apariencia similar a pantanos naturales. Dado que el agua a tratar se encuentra expuesta, hay un mayor potencial de que los humanos se vean expuestos a patógenos, por lo que no es común su aplicación en tratamientos secundarios. Su aplicación más frecuente es para procesos avanzados de efluentes de tratamientos secundarios o terciarios. (Kadlec & Wallace, 2009). Se muestra una ilustración de humedales de flujo superficial en la Figura 2.

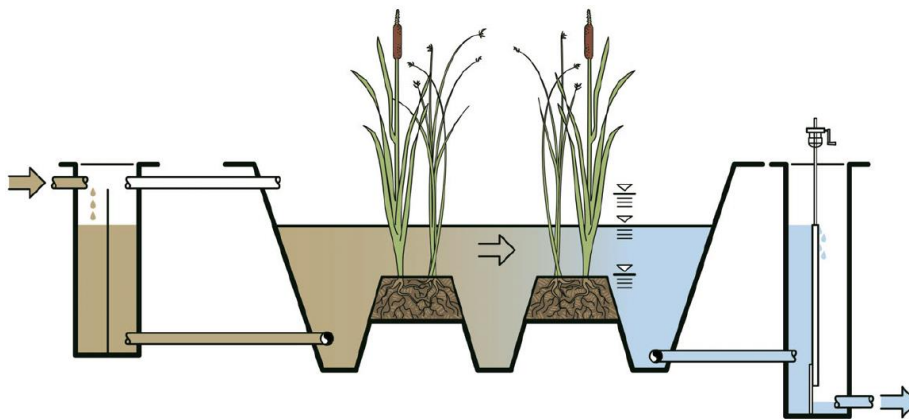


Figura 2. Ilustración de humedal artificial de flujo superficial (Dotro et al., 2017)

Los humedales de flujo subsuperficial horizontal consisten en un lecho de grava que funciona como sustrato en el cual se planta la vegetación del humedal. El agua residual entra al sistema de tratamiento por un extremo, fluye a través del medio de grava y se recolecta en el extremo opuesto del lecho antes de ser descargada (Dotro et al., 2017).

El humedal es diseñado de tal modo que el agua residual permanece de forma permanente por debajo de la superficie de la grava, evitando su exposición, por lo que se minimiza el riesgo asociado con la exposición humana o de la vida silvestre a organismos patógenos. Estos humedales se utilizan generalmente para el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas, sin embargo, la capacidad de nitrificación y eliminación de amoníaco es restringida con este tipo de humedales (Kadlec & Wallace, 2009). Se muestra una ilustración de humedales de flujo subsuperficial horizontal en la Figura 3.

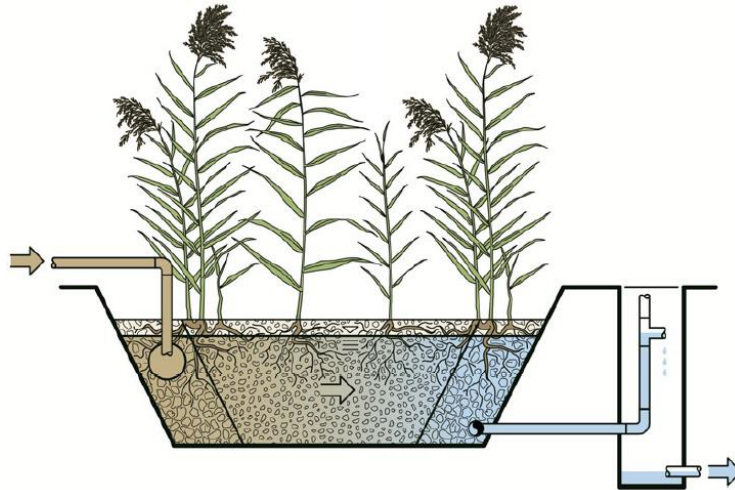


Figura 3. Ilustración de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal (Dotro et al, 2017)

Los humedales de flujo subsuperficial vertical están compuestos por un lecho de arena y grava, o únicamente grava, en donde se planta la vegetación. A diferencia de los humedales de flujo horizontal, en los de flujo vertical las aguas residuales se alimentan desde la parte superior de forma intermitente y luego se filtran gradualmente a través del lecho hasta que son recolectadas por una red de drenaje en la base. En cada carga, el humedal se alimenta de grandes cantidades de agua, de tal forma que se inunda la superficie, sin embargo, la dosificación permite la aireación del agua, dando lugar a una buena transferencia de oxígeno a través del medio poroso (UN-HABITAT, 2008).

El grado de oxigenación en los humedales de flujo vertical es mayor que en los de flujo horizontal, dando lugar a una mayor cantidad de procesos microbianos aeróbicos, favoreciendo la nitrificación en el agua y la oxidación del amoníaco. A pesar de esto, la aplicación principal de este tipo de humedales se encuentra en el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas, en donde los niveles de amoníaco no suelen ser elevados (Kadlec & Wallace, 2009). Se muestra una ilustración de humedales de flujo subsuperficial vertical en la Figura 4.

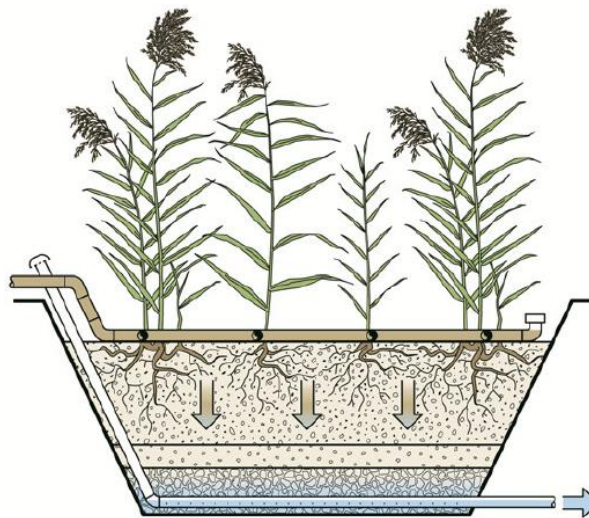


Figura 4. Ilustración de humedal artificial de flujo subsuperficial vertical (Dotro et al., 2017)

### 2.3.2. *Ventajas y desventajas de humedales artificiales*

Los humedales artificiales son una tecnología de uso eficiente, bajos costos, fácil implementación y uso, sin embargo, hay una serie de desventajas en su aplicación, por lo que se muestra un listado de ventajas y desventajas del uso de humedales artificiales (Tanaka, 2011).

#### Ventajas:

- La implementación de humedales artificiales es más económica que sistemas de tratamiento convencionales.
- Se requiere menor inversión de recursos en su operación y mantenimiento.
- El requerimiento energético es casi nulo, o completamente nulo para la mayoría de las aplicaciones, trabajando únicamente por gravedad.
- Adaptabilidad a variaciones de cargas orgánicas e hidráulicas.
- Se proporciona un hábitat para el incremento de la biodiversidad, además de proporcionar escenarios estéticos con su vegetación.

#### Desventajas:

- Su principal desventaja es que es un sistema de tratamiento extensivo, por lo que requiere áreas grandes de terreno para su construcción.
- Los componentes biológicos como los microorganismos y plantas son susceptibles a altas concentraciones de agentes tóxicos, por lo que el exceso de estos agentes puede afectar el rendimiento del tratamiento.
- Si no son operados de forma correcta se pueden presentar obstrucciones en el sustrato, lo que es conocido como colmatación.
- Inicialmente el humedal no funciona al 100 % de su capacidad, ya que requiere un tiempo de adaptación y de desarrollo de la microbiología en el sustrato.

### 2.3.3 *Diseño de humedales artificiales*

En esta sección se describirá las ecuaciones y los criterios para tener en cuenta en el diseño de un humedal artificial, en donde se hará énfasis en los humedales artificiales de flujo subsuperficial. Para el diseño de los humedales artificiales hay que tener en consideración dos tipos de dimensionamiento. El dimensionamiento basado en el tratamiento biológico y el dimensionamiento basado en la hidráulica a través de un medio poroso.

El diseño basado en el tratamiento biológico es aquel que permitirá la reducción de los contaminantes en el agua gracias a la actividad microbiana. Por otra parte, el diseño basado en la hidráulica es aquel que permitirá dar al humedal las dimensiones adecuadas para que el agua pueda fluir libremente a través del lecho poroso de tal modo que se evite desbordamientos y flujos superficiales.

### 2.3.3.1. Dimensionamiento basado en parámetros microbiológicos

En el diseño de humedales artificiales, se busca encontrar una relación entre las dimensiones de este, el caudal entrante y la concentración de contaminantes entrantes para poder bajar la carga contaminante a una concentración en específico. El objetivo de esto es obtener un tiempo de retención hidráulica lo suficientemente largo para que los microorganismos puedan interactuar con la materia orgánica, degradándola hasta un punto deseado (Dotro et al., 2017).

Durante las últimas décadas se han desarrollado una serie de modelos matemáticos que describen la eliminación de contaminantes en los humedales artificiales, conocidos como modelos de caja negra (Dotro et al., 2017). En la literatura se pueden encontrar distintos modelos de caja negra, entre los cuales se encuentra el modelo de flujo de tapón. Este modelo supone que el humedal artificial es un reactor biológico en crecimiento, en donde se dan reacciones químicas de primer orden que siguen velocidades homogéneas e irreversibles (Kincanon & McAnally, 2004).

En el modelo de flujo de tapón, se asume que la totalidad de los contaminantes son eliminados, sin embargo, esto no es algo que realmente sucede ya que hay una acumulación residual de los contaminantes en el sustrato. Debido a esto, se introduce un parámetro adicional el cual corresponde a una concentración base ( $C^*$ ) dando como resultado el modelo de flujo de tapón modificado (Kadlec & Knight, 1996) el cual se muestra en la ecuación [1].

$$\frac{C_i - C^*}{C_e - C^*} = e^{-K_T * TRH} \quad [1]$$

Donde:

- $C_i$ : concentración contaminante del influente (mg/L)
- $C_e$ : concentración contaminante del efluente (mg/L)
- $C^*$ : concentración base (mg/L)
- $K_T$ : constante de remoción de primer orden a una temperatura específica (m/d)
- $TRH$ : tiempo de retención hidráulica (d)

Según Kadlec & Knight (1996), la concentración base ( $C^*$ ) va a depender del tipo de humedal que se esté usando y del tipo de contaminante que se quiera tratar. De forma generalizada, la concentración base se puede adaptar a una regresión lineal según se muestra en la ecuación [2].

$$C^* = b + m * C_i \quad [2]$$

Donde “b” y “m” son constantes de la regresión. Cuando el contaminante objetivo es el DBO en un humedal de flujo subsuperficial, las constantes “b” y “m” se aproximan a un valor de 3,5 y 0,053 respectivamente, dando como resultado la ecuación [3].

$$C^* = 3,5 + 0,053C_i \quad [3]$$

Por otra parte, en la ecuación [1] se tiene el término de la constante de remoción de primer orden ( $K_T$ ), la cual determina la tasa de reacción de la degradación de la mayoría de los contaminantes en función de la temperatura. El efecto que tiene la temperatura en sistemas de tratamiento biológico se puede describir por medio de la ecuación de Arrhenius, la cual es mostrada en la ecuación [4] (Kadlec & Knight, 1996).

$$K_T = K_{20} \theta^{(T-20)} \quad [4]$$

Donde:

- $K_{20}$ : es una constante de remoción a una temperatura de 20°C ( $d^{-1}$ ).
- $\theta$ : es un coeficiente de temperatura adimensional
- $T$ : es la temperatura del agua (°C).

Un coeficiente de temperatura  $\theta = 1$ , indica que la remoción de los contaminantes no es influenciada por la temperatura. Con  $\theta > 1$ , la tasa de remoción de los contaminantes aumenta con la temperatura. Caso contrario, si  $\theta < 1$ , la tasa de remoción de los contaminantes disminuye con la temperatura (Kadlec & Knight, 1996).

La constante de remoción a una temperatura de 20 °C y el coeficiente de temperatura adimensional también se ven influenciados por el tipo de humedal artificial utilizado y el tipo de contaminante que se quiera tratar. Se muestra en la Tabla 1 distintos valores de constantes para humedales de flujo subsuperficial.

Tabla 1. Constantes de remoción y coeficientes adimensionales a 20 °C para distintos tipos de remoción de contaminantes en humedales de flujo subsuperficial (Tanaka, 2011, Kadlec & Knight, 1996).

Contaminante	$\theta$	$K_{20}$
DBO	1,060	1,104
Nitrificación	1,048	0,411
Desnitrificación	1,150	1,000
Remoción de patógenos	1,190	2,600

Al combinar las ecuaciones [1], [3] y [4], y al sustituir las constantes respectivas para el DBO mostradas en la Tabla 1, se pueden obtener las expresiones mediante las cuales se calculan el área superficial requerida en el humedal artificial para bajar la carga orgánica al valor deseado. Se muestra el despeje del área superficial de la ecuación [1] y el cálculo de la constante de remoción de primer orden para el DBO en las ecuaciones [5] y [6] respectivamente.

$$A_s = \frac{Q \cdot \ln\left(\frac{C_i - C^*}{C_e - C^*}\right)}{K_T \cdot P \cdot \eta} \quad [5]$$

$$K_T = 1,104 \cdot 1,060^{(T-20)} \quad [6]$$

Donde:

- $A_s$ : es el área superficial del humedal artificial
- $Q$ : caudal de diseño ( $m^3/d$ )
- $C_i$ : concentración contaminante del influente (mg/L)
- $C_e$ : concentración contaminante del efluente (mg/L)
- $C^*$ : concentración base (mg/L)
- $K_T$ : constante de remoción de primer orden a una temperatura específica (m/d)
- $P$ : Profundidad del agua en el sustrato
- $\eta$ : porosidad del sustrato
- $T$ : temperatura del agua (°C)

### 2.3.3.2. Dimensionamiento basado en parámetros hidráulicos

En un humedal artificial, el sustrato se compone de un medio poroso, por lo que es requerido describir el flujo a través de un medio de esta naturaleza. Este tipo de flujo se puede representar por medio de la ley de Darcy. En la ley de Darcy se toma en consideración el comportamiento del caudal en función de la conductividad hidráulica del medio poroso, el área de sección transversal del flujo y el gradiente hidráulico, el cual se puede aproximar como la pendiente del fondo del humedal (Kadlec & Wallace, 2009).

Es posible despejar el área de sección transversal desde la ley de Darcy, en donde se obtendrá el área transversal mínima que debe tener el humedal artificial para permitir que el agua fluya únicamente a través de la grava sin que se genere desbordamientos ni flujos superficiales. Se presenta el cálculo de esta área por medio de la ecuación [7] (Delgadillo et al., 2010).

$$A_T = \frac{Q}{K_S * S} \quad [7]$$

Donde:

$A_T$ : área de sección transversal ( $m^2$ )

$Q$ : caudal de diseño ( $m^3/d$ )

$K_S$ : conductividad hidráulica del sustrato ( $m/d$ )

$S$ : pendiente del fondo del humedal ( $m/m$ )

Se han registrado distintos valores de conductividad hidráulica para sustratos que son usados de forma típica en humedales artificiales. Se muestra en la Tabla 2 una aproximación de la conductividad hidráulica para lechos de arena y grava en función de su diámetro y su porosidad.

Tabla 2. Conductividad hidráulica de distintos tipos de sustrato en humedales artificiales según su diámetro efectivo y porosidad (Asprilla et al, 2020)

Sustrato	Tamaño efectivo (mm)	Porosidad $\eta$ (%)	Conductividad hidráulica, $K_H$ (m/d)
Arena media	1	30	500
Arena gruesa	2	32	1 000
Arena y grava	8	35	5 000
Grava media	32	40	10 000
Grava gruesa	128	45	100 000

Hay que tener en consideración que conforme avanza el funcionamiento de un humedal artificial, se va desarrollando una biomasa compuesta de biopelículas microbianas que se adhieren al sustrato, además, que se da el desarrollo radicular de las plantas. Este desarrollo de biomasa genera una disminución de la conductividad hidráulica debido a que se rellenan espacios porosos, generando mayor resistencia al flujo del agua (Wallace & Knight, 2006).

Debido a esto, es requerido realizar un ajuste a la conductividad hidráulica del sustrato completamente limpio. Para efectos de diseño Kadlec & Knight (1996) recomiendan utilizar un

máximo del 10 % de la conductividad hidráulica del lecho limpio, por lo que, por ejemplo, para la grava media mostrada en la Tabla 2 la conductividad hidráulica de diseño va a ser de 1000 m/d.

#### 2.4. Marco legal

En cuanto a la temática de aguas residuales, en Costa Rica se pueden encontrar varias normas y leyes que tienen como objetivo lograr una gestión adecuada del saneamiento. El cumplimiento de estas normas es de carácter obligatorio, por lo que es de suma importancia tomar en consideración el marco legal del país para el diseño en sistemas de tratamiento (AyA, 2016).

Entre los reglamentos y normas a tomar en consideración para el diseño de un humedal artificial se encuentran: Reglamento para la Disposición al Subsuelo de Aguas Residuales Ordinarias Tratadas (N°42075-S-MINAE), Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (N° 31545-S-MINAE) y el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales. Este último determina la concentración máxima de contaminantes que debe contener el agua al salir de un sistema de tratamiento, ya sea para ser vertida en un alcantarillado sanitario o en un cuerpo receptor. Se muestran dichos límites en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores máximos permisibles para vertido de aguas residuales (MINAE, 2007)

<b>Parámetro</b>	<b>Alcantarillado sanitario</b>	<b>Cuerpo receptor</b>
DBO (mg/L)	300	50
DQO (mg/L)	750	150
Sólidos suspendidos (mg/L)	300	50
Grasas y aceites (mg/L)	50	30
Potencial de hidrógeno (pH)	6-9	5-9
Temperatura (°C)	15-20	15-40
Sólidos sedimentables (mg/L)	5	1
Sustancias activas al azul de metileno (mg/L)	5	5

Por otra parte, el reglamento de vertido y reúso de aguas residuales permite el reúso de aguas tratadas, dividiéndolo en 8 tipos de reúso. Cabe destacar que bajo ningún concepto se permite el reúso para consumo humano. Se muestran los distintos tipos de reúso a continuación:

- Reúso urbano: riego de zonas verdes con acceso al público (campos de golf, parques plazas deportivas y cementerios), lavado de autos, combate contra incendios y reúso para servicios sanitarios.
- Riego con acceso restringido: riego de pastos, silvicultura y zonas con acceso restringido al público.
- Riego de cultivos agrícolas que no son procesados: se incluye el riego superficial y por aspersión para cultivos que no son procesados previos a su venta, incluido aquellos que se consumen crudos.
- Riego de cultivos agrícolas que se procesan previo a su venta: se permite el riego para cultivos que son procesados con la salvedad que deben aplicar procesos físicos o químicos para la destrucción de posibles patógenos.



- Riego en cultivos no alimenticios: riego de pastos de piso, forrajes, cultivos de fibras y semillas, entre otros cultivos no alimenticios.
- Reúso recreativo: reúso en cuerpos de aguas artificiales en donde puede haber un contacto ocasional. Pueden ser actividades como pesca recreativa, canotaje y navegación.
- Reúso paisajístico: aprovechamiento estético en donde no es permitido el contacto con el público. Esta prohibición deberá estar debidamente rotulada.
- Reúso en la construcción: compactación de suelos, control de polvo, lavado de materiales, producción de concreto.

## *2.5. Operación y mantenimiento*

Para evitar el colapso del humedal artificial, es indispensable darle a este, y a sistemas previos como tanques sépticos, desarenadores, trampas de grasa, entre otros, el mantenimiento adecuado que permita el máximo desempeño (ACEPESA, 2010). Además del mantenimiento, el humedal se debe operar adecuadamente, teniendo la ventaja de que los humedales artificiales presentan pocas condiciones operativas, ya que dependen en gran medida de mecanismos de tratamiento pasivo (Kadlec & Knight, 1996). La operación y mantenimiento puede dividirse en tres fases, en las cuales se incluye la puesta en marcha del humedal para que la vegetación y la microbiología puedan establecerse, las operaciones a corto plazo o de rutina y las operaciones a largo plazo (UN-HABITAT, 2008).

Cuando el humedal se encuentra recién construido, no va a estar listo para desempeñarse con el rendimiento para el cual fue diseñado hasta que su vegetación y microbiología se establezcan, por lo que no se recomienda que entre en operación en este plazo (Kadlec & Wallace, 2009). Las principales tareas del operador durante la etapa de establecimiento consisten en ajustar los niveles del agua, la cual generalmente debe llegar hasta la superficie y a medida que se desarrollan las raíces de las plantas, se baja el nivel del agua hasta llegar al punto operativo (UN-HABITAT, 2008, Kadlec & Wallace, 2009).

Una vez que el humedal se ha establecido, hay tener en consideración las operaciones rutinarias, entre las cuales se encuentran actividades como el monitoreo y ajuste de caudales, niveles de agua, inspección visual de la vegetación e inspección de la calidad del agua. Otras actividades como el mantenimiento de bombas, reparación de bermas y estructuras de control, cosecha de la vegetación y eliminación de sólidos minerales acumulados son realizadas en intervalos menos frecuentes (Kadlec & Wallace, 2009).

Hay ocasiones en que el operador del sistema no estará familiarizado con la operación y mantenimiento de los humedales artificiales, por lo que será requerido un manual que pueda servir como referencia. En este manual se debe describir la intención del proyecto, explicar las operaciones normales y aquellas de puesta en marcha. Se deben describir los pasos de operación y mantenimiento rutinarios, además de algunas situaciones que puedan generar complicaciones y que sean previsibles. Siempre se debe considerar explicar las operaciones de forma sencilla, evitando la adición de datos irrelevantes que compliquen la operación y mantenimiento (Kadlec & Wallace, 2009).

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. Descripción general

El proyecto fue realizado en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal. Este refugio corresponde a una zona boscosa ubicado junto a una zona costera que se encuentra en el norte de la provincia de Guanacaste, en el cantón y distrito de La Cruz, específicamente en la comunidad de Cuajiniquil. La proyección en coordenadas CRTM05 corresponden a 1212918,12 m latitud norte y 316148,19 m latitud este.

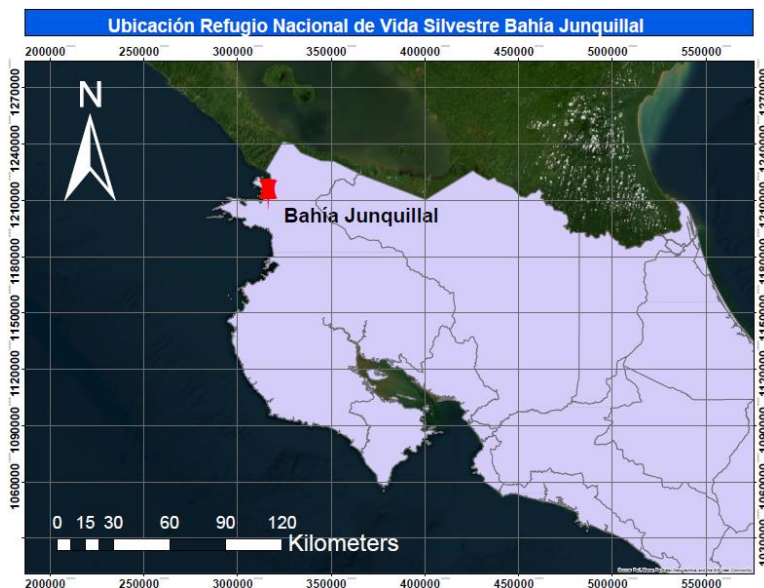


Figura 5. Ubicación del Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal

Actualmente, el refugio puede recibir como máximo 230 visitantes. Sin embargo, para los próximos años se proyecta por parte de la administración un aumento a 450 visitantes. Con base en esto, el desarrollo del proyecto se llevó a cabo tomando en cuenta el aumento proyectado, para asegurar la eficiencia del tratamiento aún con el aumento poblacional.

El desarrollo del proyecto se dividió en tres fases. En la primera fase se caracterizó el sitio de estudio, en la cual se colectaron los datos necesarios para el diseño del sistema de tratamiento. En la segunda fase se diseñó el sistema de tratamiento, contemplando el diseño individual de cada uno de los componentes, las tuberías de conducción y el sistema para reúso de aguas tratadas en servicios sanitarios. En la tercera fase se realizó el manual de operación y mantenimiento del sistema, basándose en el Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (N° 31545-S-MINAE). A continuación, se muestra la metodología seguida para el desarrollo de los puntos mencionados.

#### 3.2. Caracterización del lugar de estudio

Para caracterizar el refugio se realizó dos visitas. La primera visita se realizó en un periodo de cinco días, desde el lunes hasta el viernes de la Semana Santa del 2023. En esta visita se hizo un

inventario de la infraestructura del lugar junto con su reconocimiento geoespacial, además, se realizaron pruebas de infiltración en el suelo y mediciones del caudal consumido. En la segunda visita se realizó un levantamiento topográfico para conocer la diferencia de alturas en el terreno. Además, se verificó la altura del nivel freático en distintos puntos. Por último, para caracterizar el clima se solicitó datos de temperatura y precipitaciones de estaciones meteorológicas del IMN cercanas al sitio de estudio.

### *3.2.1. Caracterización del agua*

Para caracterizar el agua, los parámetros requeridos en el diseño del sistema de tratamiento se conforman principalmente del caudal y la concentración de DBO y DQO. Para la medición del caudal se instaló un hidrómetro que permite registrar el volumen de consumo acumulado en un periodo de alta visitación como Semana Santa. Se realizó lecturas cada 3 horas desde las 8 am a las 5 pm, correspondiente al horario del refugio. En cuanto a las pilas que se encuentran en la zona de camping, se realizó un aforo volumétrico el viernes de Semana Santa, esto por no estar conectadas a la misma tubería del medidor. El consumo diario se comparó con el registro de visitantes en esos mismos días, para conocer el consumo promedio por persona. Este consumo se comparó con las dotaciones mencionadas en Manual Técnico de Dotaciones de Agua (R-0327-2021-MINAE) para definir una dotación por persona y así poder realizar una proyección para un total de 450 visitantes.

Debido a la actividad turística y uso de las aguas, el refugio genera aguas residuales de tipo ordinaria, las cuales se encuentran altamente caracterizadas. Por esto, se tomó la concentración del DBO en la entrada del humedal a partir de fuentes bibliográficas, de sitios que generan que generan aguas residuales del mismo tipo. Como concentración de salida, se tomó de referencia el valor requerido por el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales mostrados en la Tabla 3, en donde se establece un límite de 50 mg/L de DBO para poder verter las aguas en un cuerpo receptor.

### *3.2.2. Inventario de instalaciones sanitarias y reconocimiento espacial*

Se realizó un recorrido por la zona turística de la reserva para realizar un inventario de las edificaciones y de cualquier tipo de infraestructura que dé lugar a la generación de aguas residuales, tales como los inodoros y pilas. Las instalaciones fueron registradas usando la aplicación GPS Waypoints para poder visualizar su ubicación usando sistemas de información geográfica y así reconocer el lugar más conveniente para ubicar el sistema de tratamiento. El software utilizado como sistema de información geográfica fue ArcGIS versión 10.8.

En cuanto a la medición de alturas, se utilizó un tránsito mecánico marca David White, modelo LT8-300 (Figura 6) junto con una estadia (también conocida como mira), en donde se marcó un punto de referencia y a partir de dicho punto se midió distancias, rumbos y alturas. Una vez realizado el levantamiento de una nube de puntos, se procesaron utilizando ArcGIS, programa a partir del cual se obtuvo las curvas nivel.



Figura 6. Tránsito utilizado para levantamiento de niveles

### 3.2.3. Infiltración del suelo

Se midió la infiltración del suelo usando el método descrito el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias del CFIA (2017) el cual se encuentra basado en el método Porchet. Este método consiste en realizar una excavación circular sobre el suelo la cual deberá saturarse con agua. Una vez saturado el suelo, se realizó mediciones del agua infiltrada cada media hora por medio del uso de una regla, tal como se muestra en el diagrama de la Figura 7.

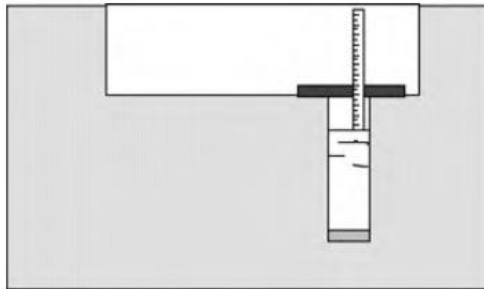


Figura 7. Lectura del nivel de agua para medición de infiltración (Rosales, 2008)

Se hizo tres pruebas de infiltración uniformemente espaciadas con las cuales se calculó la tasa de infiltración [min/cm] tal como se muestra en la ecuación [8].

$$T_{inf} = t/I \quad [8]$$

En donde:

$T_{inf}$  es la tasa de infiltración constante para un suelo saturado (min/cm)

t es el tiempo en el cual se hizo la lectura (min)

I es la lámina de infiltración medida (cm)

Una vez calculada la tasa de infiltración, se calculó la velocidad de infiltración ( $L/m^2/día$ ) por medio de la ecuación [9].

$$V_p = 127,75/\sqrt{T_{inf}} \quad [9]$$

Siendo  $V_p$  la tasa de infiltración ( $L/m^2/día$ ).

### 3.2.4. Recolección de datos meteorológicos

La recolección de datos meteorológicos se basó en la solicitud de registros de precipitación diaria y temperatura horaria de un total de dos estaciones meteorológicas del IMN que se encontraran cerca del sitio de estudio. Las estaciones fueron la Estación de Santa Elena, La Cruz (323934.96 X, 1207964.97 Y) y la Estación La Cruz, Guatemala (321535.60 X, 1222771.57 Y). El periodo de solicitud fue de un total de 5 años, desde el 01/06/2018 hasta el 01/06/2023. Se puede observar el detalle de la solicitud en el Anexo 2. Para estimar la temperatura y precipitación en el refugio, se realizó un promedio de los registros de ambas estaciones, con el fin de identificar la temperatura promedio del mes más frío, además de la precipitación promedio anual.

### 3.3. Diseño del sistema para el tratamiento de aguas residuales

A partir de los datos recolectados según lo descrito en la sección 3.2, se procede a realizar el diseño del sistema de tratamiento. Se incluye el pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario con el humedal artificial y el sistema para reúso de aguas residuales en servicios sanitarios. También se realizó el diseño de un vertedor para medición de caudales y el diseño del vertido final de aquellas aguas que no sean utilizadas para reúso, bien sea por medio de drenajes o riego superficial.

#### 3.3.1. Diseño del pretratamiento

El pretratamiento estará constituido por trampas de grasas e interceptores de sólidos. Para el dimensionamiento de estos componentes se usó el procedimiento descrito en el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias del CFIA (2017). Para determinar el volumen de las trampas de grasa se hizo uso de la ecuación [10].

$$V_L = U.D * t_{ret} * f_{almc} \quad [10]$$

En donde:

U.D son el total de las unidades de descarga que recibirá la trampa

$t_{ret}$  es un tiempo de retención el cual se recomienda de 24 minutos para diseño

$f_{almc}$  es un factor de almacenamiento el cual se recomienda de 7 L/min para diseño

Una vez obtenido el volumen de cada trampa de grasa, se buscó en el mercado nacional opciones de trampas de grasa prefabricadas, cuyo volumen de líquidos fuera igual o mayor al calculado.

En cuanto a los interceptores de sólidos, se usó las dimensiones mínimas recomendadas por el CFIA (2017) según los criterios mostrados en la Tabla 4. Se calculó el volumen del interceptor multiplicando el área de entrada con las longitudes recomendadas en la Tabla 4, y una vez obtenido el volumen se buscó en el mercado opciones de interceptores prefabricados con un volumen igual o mayor al calculado.

Tabla 4. Criterios para dimensionamiento de interceptor de sólidos (CFIA, 2017)

Parámetro	Valor
Área neta de abertura en la sección de entrada (cm <sup>2</sup> )	2000 <sup>1</sup>
Aumento de área de entrada por cada L/min extra (cm <sup>2</sup> )	47,37
Profundidad para líquidos (cm)	60
Profundidad libre de líquidos (cm)	24
Cantidad mínima de compartimentos	2
Longitud de primer compartimento (cm)	50
Longitud de segundo compartimento (cm)	25

1: válido para un caudal máximo de 75 L/min

### 3.3.2. Diseño del tratamiento primario

Para el tratamiento primario se diseñó un sedimentador para aguas negras, mejor conocido como tanque séptico. Para el dimensionamiento del volumen del tanque séptico se usó el procedimiento descrito en el Código de instalaciones Hidráulicas y Sanitarias del CFIA (2017) con las ecuaciones mostradas en la Tabla 5.

Por otra parte, en el Reglamento para la Disposición al Subsuelo de Aguas Ordinarias Tratadas (N° 42075-MINAE) se muestran criterios y requisitos para el diseño de tanques sépticos los cuales son de cumplimiento obligatorio. Por esto, se verificó que el dimensionamiento calculado estuviera acorde a lo mostrado en dicho reglamento, además, de tomar en cuenta otras consideraciones mostradas en el mismo reglamento para el dibujo de los planos constructivos.

Tabla 5. Ecuaciones y variables para dimensionamiento del volumen de tanque séptico (CFIA, 2017)

Parámetro por calcular	Ecuación	Variables
Volumen para sedimentación (m <sup>3</sup> )	$V_s = 10^{-3} * P * q * t_h$ [11]	P: cantidad de personas q: caudal (L/persona/día) t <sub>h</sub> : tiempo de retención hidráulica (día) t <sub>d</sub> : tiempo requerido para biodigestión en función de T T: temperatura (°C) r: factor que caracteriza aguas y lodos (30-40 L/persona/año) n: periodo entre limpieza (años)
Volumen para biodigestión (m <sup>3</sup> )	$V_d = 0,5 * 10^{-3} * P * t_d$ [12]	
Tiempo para la biodigestión (día)	$t_d = 28 * (1,035)^{35-T}$ [13]	
Volumen para almacenamiento de lodos (m <sup>3</sup> )	$V_a = 10^{-3} * r * P * (n - \frac{t_d}{365})$ [14]	
Volumen total para fluidos (m <sup>3</sup> )	$V_{TL} = V_s + V_d + V_a$ [15]	

Una vez establecidas las dimensiones del tanque séptico se hizo una revisión del Código Sísmico de Costa Rica (CFIA, 2010), con el fin de determinar los refuerzos necesarios para evitar el colapso

de la estructura o agrietamientos sobre la superficie de esta. Una vez determinadas las dimensiones y refuerzos estructurales se realizó los planos constructivos por medio del software de AutoCAD.

### *3.3.3. Diseño de humedal artificial*

Para determinar el tamaño del humedal artificial se tomó en consideración dos pasos. En el primer paso se dimensiona el área superficial basado en la actividad microbiológica para la degradación de la materia orgánica. En el segundo paso, se considera aspectos hidráulicos del flujo del agua a través de medios porosos para el cálculo del área transversal.

#### *3.3.3.1. Dimensionamiento basado en parámetros microbiológicos para área superficial*

Para el diseño basado en la reducción de la materia orgánica se usó el modelo de flujo de tapón modificado, por medio de las ecuaciones [1]-[6] mostradas en la sección 2.3.3.1 del marco teórico. Entre las variables por identificar en estas ecuaciones se encuentra el caudal, la concentración del contaminante de entrada y salida, profundidad del sustrato, porosidad del sustrato y la temperatura del agua. A continuación, se describe la forma en que se definió el valor de cada variable.

- Caudal (Q): se usó el caudal proyectado para un total de 450 visitantes, a partir de las mediciones hechas por el hidrómetro instalado y lo definido por el Manual Técnico de Dotaciones de Agua, según lo descrito en la sección 3.2.1.
- Concentración contaminante de entrada y salida ( $C_i$  y  $C_e$  respectivamente): dado que la naturaleza de las aguas residuales se trata de aguas domésticas, se tomó como indicador del contaminante la carga orgánica por medio del DBO. La concentración de la entrada o el influente se definió a partir de consultas bibliográficas en donde se comparó de distintas fuentes los análisis realizados a aguas residuales domésticas. La concentración de salida o efluente se determinó según lo requerido por el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, según lo mostrado en la sección 3.2.1.
- Profundidad del sustrato (P): la profundidad dependerá si se diseña un humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal o vertical. Para humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal la profundidad puede variar desde los 0,3 m hasta los 0,7 m, mientras que en los de flujo vertical se han registrado humedales hasta de 0,9 m de profundidad (ACEPESA, 2010, Dotro, 2017, Kadlec & Knight, 1996, Kadlec & Wallace, 2006, Tanaka, 2011).
- Porosidad del sustrato ( $\eta$ ): la porosidad dependerá del tipo de sustrato que se utilice, además del tamaño de sus partículas. Para el humedal se utilizará piedra cuarta, de la cual, se tomó una muestra del distribuidor que se encontraba disponible en el refugio y se midió su porosidad por medio del método volumétrico. Para el modelo, se usó el promedio de tres mediciones realizadas de la porosidad del sustrato.
- Temperatura del agua (T): la temperatura del agua es posible aproximarla a la temperatura ambiental (Kadlec & Wallace, 2006), por lo que se tomó la temperatura obtenida a partir de los registros de las estaciones meteorológicas descritas en la sección 3.2.4.

Se realizó el cálculo del área superficial requerida por medio de la ecuación [1] para humedales artificiales subsuperficiales de flujo horizontal, considerando profundidades desde 0,3 hasta 0,6

m, según lo mostrado en la tabla 6. También se realizó el cálculo con las mismas profundidades, pero considerando el uso de dos humedales en paralelo, cada humedal con 50 % del caudal, obteniendo un total de ocho configuraciones distintas para el humedal artificial.

Tabla 6. Configuraciones utilizadas para cálculo de área superficial de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal

<b>Configuración</b>	<b>Cantidad de humedales</b>	<b>Porcentaje de agua por humedal</b>	<b>Profundidades usadas</b>
1	1 humedal en serie	100%	30, 40, 50 y 60 cm
2	2 humedales en paralelo	50%	

Profundidades basadas en (ACEPESA, 2010; Dotro, 2017; Kadlec & Knight, 1996; Kadlec & Wallace, 2006; Tanaka, 2011)

Una vez obtenido el área superficial se procedió a calcular el largo y el ancho del humedal artificial. Para esto se usó dos criterios que se deben cumplir de forma simultánea, los cuales son: 1) que se mantenga una relación largo:ancho entre 2:1 – 3:1. 2) asegurar que no haya flujo superficial por encima de la superficie del humedal. Con el segundo paso, el cual se detalla a continuación, se calcula el área transversal mínima para evitar flujo superficial.

### 3.3.3.2. Dimensionamiento basado en parámetros hidráulicos para área transversal

En este tipo de dimensionamiento lo que se buscó fue asegurar que el humedal tuviera un área de sección transversal lo suficientemente grande para que el agua pueda fluir libremente sin obstrucciones. Para esto se hizo uso de la ley de Darcy por medio de la ecuación [7]. Las variables mostradas en esta ecuación se tratan del caudal (Q), el cual es el mismo utilizado para el modelo de flujo de tapón, la pendiente del fondo del canal (S) y la conductividad hidráulica del sustrato ( $K_s$ ).

Para determinar el valor de la conductividad hidráulica se hizo uso de los valores mostrados en la Tabla 2 de la sección 2.3.3.2, para gravas medias. A este valor se le realizó un ajuste tomando como valor final el 10 %, previendo la disminución de los espacios porosos debido al crecimiento de las raíces y de la capa microbiana en la superficie de las piedras (Kadlec & Knight, 1996).

Una vez calculada el área de sección transversal mínima, se eligió un largo y un ancho para cada profundidad planteada de tal modo que se cumpliera una relación de largo:ancho entre 2:1 a 3:1. Definidas las dimensiones para cada configuración de la tabla 6, se analizó ventajas y desventajas para elegir la que mejor se adaptara a las condiciones del refugio. Seleccionada la configuración se hizo el dibujo de los planos constructivos usando el software de AutoCAD y su representación en 3D usando el software de Inventor Professional.

### 3.3.4. Dimensionamiento de vertido final de aguas tratadas

Se diseñó dos opciones para el vertido final de aguas tratadas que no sea utilizadas para reúso, una opción fue el uso de drenajes mientras que la otra fue realizar un riego a nivel superficial del



terreno. Se muestra a continuación la metodología seguida para el dimensionamiento de cada método.

### 3.3.4.1. Dimensionamiento de drenaje

El diseño del drenaje consistió en determinar la longitud, ancho, profundidad y separación entre cada zanja de infiltración. Para esto se siguió la metodología descrita por el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias del CFIA (2017) con las ecuaciones [16]-[22] mostradas en la Tabla 7.

Tabla 7. Ecuaciones y variables para dimensionamiento del drenaje de aguas tratadas al subsuelo (CFIA, 2017)

Parámetro por calcular	Ecuación	Variables
Área de infiltración (m <sup>2</sup> )	$A_i = \frac{Q}{V_p}$ [16]	Q: caudal de gasto (m <sup>3</sup> /s) V <sub>p</sub> : Velocidad de infiltración (m/s)
Área verde requerida (m <sup>2</sup> )	$A'_c = A_i * F_p$ [17]	A' <sub>c</sub> : área verde requerida (m <sup>2</sup> ) F <sub>p</sub> : factor de precipitación
Superficie del campo de infiltración (m <sup>2</sup> )	$A_c = \frac{A'_c}{1-r_c}$ [18]	A <sub>c</sub> : superficie del campo de infiltración (m <sup>2</sup> ) r <sub>c</sub> : factor de revestimiento superior
Perímetro efectivo (m)	$P_e = 0,77 \frac{W+56+2D}{W+116}$ [19]	P <sub>e</sub> : perímetro efectivo (cm) W: ancho de zanja (cm) D: profundidad de grava bajo el tubo (cm)
Longitud total de zanjas (m)	$L_z = \frac{A_i}{P_e}$ [20]	L <sub>z</sub> : longitud total de zanjas (m)
Separación entre zanjas (m)	$L_s = \frac{A_c}{L_z}$ [21]	L <sub>s</sub> : longitud entre centros de zanjas (m)
Superficie requerida para campo de infiltración (m <sup>2</sup> )	$A_t = L_z * L_s$ [22]	A <sub>t</sub> : área total de superficie de infiltración (m <sup>2</sup> )

Entre las variables por definir se encuentran el caudal de gasto, la velocidad de infiltración, factor de precipitación y factor de revestimiento superior. Se describe a continuación la forma en que se definió el valor de cada variable.

- Caudal de gasto (Q): este es el mismo caudal utilizado para el dimensionamiento del humedal artificial para la proyección de 450 turistas, sin embargo, se requiere convertir las unidades de m<sup>3</sup>/día a m<sup>3</sup>/s.
- Velocidad de infiltración (V<sub>p</sub>): esta velocidad corresponde a la descrita en la sección 3.2.3, la cual se calcula por medio de las pruebas de infiltración.
- Factor de precipitación (F<sub>p</sub>): es un factor de ajuste de la precipitación entre el lugar de estudio y la precipitación en la provincia de San José (2699 mm/año). Como base se usa un valor de 2,5 si la precipitación es menor o igual a los 2699 mm/año, y este valor aumentar en igual proporción a la precipitación extra con respecto a los 2699 mm/año. Por ejemplo, si la precipitación anual de un lugar corresponde a 4000 mm/año, es un 48%

mayor que 2699 mm/año, por lo que el factor de precipitación de 2,5 deberá aumentarse en un 48%.

- Factor de revestimiento superior ( $r_c$ ): es un factor de ajuste que toma en consideración qué tan cubierto está el suelo de construcciones. Se toma un valor de cero (0) si el suelo no está cubierto y como uno (1) si el suelo se encuentra muy cubierto.

Una vez calculadas las dimensiones de las zanjas de infiltración se revisó el Reglamento para la Disposición al Subsuelo de Aguas Residuales Tratadas (N° 42075-S-MINAE), en donde se muestran criterios y requisitos para el diseño de drenajes los cuales son de cumplimiento obligatorio. Por esto, se verificó que el dimensionamiento calculado estuviera acorde a lo mostrado en dicho reglamento, además, de tomar en cuenta otras consideraciones mostradas en el mismo reglamento para el dibujo de los planos constructivos. Una vez hecho el diseño, se dibujó el plano de los drenajes usando AutoCAD.

#### *3.3.4.1. Dimensionamiento de riego superficial*

El diseño de las tuberías de riego superficial se basó en realizar un arreglo de tuberías y orificios que permitiera verter el agua tratada sobre la superficie sin que se genere escorrentía, para esto, la precipitación de los emisores (orificios) debe ser menor o igual a la infiltración del suelo. El caudal de diseño fue el caudal máximo probable, calculado por el método de Hunter el cual será explicado más adelante en la sección 3.3.6.

Para calcular la precipitación generada por los orificios primero se calculó el caudal emitido por cada uno de estos. Para calcular el caudal de emisión se hizo uso de la ecuación de un orificio sumergido con salida libre, la cual se muestra en la ecuación [23].

$$Q = C * A \sqrt{2 * g * y} \quad [23]$$

En donde:

Q: es el caudal emitido por cada orificio del tubo (L/s).

C: es un coeficiente adimensional del orificio, el cual toma un valor de 0,7.

A: es el área del orificio ( $m^2$ ).

G: es la constante gravitacional ( $m/s^2$ ).

y: es el tirante de agua dentro del tubo (m).

Para el cálculo del tirante se hizo uso del software de Hcanales, con el método de un canal de sección circular. Los datos de entrada que solicita el software son el caudal ( $m^3/s$ ), diámetro del tubo (m), rugosidad del tubo (adimensional) y la pendiente (m/m), según como se muestra en la Figura 8. El caudal de entrada corresponde al caudal máximo probable de diseño repartido equitativamente entre la cantidad total elegida de tubos.

Caudal (Q):	<input type="text"/>	m <sup>3</sup> /s
Diámetro (d):	<input type="text"/>	m
Rugosidad (n):	<input type="text"/>	
Pendiente (S):	<input type="text"/>	m/m

Figura 8. Datos de entrada para cálculo de tirante en el software de Hcanales

Conociendo el tirante se hizo la sustitución de los datos en la ecuación [23] para saber el caudal emitido en cada orificio. Una vez conocido el caudal de cada orificio se dividió el caudal de cada tubo entre el caudal de cada orificio, obteniendo así la cantidad de orificios requerida para cada tubo, según se muestra con la ecuación [24].

$$N_{orificios} = \frac{Q_{tubo}}{Q_{orificio}} \quad [24]$$

Se eligió de forma tentativa el distanciamiento entre los orificios y separación entre ramales de tuberías, para así calcular la precipitación generada por medio de la ecuación [25].

$$Pp = \frac{Q_{orificio}}{L_{orificio} * L_{tubo}} \quad [25]$$

En donde  $L_{orificio}$  es la longitud entre los orificios en el mismo tubo y  $L_{tubo}$  es la separación entre los tubos, ambas en metros. Una vez calculada la precipitación se comparó con la infiltración del suelo para asegurar que fuera menor o igual. En caso de que la precipitación generada fuera mayor, se hizo un ajuste del distanciamiento entre orificios y tuberías, iterando el cálculo hasta alcanzar los valores deseados.

### 3.3.5. Diseño de vertedero para medición de caudales

Se realizó el diseño de un vertedero de cresta delgada con forma triangular para la medición del caudal a la salida del tratamiento por medio del humedal artificial. La elección de la forma triangular se basó en que es la recomendada para caudales menores a 30 L/s, dado a que en vertederos rectangulares los cambios en caudales pequeños son menos perceptibles (Sotelo, 1994). Para el cálculo de la carga hidráulica del vertedor se usó la ecuación [26].

$$H = \left( \frac{Q}{\frac{8}{15} * \mu * \sqrt{2g} * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)} \right)^{\frac{2}{5}} \quad [26]$$

En donde:

Q es el caudal de diseño del vertedero (L/s)

$\mu$  es el coeficiente del vertedero, el cual se toma a partir de la Figura 9

g es la constante gravitacional (m/s<sup>2</sup>)

$\theta$  es el ángulo de la abertura triangular en la cresta del vertedero

El caudal de diseño se tomó como el caudal máximo probable que puede descargar todo el sistema, ya que si se diseña con caudales menores en el momento que se dé una crecida del caudal el vertedero no estará en la capacidad de medir dicho caudal. En cuanto al coeficiente del vertedero,

generalmente se toma como 0,62 para el diseño, sin embargo, es posible realizar un ajuste en función de la carga sobre la cresta del vertedero a partir de los datos experimentales mostrados en la Figura 9. Por último, el ángulo recomendado de la abertura va a variar según el caudal para el cual se esté diseñando el vertedero. Se muestra en la Tabla 8 los ángulos sugeridos en función del caudal de diseño.

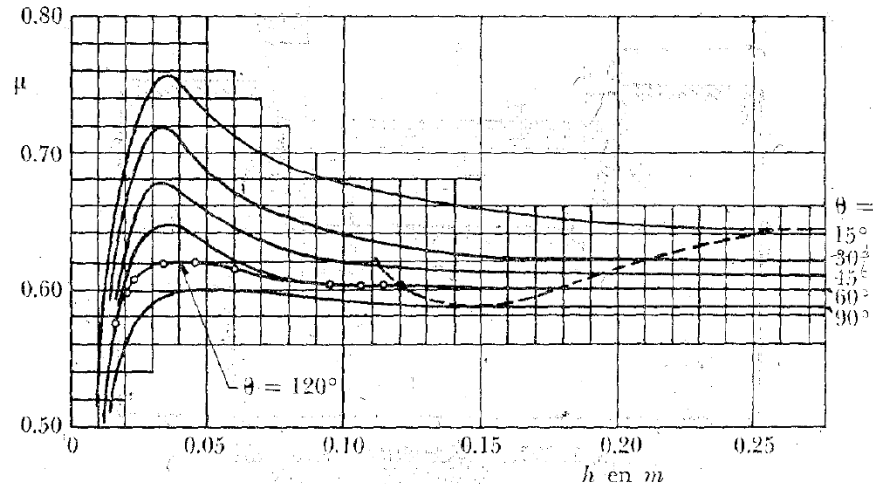


Figura 9. Coeficientes de descarga para vertedero de cresta delgada en función de la carga hidráulica sobre la cresta del vertedero y ángulo de la abertura triangular (Sotelo, 1994)

Tabla 8. Ángulo de abertura triangular recomendado según el caudal del vertedero (Sotelo, 1994)

Rango de caudales (L/s)	Ángulo de abertura (°)
1-2	15
2-5	30
5-10	45
10	90

Para asignar las dimensiones al canal del vertedero se siguió las recomendaciones dadas por el manual de la USBR (1978). En este manual se define la profundidad, longitud y ancho que debe tener el canal antes y después de la caída desde la cresta del vertedero, en función de la carga hidráulica calculada por medio de la ecuación [26]. Una vez realizado el diseño se hizo el plano constructivo por medio de AutoCAD y su representación en 3D usando Inventor Professional.

### 3.3.6. Dimensionamiento de tuberías para desagüe de aguas residuales y posicionamiento del sistema

El dimensionamiento de las tuberías que conducen las aguas residuales desde su punto de origen hasta el humedal artificial se basó en la escogencia adecuada de su diámetro y su pendiente. Para esto, se usó los criterios dados por el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en edificaciones del CFIA (2017) y la Norma Técnica para Diseño y Construcción de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable, de Saneamiento y Pluvial del AyA (2017).

Entre las recomendaciones a seguir, se encuentra que los tubos colectores deberán funcionar como un canal circular por gravedad, en donde el tirante de agua deberá llenar como máximo la mitad del tubo y la velocidad del agua deberá estar entre 0,6-2,5 m/s. Para conocer el tirante dentro de los tubos se usó el software de Hcanales, mismo mostrado en la Figura 8, el cual tiene programado su método de cálculo por medio de la ecuación de Manning, por lo que se usó un n de Manning característico para las tuberías de PVC.

El caudal de diseño fue el caudal máximo probable generado por el conjunto de accesorios y piezas sanitarias que descargan en una tubería. Este caudal se calcula por medio del método de Hunter, el cual consiste en aplicarle un peso a las unidades sanitarias de uso intermitente. A este peso se le llama unidades de descarga (u.d) las cuales consisten en una variable adimensional, tomadas de los manuales consultados. Una vez conocidas las unidades de descarga para cada tubería, se calculó el caudal máximo probable por medio de la ecuación [27], si las u.d son menores a 100, o la ecuación [28] si son mayores a 100 pero menores a 1200.

$$Q = 0,13(u.d)^{0,669} \quad [27]$$

$$Q = 0,0145(u.d.) + 1,39 - 2,83 \times 10^{-6}(u.d.)^2 \quad [28]$$

Por otra parte, la pendiente mínima que debe tener la tubería de descarga está en función del diámetro utilizado según se muestra en la Tabla 9.

Tabla 9. Pendiente mínima de desagües según diámetro de conducto (CFIA, 2017)

<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Pendiente mínima (%)</b>
50	2,0
75	2,0
100	1,5
150	1,0
200	1,0

Para escoger la pendiente del tubo se hizo un acomodo tentativo de las distintas unidades del sistema de tratamiento para observar la pendiente conseguida por medio de las curvas de nivel del terreno. En caso de que la pendiente del terreno fuera mayor a las mostradas en la Tabla 9 se escogió la pendiente del terreno, caso contrario, si la pendiente que ofrecía el terreno fue menor, se utilizó la pendiente mínima según el diámetro del tubo elegido.

Una vez elegidos los diámetros y pendientes, se procedió a introducir las distintas variables en el software de Hcanales para calcular el tirante y velocidad del agua para compararlos con los valores requeridos. En caso de no cumplirse, se realizó un ajuste de los diámetros y pendientes, iterando el proceso del cálculo hasta cumplir con las condiciones dadas. Una vez alcanzado un resultado satisfactorio, se procedió a realizar por medio de AutoCAD los planos en donde se muestra el acomodo de todo el sistema, además de diámetros, longitudes y pendientes de las tuberías.

### 3.3.7. Diseño de sistema para reúso de aguas tratadas en servicios sanitarios

El diseño del sistema de reúso en servicios sanitarios fue realizado para cubrir los requerimientos de agua de un día completo para un total de seis inodoros. Esta cantidad de inodoros corresponde al edificio nuevo para servicios sanitarios. El diseño estará compuesto del dimensionamiento de tres componentes, los cuales son el tanque receptor a la salida del humedal y el tanque de almacenamiento de agua, las tuberías de conducción y una bomba sumergible. A continuación, se describe el proceso para la escogencia de cada uno de estos componentes.

#### 3.3.7.1. Dimensionamiento de tanque receptor a la salida del humedal y tanque de almacenamiento

A la salida del humedal se tendrá un total de dos tanques. Un tanque será para recibir las aguas que salen directamente del humedal artificial. Este tanque será llamado como tanque receptor. El otro tanque se tratará de un tanque elevado para el almacenamiento de las aguas tratadas de reúso. Este tanque recibirá agua bombeada desde el tanque receptor y se le llamará como tanque de almacenamiento.

Se asignó el mismo volumen a ambos tanques, de tal modo que si el tanque de almacenamiento fuera vaciado por completo pudiera ser llenado en su totalidad con el agua del tanque receptor. Dado que la proyección máxima de visitantes es de 450 personas, se dimensionó los tanques para responder a la necesidad de una cobertura de 300 personas (450 repartidas de forma equitativa entre el total de nueve inodoros disponibles, siendo seis los nuevos). Para calcular el volumen mínimo se hizo uso de la ecuación [29].

$$V_T = Dot * P * t \quad [29]$$

En donde:

Dot es dotación (L/persona/día) proyectada por persona para el uso de servicios sanitarios

P es la población para la cual se quiere abastecer el agua

t es el tiempo en días para el cual se quiere cubrir el requerimiento hídrico

Una vez calculado el volumen, se hizo la consulta en el mercado de tanques plásticos disponibles para el almacenamiento de agua, escogiendo aquel cuyo volumen fuera el mismo o mayor al calculado que estuviera disponible.

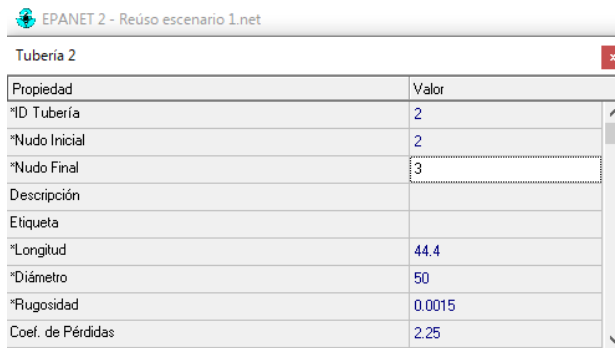
#### 3.3.7.2. Dimensionamiento de tubería de conducción para agua de reúso

En esta parte se calculó la altura que debe tener el tanque de almacenamiento para alcanzar la presión de trabajo requerida en los servicios sanitarios, la cual corresponde a 3 mca. Para esto, se usó el software Epanet, el cual realiza modelaciones hidráulicas tomando en consideración caudales, diámetros y materiales de tuberías, pérdidas por accesorios, pérdidas por fricción y las alturas según la topografía del terreno.

Para el uso del software primero fue requerido calcular el caudal de diseño, el cual es el caudal máximo probable. Las ecuaciones utilizadas fueron las mismas que se usaron para el método de

Hunter con las tuberías de descarga de aguas residuales (ecuación [27]), con la diferencia de que las unidades de descarga (u.d) son remplazadas por las unidades accesorio (u.a). Las unidades accesorio utilizadas fueron las correspondientes para servicios sanitarios, siendo 3 u.a para cada inodoro (CFIA, 2017).

Una vez calculado el caudal, por medio del acomodo del sistema en los planos constructivos se hizo el conteo de longitudes de tuberías y accesorios, los cuales fueron utilizados para el levantamiento del modelo hidráulico en Epanet. A su vez, también se introdujo en el modelo el diámetro y la rugosidad de la tubería. Por ejemplo, la rugosidad es de 0,0015 para tubos de PVC bajo el método de cálculo de Darcy-Weisbach. Se muestra un ejemplo de la solicitud de datos por parte del programa en la Figura 10.



Propiedad	Valor
*ID Tubería	2
*Nudo Inicial	2
*Nudo Final	3
Descripción	
Etiqueta	
*Longitud	44.4
*Diámetro	50
*Rugosidad	0.0015
Coef. de Pérdidas	2.25

Figura 10. Ejemplo de ingresos de datos para una tubería en software Epanet

La longitud fue ingresada en metros y el diámetro en mm, mientras que la rugosidad y los coeficientes de pérdidas son adimensionales. Una vez ingresados los datos en el modelo hidráulico, se corrió para observar las presiones que llegan a los servicios sanitarios. En caso de no alcanzar las presiones requeridas, se hizo un ajuste a los diámetros de los tubos y altura del tanque de almacenamiento hasta alcanzar los resultados deseados.

### 3.3.7.3. Selección de bomba para aguas de reúso

Una vez determinada la altura a la cual debe estar el tanque de almacenamiento, se calculó la presión requerida por parte de una bomba sumergible colocada en el interior del tanque receptor a la salida del humedal, para llevar el agua desde el tanque receptor al tanque de almacenamiento. Para esto, también se usó el software Epanet en donde se ingresó datos de longitud y diámetro de tubería, coeficientes de pérdidas por accesorios y la diferencia de altura desde la bomba hasta el tanque de almacenamiento.

Por otra parte, también se ingresó la curva características de bombas sumergibles (Figura 11) consultadas en el mercado nacional, para observar la presión y el caudal entregado por la bomba una vez corrido el programa. En caso de que la bomba no fuera la indicada, el programa da la alerta de que no se alcanza las presiones requeridas. Por esto, se probó con distintas curvas características hasta alcanzar la presión requerida, eligiendo aquella bomba que funcionara y tuviera la menor potencia para reducir costos.

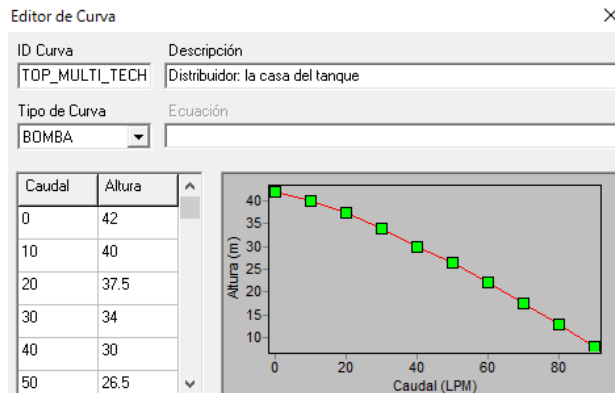


Figura 11. Ejemplo de curva característica de bomba hidráulica ingresada en Epanet

### 3.3.8. Estimación de presupuesto del proyecto

A partir de los planos constructivos de los distintos componentes del sistema y del posicionamiento de estos, se realizó un inventario de los materiales y accesorios requeridos para la construcción del proyecto. Una vez levantada la lista de materiales se consultó en ferreterías cercanas al lugar para cotizar aquellos materiales disponibles. También, se consultó en viveros cercanos para la consulta de disponibilidad de plantas y su respectiva cotización. En cuanto a las trampas de grasa prefabricadas, geomembranas para el humedal y bomba sumergible, se tuvo que consultar con distribuidores especializados en la venta de estos materiales, en donde se incorpora en el costo de envío o encomienda. Para determinar el presupuesto del proyecto también se incorporó otros costos como lo es el pago de honorarios por supervisión de la obra, pago de salarios por mano de obra, movimiento de tierras e imprevistos.

### 3.4. Elaboración de manual de operación y mantenimiento

Se elaboró un manual de operación y mantenimiento que sirva como guía al personal encargado del sistema de tratamiento. El formato y contenido del manual fue realizado con base a lo solicitado en el artículo 29 del Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (N° 31545-S-MINAE).

Se incluyó aspectos como descripción de la generación de las aguas residuales, información básica del diseño, capacidades del personal, cómo poner en marcha el sistema, los distintos procesos del tratamiento y su mantenimiento, además de los posibles problemas que se pueden encontrar y la forma de solucionarlos. Las tareas de mantenimiento y su frecuencia fueron determinadas a partir de manuales de diseño de humedales artificiales, fichas técnicas de los productos y recomendaciones de distintas fuentes bibliográficas.



## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Caracterización del sitio de estudio

En esta sección, se presenta el desarrollo del primer objetivo. Aquí se detallan las características del sitio de estudio, con especial énfasis en los aspectos importantes para el diseño del sistema de tratamiento. Inicialmente, se presenta el área del refugio destinada al turismo, con sus distintas zonas y como se distribuye la infraestructura, detallando la ubicación de las unidades sanitarias como servicios sanitarios, duchas y pilas. Seguidamente, se muestra la tendencia de consumo de agua en temporadas de alta visitación, la dinámica de flujo de las aguas residuales y la calidad de esta en términos de DBO. Se presenta los resultados de las pruebas de infiltración en el suelo, además de los cálculos realizados para obtener la velocidad de infiltración. Por último, se muestra los resultados de la temperatura y precipitación promedio mensual, a partir de los datos brindados por el Instituto Meteorológico Nacional.

#### 4.1.1. Descripción de la infraestructura, reconocimiento espacial y altimetría del terreno

El Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal es una reserva biológica que posee una extensión de 505 hectáreas, la cual está compuesta en su mayor parte por una zona boscosa, y en menor medida una zona costera. Dentro del refugio, se tiene una porción del territorio destinado para actividades turísticas, el cual tiene una capacidad para recibir un total de 230 personas. De estas 230 personas, 80 son para estadía en camping y 150 para una estadía de un solo día.

La zona turística está compuesta por áreas de parqueo, picnic y camping. Además, hay dos edificaciones que en conjunto abarcan un área aproximada de 325 m<sup>2</sup>, destinadas para el uso de los trabajadores y la administración del lugar. Se encuentra una casetilla para recibo de los turistas y una tercera estructura destinada para el uso de baños y servicios sanitarios. Por otra parte, se cuenta con unidades sanitarias como pilas, una en el área de los baños, y otro conjunto cerca de la zona de picnic, en donde los visitantes las usan para actividades como aseo personal, lavado de ropa y lavado de utensilios de cocina.

Se puede observar en la Figura 12 la distribución de las distintas áreas y edificaciones del refugio. Adicionalmente, se muestra mediante un código de colores la distribución de las unidades sanitarias, tales como son los servicios sanitarios, duchas, tubos de las pilas y fosas sépticas.

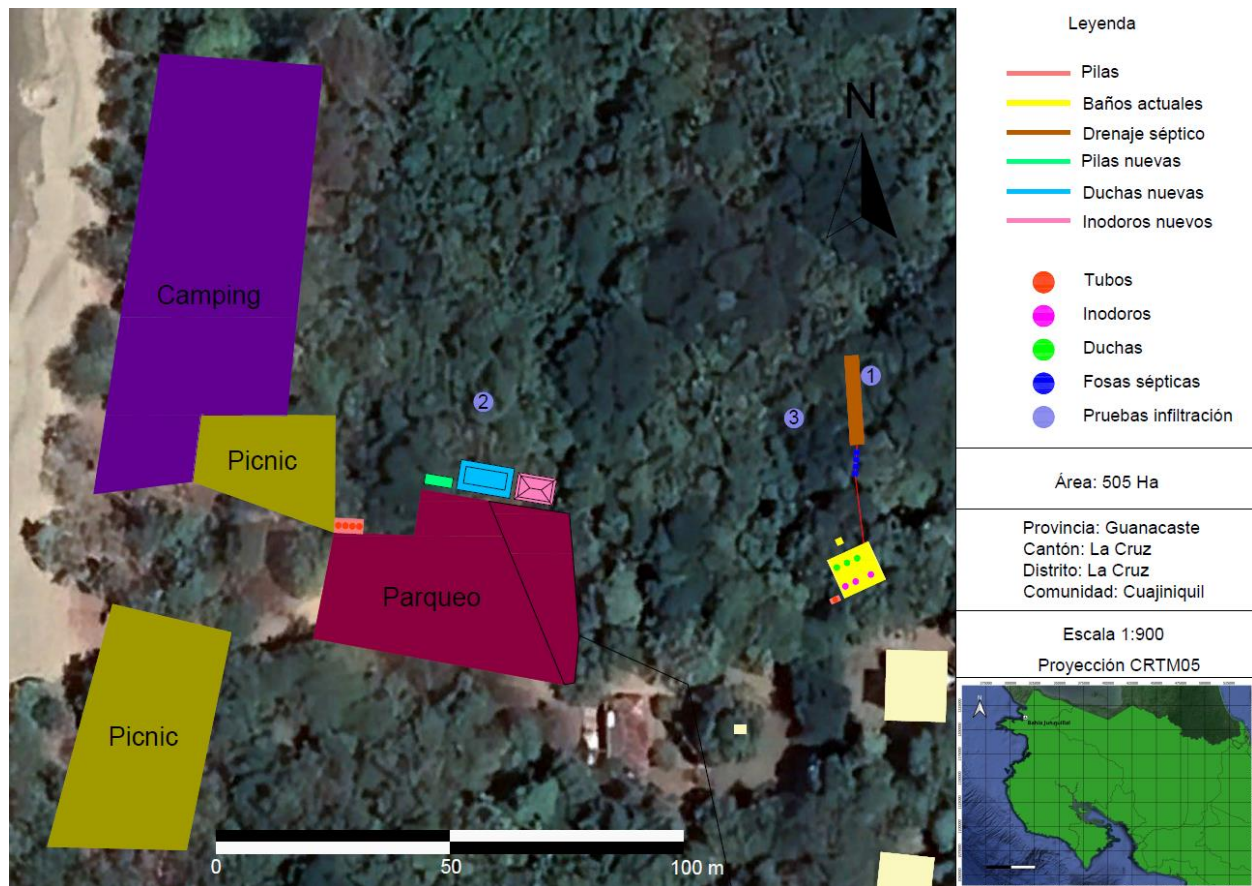


Figura 12. Vista en planta de la distribución del Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal

Se observa en la Figura 12 que se tiene un total de cuatro pilas en las cercanías del área de camping, mientras que se tiene una sola pila para los baños. Con respecto a los baños, se tiene un total de tres duchas y tres servicios sanitarios. Hay un total de cuatro fosas sépticas unidas en serie, con un volumen de 1100 litros cada una. Estas fosas sépticas reciben las aguas negras provenientes de los servicios sanitarios. Posterior a las fosas sépticas, se tiene un drenaje séptico mediante el cual se filtran las aguas provenientes de los servicios sanitarios, este drenaje cuenta con 19 metros de largo y tres metros de ancho.

Otro aspecto para resaltar de la Figura 12, es que se muestran unas edificaciones nombradas como pilas nuevas, duchas nuevas y sanitarios nuevos. Actualmente estas edificaciones no se encuentran en el refugio, sin embargo, se tiene previsto construir estas estructuras por lo que es necesario tomarlas en consideración para el diseño del sistema de tratamiento a proponer en este trabajo. Una vez que se construyan estas nuevas estructuras, también se planea por parte de la administración del refugio aumentar la capacidad de visitantes, previendo hasta una capacidad máxima de 450 turistas en un día. Cabe destacar que el diseño se realizará basándose en estos datos, sin embargo, es recomendable que por cada 20 personas haya un inodoro público, necesitándose 23 inodoros para un total de 450 turistas (CFIA, 2017). Por otra parte, también es recomendable realizar un estudio de capacidad de carga en zonas protegidas, para verificar que el

refugio si está en la capacidad de recibir 450 turistas sin que representen afectaciones en la sostenibilidad de este. A efectos de resumen de la infraestructura y componentes sanitarios que se encuentran actualmente y a futuro, se muestra un inventario de los datos recabados en la Tabla 10.

Tabla 10. Cantidad de componentes sanitarios e información general del Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal.

<b>Componente</b>	<b>Cantidad actual</b>	<b>Cantidad a futuro</b>
Servicios sanitarios	3	9
Duchas	3	9
Pilas	5	8
Fosas sépticas	4	Según posterior diseño
Drenaje séptico	1	Según posterior diseño
Capacidad máxima de visitantes	230	450

En cuanto al desnivel del terreno, este posee una pendiente que va desde el 0% hasta el 3%. Ésta pendiente se puede observar por medio de las curvas de nivel, las cuales fueron generadas a partir de las mediciones de alturas tomadas según lo descrito en la sección 3.2.2 de la metodología. Se muestra en la Figura 13 las curvas de nivel mencionadas, en donde la diferencia de altura entre cada curva corresponde a 0,2 metros, yendo desde los 0 msnm hasta los 3,4 msnm para la zona medida. Cabe destacar la importancia de considerar las curvas de nivel en el diseño del sistema, para que el agua pueda moverse por medio de la gravedad sin necesidad de recurrir a bombeo.

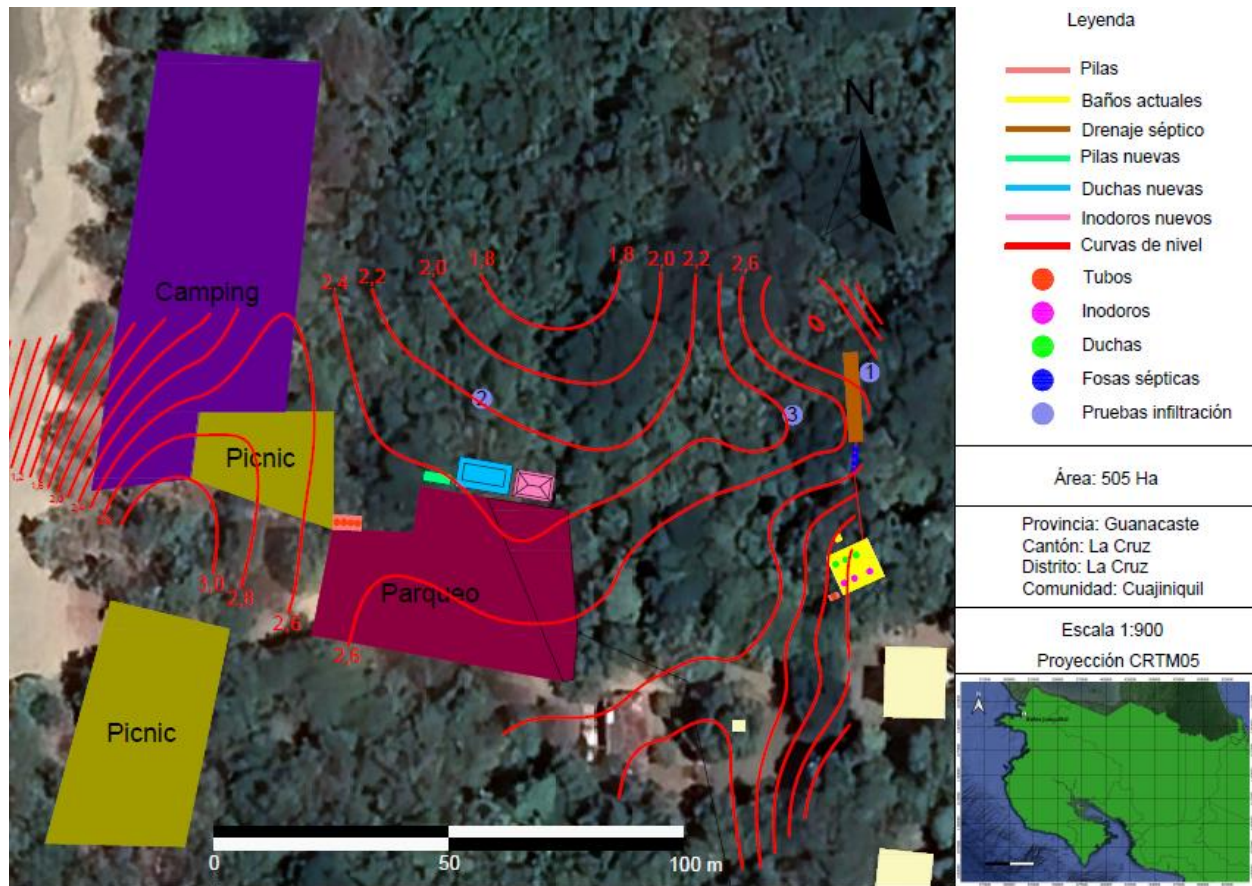


Figura 13. Curvas de nivel en la zona turística del Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal

#### 4.1.2. Manejo y caracterización del agua en el refugio

El agua destinada para el consumo en el refugio es extraída de un pozo por medio de una bomba que funciona con gasolina. Dado la intermitencia que supone el uso de una bomba de combustión, el agua es almacenada en un reservorio (Figura 14) el cual posee un volumen de  $30 \text{ m}^3$ . En este reservorio el agua es clorada y posteriormente es distribuida hacia los baños y las pilas por medio de la gravedad para su consumo, a través de tuberías de dos pulgadas de diámetro. En esta sección se muestra el caudal de consumo y la caracterización de las aguas residuales la cual será utilizada para el diseño del sistema de tratamiento.





Figura 14. Reservorio de almacenamiento de agua potable

#### 4.1.2.1. Caudal de consumo y visitas al refugio

El registro del caudal consumido fue realizado en Semana Santa, del 03 de abril al 07 de abril del año 2023. Para realizar la medición, se instaló un medidor de agua marca Woltman Zenner (Figura 15) obteniendo como resultado los volúmenes por día mostrados en la Figura 16. Se encontró que la tubería que va hacia los baños y la tubería que va hacia las pilas cercanas a la zona de camping tienen distintas salidas desde el reservorio, es decir, no se encuentran conectadas, por lo que se realizó un aforo volumétrico en las pilas.



Figura 15. Medidor de agua instalado en el refugio

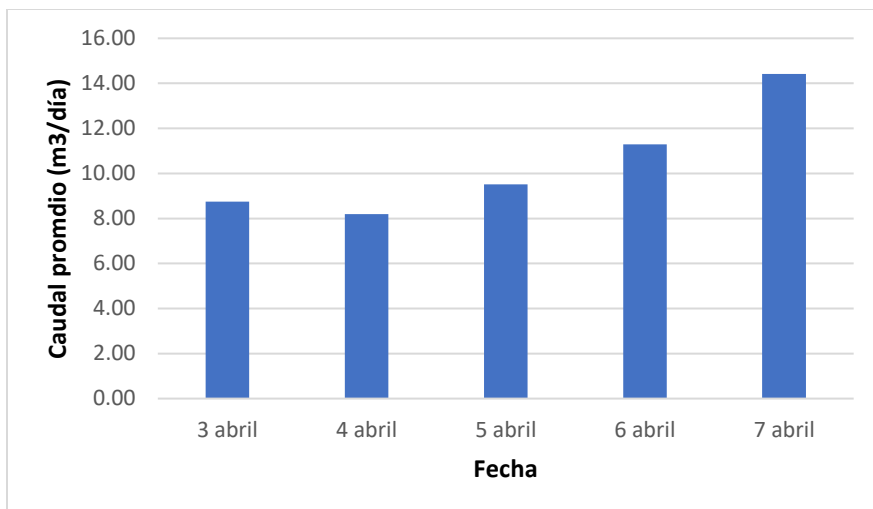


Figura 16. Consumo registrado por medidor de agua en el periodo de Semana Santa del año 2023

Se observa en la Figura 16 que en los primeros días de Semana Santa (lunes martes y miércoles) se tiene un volumen de consumo aproximado de 8 m<sup>3</sup>. Conforme se acerca el fin de Semana Santa, para los días jueves y viernes, el volumen de consumo diario va en aumento. Este aumento se da como respuesta a la mayor visitación en el refugio, tal como se muestra en la Figura 17. A mayor avance de la semana hay mayor cantidad de visitantes. Se obtuvo un consumo máximo de 14,42 m<sup>3</sup> para un día, correspondiente al uso de agua en los baños, servicios sanitarios y pilas.

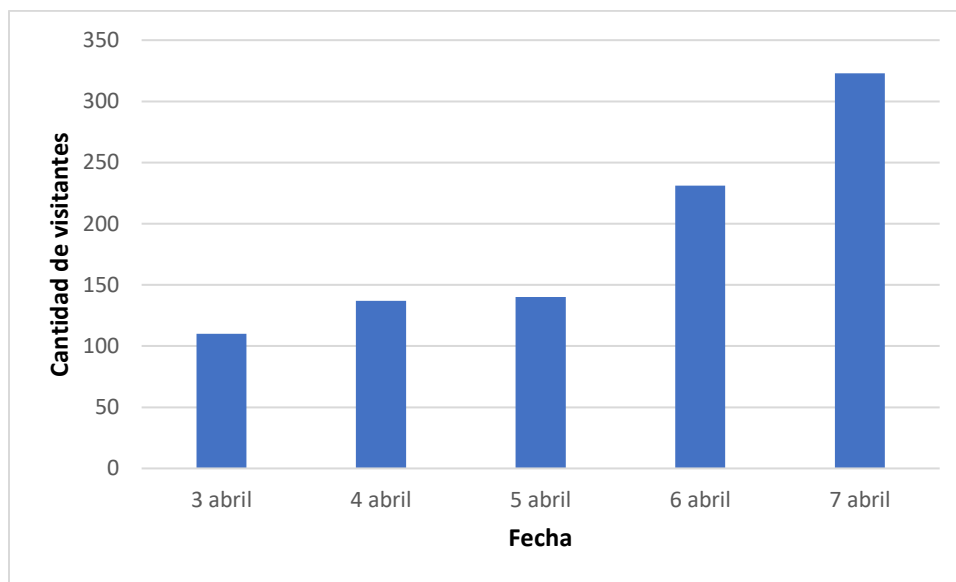


Figura 17. Cantidad de visitantes en el periodo de semana santa del año 2023

Por otra parte, se muestra en la Figura 18 la cantidad de visitantes promedio mensuales. Acá se toma en cuenta datos registrados desde el año 2010 hasta el 2021, exceptuando los registros del

2020 debido al cierre por restricciones sanitarias de la pandemia. Se observa que la mayor cantidad de visitantes se da en los meses de enero y diciembre, seguido de abril debido a Semana Santa.

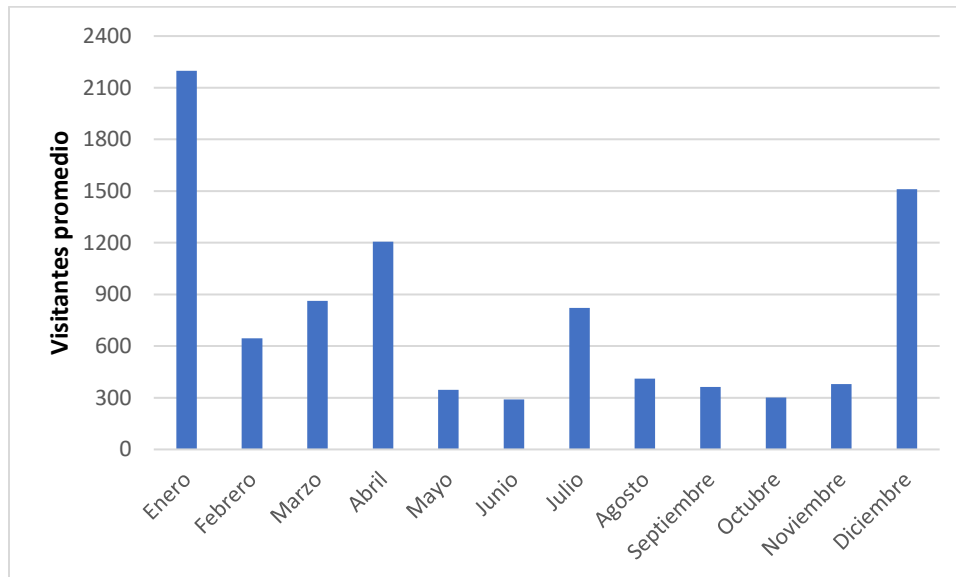


Figura 18. Visitantes promedio mensuales en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal

Por otra parte, en el aforo realizado en las pilas de la zona de camping, para el viernes 07 de abril, se obtuvo un consumo de  $2,13 \text{ m}^3$ , correspondiente al día con mayores visitas. Para ese mismo día, tomando en cuenta los baños y las pilas, se obtuvo un consumo máximo de  $16,55 \text{ m}^3/\text{día}$ .

Para efectos de diseño, es necesario tomar en consideración el aumento a 450 visitantes mencionado en la sección 4.1.1 y proyectar un caudal que permita que el sistema de tratamiento a diseñar funcione bajo un rendimiento óptimo. Para esto se comparó el consumo de agua por visitante en un día con el manual técnico de dotaciones del AyA. Al revisar el Manual Técnico de Dotaciones se encontró que para servicios sanitarios y baños públicos se prevé un consumo de 65 L/persona/día. Por otra parte, al contrastar los datos mostrados en la Figura 16 de consumo de agua en Semana Santa y la Figura 17, de cantidad de visitantes en esta misma semana, se obtuvo en promedio un consumo de 61,49 L/persona/día, el cual tiene un 94,6 % de similitud con el valor dado por las dotaciones.

En vista de esto, se tomará como caudal de diseño el valor del manual técnico de dotaciones, con un consumo de 65 L/persona/día, para un total de 29 250 L/día ( $29,25 \text{ m}^3$ ) con 450 visitantes. Para efectos de diseño, al aplicar un factor de retorno del 85% para aguas residuales (CFIA, 2017), se proyecta una generación de  $24,86 \text{ m}^3/\text{día}$  de aguas residuales.

#### 4.1.2.2. Descripción de producción y calidad del agua residual

En el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal, se da la producción de aguas residuales de tipo ordinarias, conformada por aguas grises y aguas negras. La producción de estas aguas se limita a tres zonas, los servicios sanitarios, las duchas y las pilas. Las aguas negras de los servicios

sanitarios van a dar a cuatro fosas sépticas en serie con el fin de captar sólidos sedimentables. Posterior a las fosas sépticas el agua se infiltra en el subsuelo por medio de un drenaje (Figura 19). Este drenaje se obstruye en días con altas precipitaciones debido a su insuficiencia para responder a altas visitaciones de turistas, lo que genera taponamientos y que los sanitarios no funcionen de forma correcta. Por otra parte, las aguas grises de las duchas y las pilas son distribuidas por medio de tuberías a nivel superficial, escurriendo por el suelo y generando empozamientos (Figura 20). Las aguas grises tienen restos de grasas y comida, lo que genera malos olores, además, de que la fauna del refugio interactúa con las aguas contaminadas.



Figura 19. Fosas sépticas para captación de aguas negras



(a)



(b)

Figura 20. Disposición final de aguas grises de duchas (a) y pilas (b)

En cuanto a la carga orgánica del agua, la caracterización de esta se basó en la consulta de distintas fuentes bibliográficas que describen las aguas residuales domésticas en términos de DBO. Basándose en la revisión mostrada en la sección 2.1.1 del marco teórico y que en el refugio se da la producción de aguas residuales de tipo ordinarias, se tomará como concentración de referencia un valor de 300 mg/L de DBO. Se realiza esta asociación basándose en la similitud de las



referencias consultadas anteriormente con las aguas del refugio, por lo que este será el valor que se usará como entrada para el diseño del sistema de tratamiento.

Cabe resaltar que existe la posibilidad de dar tratamiento a las aguas grises de las pilas en la zona de camping de forma individual, esto debido a ciertas limitantes con la topografía del terreno que se explican más adelante en la sección del diseño. En vista de que la carga orgánica de las aguas grises es menor a la combinación de aguas grises con negras, se toma como valor de diseño una carga de 110 mg/L de DBO para este caso en específico, nuevamente, basándose en la literatura consultada mostrada en el marco teórico.

#### 4.1.3. Infiltración del suelo

Se realizó un total de tres pruebas de infiltración, las cuales fueron distribuidas según lo mostrado en la sección de “descripción de la infraestructura y reconocimiento espacial” con la Figura 12. Las pruebas de infiltración 1 y 3 se realizaron en las cercanías del drenaje actual, mientras que la prueba de infiltración 3 se realizó con una proximidad de 65 metros más cerca al mar.

A la gaveta de la prueba (hueco cuadrado de mayor tamaño) se le dio una profundidad de 45 cm. El agujero cilíndrico se hizo con una profundidad de 60 cm y un diámetro de 30 cm. Por tanto, la profundidad máxima de infiltración fue de 105 cm. Se muestra la forma en que la prueba fue llevada a cabo en la Figura 21.



Figura 21. Pruebas de infiltración del suelo

Bajo condiciones de saturación del suelo, se obtuvo que, para un intervalo de 30 minutos se infiltró una lámina de 13,2 cm, 1,0 cm y 7,0 cm para las pruebas 1, 2 y 3, respectivamente. Usando la ecuación [8], se calculó la tasa de infiltración para cada caso. Una vez calculada la tasa de infiltración, se calculó la velocidad de infiltración por medio de la ecuación [9], con la cual se obtiene el resultado en unidades de L/m<sup>2</sup>/día, por lo que se hace la respectiva conversión a m/s. Se muestra un ejemplo de cálculo para el caso de la prueba de infiltración 1.

$$T_{inf} = \frac{t}{I} = \frac{30 \text{ min}}{13,2 \text{ cm}} = 2,27 \text{ min/cm}$$

$$V_p = \frac{127,75}{\sqrt{T_{inf}}} = \frac{127,75}{\sqrt{2,27 \text{ min/cm}}} = 84,74 \frac{L}{m^2 * \text{ día}}$$

Se sabe que 1 L/m<sup>2</sup> corresponde a 1 mm de agua, por lo que se obtiene la velocidad de infiltración en m/s de la siguiente forma.

$$V_p = 84,74 \frac{mm}{\text{día}} * \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}} * \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 9,81 \times 10^{-7} \text{ m/s}$$

Se sigue el mismo procedimiento para calcular la velocidad de infiltración de las pruebas 2 y 3. Se muestra un resumen de los resultados en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados de lámina infiltrada en el suelo en un intervalo de 30 minutos, bajo condiciones de saturación

Prueba	Lámina (cm)	Tasa de infiltración (min/cm)	Velocidad de infiltración (L/m <sup>2</sup> /día)	Velocidad de infiltración (X 10 <sup>-7</sup> m/s)
1	13,20	2,27	84,74	9,81
2	1,00	30,00	23,32	2,70
3	7,00	4,29	61,71	7,14

Se observa en la Tabla 11 que las pruebas cercanas al drenaje actual (pruebas 1 y 3) poseen una buena tasa de infiltración, sin embargo, cuando la tasa de infiltración es mayor a 24 min/cm, se considera que el suelo no es apto para sistemas de absorción (CFIA, 2017). En vista de esto, no es recomendable construir sistemas de absorción en las cercanías de la prueba de infiltración 3. Cabe destacar que al realizar las perforaciones, no se alcanzó el nivel freático para ninguna prueba.

#### 4.1.4. Caracterización climática

La caracterización climática se basó principalmente en dos parámetros, la temperatura y la precipitación, que serán influyentes en el diseño del humedal artificial y el drenaje respectivamente. Para la caracterización climática, se hizo uso de los datos de los últimos 5 años (2018-2023) de las dos estaciones meteorológicas del IMN más cercanas al refugio. La estación de La Cruz y la estación de Santa Elena, ubicadas a 11 y 10 km de la reserva, respectivamente.

Se estimó el comportamiento climático en el refugio por medio del promedio mensual de las dos estaciones anteriormente mencionadas. Se muestra el comportamiento de la temperatura en la Figura 22.

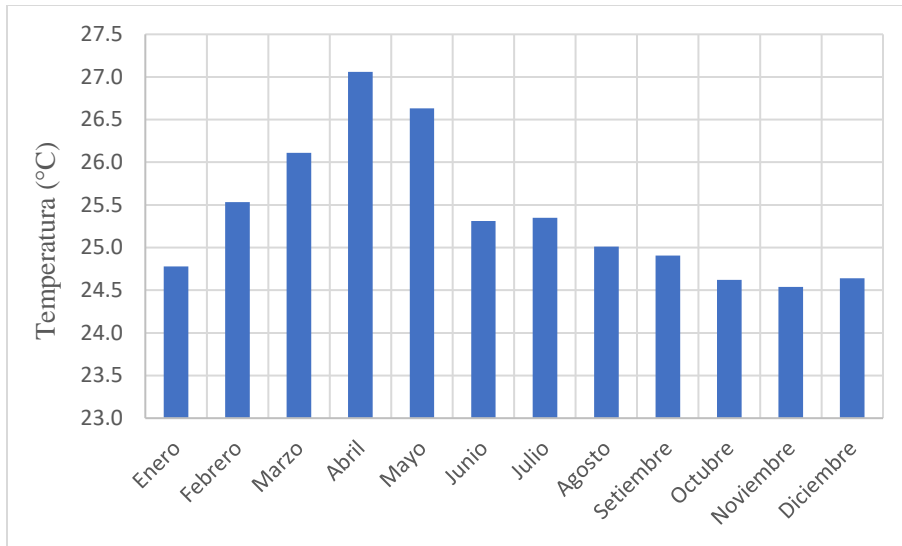


Figura 22. Estimación de temperatura promedio mensual (año 2018-2023) en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal, a partir de las estaciones meteorológicas La Cruz y Santa Elena

Se tiene un pico máximo de temperatura en el mes de abril, con una temperatura de 27,1 °C, para un posterior descenso hasta el mes de noviembre, con una temperatura mínima de 24,5 °C. Por otra parte, se muestra las precipitaciones promedio en la Figura 23.

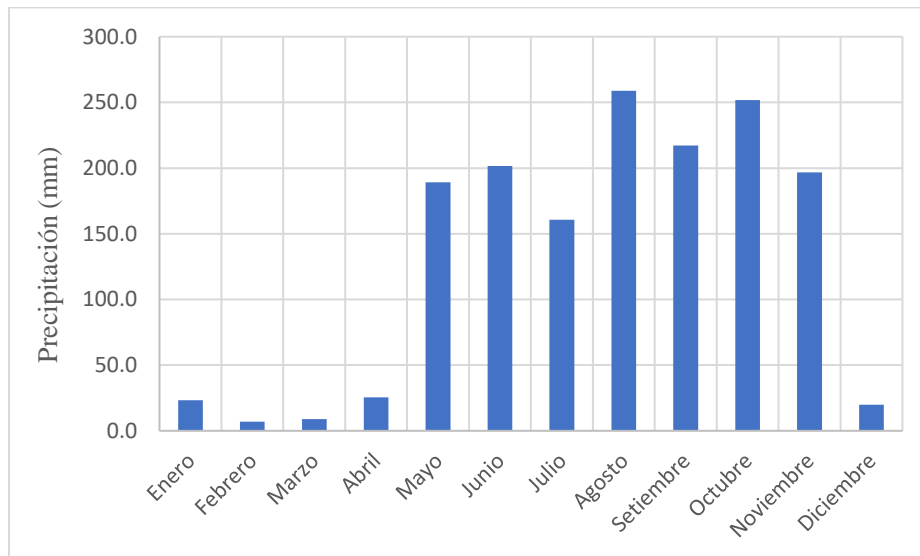


Figura 23. Estimación de la precipitación promedio mensual (año 2018-2023) en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal, a partir de las estaciones La Cruz y Santa Elena

Las precipitaciones se caracterizan por una época seca desde el mes de diciembre hasta el mes de abril, coincidiendo la época seca con los meses de mayores temperaturas mostradas en la Figura 21. En el mes de mayo se tiene un aumento de las precipitaciones, donde a su vez comienza a darse un descenso de las temperaturas. En total, se estima que la precipitación promedio anual en el refugio es de 1560 mm, la cual es menor que la precipitación promedio anual en San José, dato que será relevante próximamente para el dimensionamiento del drenaje.

#### 4.1.5. Resumen de datos requeridos para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales

En resumen, los resultados obtenidos en el objetivo 1 se muestran en la tabla 12. Estos datos se toman como base para el dimensionamiento de los distintos componentes que forman el sistema para el tratamiento de aguas residuales.

Tabla 12. Resumen de resultados requeridos para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.

<b>Parámetro</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Diseño en que se usará el dato</b>
Inodoros actuales	3	UD	
Inodoros nuevos	6	UD	Tuberías de descarga,
Duchas actuales	3	UD	trampas de grasa,
Duchas nuevas	6	UD	interceptores de sólidos,
Pilas actuales	5	UD	vertedero
Pilas nuevas	3	UD	
Pendiente del terreno	1-3	%	Tuberías de descarga, sistema para reúso
Cantidad de personas	450	UD	Tanque séptico
Caudal de aguas residuales	24,86	m <sup>3</sup> /día	Humedal artificial
Concentración contaminante del agua	300	mg/L DBO	Humedal artificial
Temperatura promedio del mes más frío	24,5	°C	Humedal artificial
Precipitación promedio anual	1560	mm	Drenaje
Infiltración promedio 1 y 3 del suelo	3,28	min/cm	Drenaje
Infiltración 2 del suelo	30	min/cm	Riego

Conocer la cantidad de inodoros, duchas y pilas es requerido para determinar las unidades de descarga, usadas para el dimensionamiento del diámetro de tuberías, tamaño de los interceptores de sólidos, trampas de grasa y diseño del vertedero. Conocer la pendiente del terreno es requerido para saber la pendiente que se le puede dar a las tuberías que conducen las aguas residuales. Además, permite conocer la diferencia de alturas entre la salida del humedal y los servicios sanitarios nuevos para el diseño del tanque de almacenamiento del sistema de reúso.

Se requiere conocer la cantidad de personas para el dimensionamiento del tanque séptico, según lo mostrado en las ecuaciones de la tabla 5. Además, de ser un dato requerido para la proyección del caudal de diseño del humedal según lo mostrado en la sección 4.1.2.1. El caudal máximo diario, la concentración contaminante del agua y la temperatura del mes más frío se usan para el diseño del humedal artificial por medio de la ecuación [5] y [6].

La precipitación y la infiltración del suelo se usa para el dimensionamiento del drenaje. Por otra parte, en caso de usar vertido final por medio de riego, se usa la infiltración del suelo nombrada como infiltración 2 para asegurar que el agua descargada no supere la capacidad de absorción del suelo.

#### 4.2. Diseño del sistema de tratamiento y reúso de aguas residuales en el Refugio Nacional de Vida silvestre Bahía Junquillal

El sistema de tratamiento propuesto está conformado por tres etapas. La primera es un pretratamiento para las aguas grises. Le sigue un tratamiento primario para las aguas negras. Finalmente, un tratamiento secundario para la combinación de ambos tipos de aguas. Primeramente, el agua residual generada en las pilas pasará por una trampa de grasas, esto debido a que los turistas lavan utensilios en las pilas los cuales fueron utilizados para cocinar o comer, por lo que pueden tener rastros de grasas y comida. De forma paralela, se tiene la generación de aguas grises en las duchas, las cuales contendrán principalmente jabones y arenas, por lo que el agua residual de las duchas pasará por un interceptor de sólidos, con la finalidad de retener las partículas de arena. Estos dos tipos de aguas grises se unen en una sola tubería. Por otra parte, el agua residual generada por los servicios sanitarios pasará por un tanque séptico en donde se espera una primera remoción de la materia orgánica.

Posteriormente, ambos flujos de agua, aguas grises y aguas negras, serán recibidos en un tanque interceptor en donde se combinará la totalidad de las aguas, para después pasar al tratamiento secundario conformado por un humedal artificial. Se tendrá la salida del agua tratada desde el humedal artificial, la cual será interceptada por otro tanque. Parte del agua tratada será dirigida por una bomba sumergible hacia un tanque de almacenamiento elevado, a partir del cual se distribuirá el agua para reúso en servicios sanitarios por medio de gravedad. El agua no utilizada para reúso será dirigida por medio de tuberías hacia las zonas verdes de la reserva, con la finalidad infiltrarla en el suelo ya sea por medio de un drenaje o por medio de un conjunto de tuberías para riego superficial. Se presenta un diagrama de flujo del sistema de tratamiento en la Figura 24.

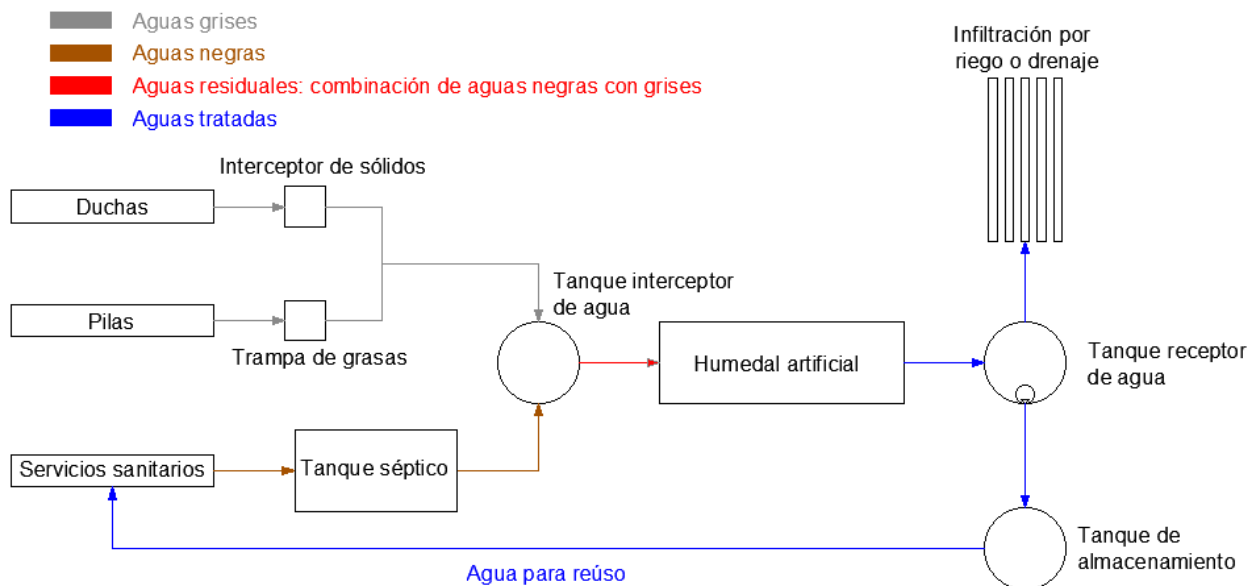


Figura 24. Diagrama de flujo de sistema para tratamiento de aguas residuales en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal (dibujo sin escala)

Para el posicionamiento de las distintas unidades de tratamiento se trabajará con dos posibles escenarios los cuales se describen a continuación.

#### Primer escenario de la ubicación del sistema en el área del refugio

En un primer escenario, el objetivo es llevar las aguas desde los baños nuevos, los cuales se tiene previsto colocar cerca del parqueo, hasta el tanque interceptor antes del humedal el cual se encontrará en una zona cercana a los baños actuales. Para esto es requerido que los baños nuevos se construyan con una sobrelevación de un metro sobre el nivel del suelo para poder transportar las aguas por medio de la gravedad. Se muestra un ejemplo para el edificio de los servicios sanitarios en la figura 25. El fin de esto es permitir que el vertido final se haga sobre la zona del terreno que tiene buena infiltración para optar por el uso de zanjas de drenaje.

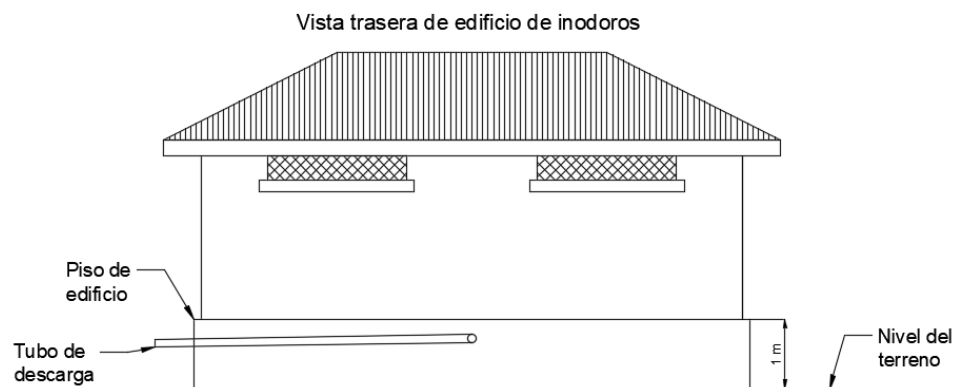


Figura 25. Representación de elevación de edificio de inodoros sobre el nivel del suelo

Cabe destacar que las pilas que se encuentran actualmente cerca de la zona de camping no podrán tener una elevación sobre el nivel del suelo, puesto que ya se encuentran construidas. Para dar tratamiento a las aguas de estas pilas se propone construir un humedal artificial de menor tamaño para dar un vertido final por medio de infiltración a nivel superficial en el suelo.

#### Segundo escenario de la ubicación del sistema en el área del refugio

En el segundo escenario, los baños nuevos se colocarán en el mismo lugar, sin embargo, se tiene previsto que todo el sistema de tratamiento se encuentre cerca de los baños nuevos. Esto implica que el vertido final se haga sobre la parte del terreno que tiene mala infiltración, imposibilitando el uso de zanjas de drenaje. En lugar de las zanjas de drenaje, se optará por un vertido final por medio de tuberías para realizar un riego a nivel superficial.

Para el segundo escenario, se podrá conducir las aguas grises de las pilas del camping para que conecten en la misma tubería de descarga de las pilas nuevas. De esta manera, dar tratamiento a la totalidad de las aguas en un solo humedal artificial. Indistintamente de cuál sea el escenario, las distintas unidades que conforman el sistema de tratamiento tendrán el mismo diseño, en donde lo que tendrá principal variación será el vertido final de las aguas, la ubicación de las unidades de tratamiento, y por ende, las longitudes y pendientes de las tuberías utilizadas.

Se muestra a continuación el dimensionamiento y diseño de las partes que conforman el sistema de tratamiento.

#### 4.2.1. Dimensionamiento de pretratamiento por trampas de grasas

La finalidad de las trampas de grasas será separar las grasas provenientes en el agua de las pilas, además de restos de comida que provengan del lavado de platos y utensilios. En caso de cocinas, su dimensionamiento se basa en la carga hidráulica y la capacidad de almacenamiento de grasas que tengan las unidades generadoras de grasas. Dado que en el caso de Junquillal no se trata de grasas provenientes de cocinas, se aproximará al caso más simplificado según el CFIA (2017) el cual se trata de un escenario de aguas provenientes de una cocina sencilla.

Las aguas que irán a dar a las trampas de grasas tendrán origen en las tres pilas nuevas y las cuatro pilas actuales. Cada pila corresponde a tres unidades de descarga (3 U.D) y se asignará una trampa de grasas a cada grupo de pilas obteniendo un total de dos trampas. El tiempo de retención mínimo corresponde a 24 minutos, mismo valor que se tomará para el dimensionamiento de la trampa de grasas por medio de la ecuación [10] tal como se muestra.

$$V_L = U.D * t_{ret} * f_{almc}$$

$$V_{L,3 pilas} = 3 * 3 U.D * 24 \text{ min} * 7 \frac{L}{\text{min}} = 1\ 512 L = 1,512 m^3$$

$$V_{L,4 pilas} = 4 * 3 U.D * 24 \text{ min} * 7 \frac{L}{\text{min}} = 2\ 016 L = 2,016 m^3$$

Por tanto, se requerirá una trampa de grasas de 1,5 m<sup>3</sup> para tres pilas y 2,0 m<sup>3</sup> para cuatro pilas. Las trampas deberán tener una profundidad para líquidos mínima de 60 cm y un espacio libre de 20 cm por encima del espejo de agua, además de una relación de largo:ancho entre 2:1-3:2. Se opta por adquirir trampas de grasas prefabricadas de forma comercial, por lo que se busca en el mercado trampas que cumplan con el volumen calculado y las relaciones de las dimensiones descritas.

Al considerar distintas opciones, se eligió una trampa de grasas marca Mucho Tanque. Según las especificaciones técnicas, el modelo elegido tiene capacidad de un volumen líquido de 2200 L, el cual cumple con los requerimientos de volumen anteriormente calculados. Por otra parte, según la ficha técnica la trampa de grasas, también posee características que le permite atrapar sólidos, siendo este un beneficio ante cualquier posibilidad de que se descarguen partículas de arenas y comida en las tuberías.

#### 4.2.2. Dimensionamiento de pretratamiento por interceptor de sólidos

La finalidad del interceptor de sólidos es sedimentar las arenas y otras partículas gruesas que puedan generar obstrucciones en tuberías y etapas posteriores del tratamiento. Los interceptores serán colocados en la salida de las duchas para interceptar las arenas provenientes de los bañistas. Un interceptor se coloca a la salida de las duchas actuales y otro a la salida de las duchas nuevas.

Para el dimensionamiento se utilizó los criterios mostrados en la Tabla 4 de la sección de metodología.

Dado que los interceptores deben estar en la capacidad de sedimentar las partículas sólidas en condiciones de turbulencia máxima por parte de las unidades generadoras de descarga, se debe tomar como caudal de diseño el caudal máximo probable. Para el caso de las duchas actuales se tiene un total de tres duchas (4 U.D por cada ducha, para un total de 12 U.D) y una pila que se usa para la limpieza de manos (6 U.D), ambos conectados al mismo tubo de descarga. Para el caso de las duchas nuevas, se tiene un total de seis duchas (4 U.D por cada ducha, para un total de 24 U.D).

Para las duchas actuales se tiene un total de 18 unidades de descarga, por lo que el caudal de diseño para el interceptor de sólidos se calcula por medio de la ecuación [27] según se muestra.

$$Q = 0,13 * U.D^{0,669}$$

$$Q = 0,13 * 18^{0,669} = 0,90 \text{ L/s} = 53,9 \text{ L/min}$$

Por otra parte, para las duchas nuevas las cuales tendrán un total de 24 unidades de descarga, se calcula el caudal de diseño de la misma forma por medio de la ecuación [27] según se muestra.

$$Q = 0,13 * 24^{0,669} = 1,09 \text{ L/s} = 65,4 \text{ L/min}$$

Según los criterios mostrados en la Tabla 4, el área mínima de entrada debe ser de 2 000 cm<sup>2</sup> para un caudal máximo de 75 L/min. Como 75 L/min es mayor a los caudales calculados, se toma el área mínima como la de diseño para ambos interceptores. A su vez, la longitud total mínima debe ser de 75 cm, por lo que el volumen mínimo corresponde a 150 L.

$$V_{min} = A_{min} * L$$

$$V_{min} = 2000 \text{ cm}^2 * 75 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}^2 * 0,75 \text{ m}$$

$$V_{min} = 0,15 \text{ m}^3 = 150 \text{ L}$$

Al igual que con las trampas de grasa, se opta por obtener interceptores prefabricados que cumplan con el volumen mínimo recién calculado. Para este caso se elige una unidad que permite interceptar tanto grasas como partículas sólidas, también de la marca Mucho Tanque. Esta unidad posee un volumen de 400 L, el cual cumple con el requerimiento anteriormente calculado.

#### 4.2.3. Diseño de tratamiento primario para aguas negras

##### 4.2.3.1. Dimensionamiento de tratamiento primario

Para el tratamiento primario de las aguas negras, se propone el uso de tanques sépticos, que permitan la biodigestión de los sólidos sedimentables y que cumpla con los requerimientos del Reglamento para la Disposición al Subsuelo de Aguas Residuales Ordinarias Tratadas. Previendo que en el refugio se construirán nuevos servicios sanitarios, se distribuirá proporcionalmente la cantidad de personas para cada servicio sanitario, remplazando a su vez las fosas actuales.

Actualmente, se cuenta con tres servicios sanitarios, según lo mostrado en la Tabla 10 de la sección 4.1. Por otra parte, se incorporarán seis servicios sanitarios adicionales, por lo que se contará con



un total de nueve servicios sanitarios. Con la finalidad de que el volumen útil del tanque séptico no supere los 20 m<sup>3</sup>, se diseñará el sistema para incorporar un total de tres tanques sépticos, asignando una carga de 150 personas para cada tanque, para un total de 450 personas, según proyecciones por parte de la administración del refugio.

Se muestran en la Tabla 13 los criterios que fueron tomados para el dimensionamiento del volumen del tanque séptico de los baños actuales.

Tabla 13. Criterios para dimensionamiento del volumen del tanque séptico

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Cantidad de personas por atender, P	150	Persona
Caudal por persona, q	15 <sup>1</sup>	L/persona/día
Tiempo de retención hidráulica, Th	1 <sup>2</sup>	Días
Temperatura, T	24,5 <sup>3</sup>	°C
Periodos entre limpiezas, n	2 <sup>4</sup>	Años
Factor de caracterización de aguas y lodos, r	30 <sup>4</sup>	L/persona/día

1: Según manual técnico de dotaciones de agua (MINAE, 2021)

2: Según reglamento para la disposición al subsuelo de aguas residuales ordinarias tratadas (MINAE, 2003)

3: Temperatura promedio del mes más frío registrada en estaciones meteorológicas

4: Según Artículo 10.2-20 del Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones (CFIA, 2017)

Utilizando como base de cálculo los parámetros mostrados en la Tabla 13, se calcula el volumen del tanque séptico usando las ecuaciones de la Tabla 5, en donde se contempla el volumen para sedimentación, volumen para biodigestión y volumen para almacenamiento de lodos.

A continuación, se muestra a detalle el cálculo, en donde primeramente se realiza el cálculo del volumen para sedimentación por medio de la ecuación [11].

$$V_S = 10^{-3} * P * q * t_h$$

$$V_S = 10^{-3} * 150 \text{ personas} * 15 \frac{L}{\text{persona} * \text{día}} * 1 \text{ día} = 2,25 \text{ m}^3$$

Para calcular el volumen para biodigestión por medio de la ecuación [12], se requiere calcular el tiempo para biodigestión para materia orgánica por medio de la ecuación [13], la cual está en función de la temperatura.

$$t_d = 28 * (1,035)^{35-T}$$

$$t_d = 28 * (1,035)^{35^{\circ}\text{C} - 24,5^{\circ}\text{C}} = 40,18 \text{ días}$$

Teniendo el tiempo para biodigestión de materia orgánica, se calcula el volumen para biodigestión.

$$V_d = 0,5 * 10^{-3} * P * t_d$$

$$V_d = 0,5 * 10^{-3} \frac{m^3}{personas * días} * 150 personas * 40,18 días = 3,01 m^3$$

El volumen para almacenamiento de lodos se calcula por medio de la ecuación [14].

$$V_a = 10^{-3} * r * P * \left( n - \frac{t_d}{365} \right)$$

$$V_a = 10^{-3} * 30 \frac{L}{persona * año} * 150 personas * \left( 2 años - \frac{40,18 días}{365} \right) = 8,50 m^3$$

El volumen total para líquidos del tanque séptico estará compuesto por la sumatoria del volumen para sedimentación, biodigestión y almacenamiento de lodos.

$$V_{tL} = V_s + V_d + V_a$$

$$V_{tL} = 2,25 m^3 + 3,01 m^3 + 8,50 m^3 = 13,77 m^3$$

Una vez obtenido el volumen requerido del tanque séptico, se define su geometría según los criterios mostrados en la Tabla 14. Se muestran estos criterios en cumplimiento con el Reglamento para Disposición al Subsuelo de Aguas Residuales Ordinarias Tratadas.

Tabla 14. Criterios para determinación de dimensiones de tanque séptico (MINAE, 2003)

Parámetro	Valor	Unidad
Profundidad útil del líquido, $P_u$	1,00 - 2,80	m
Relación largo:ancho mínima	3:1	-
Relación largo:ancho máxima	4:1	-
Ancho mínimo	70	cm
Borde libre mínimo, $B_L$	30	cm
Tiempo de retención hidráulica (TRH) mínimo	1	Días

Se propone que el tanque séptico tenga una profundidad útil de 1,5 m. Con esta profundidad, para cumplir con el volumen anteriormente calculado, se puede estimar el área superficial por medio de la relación geométrica de un prisma rectangular.

$$A_s = \frac{V_{tL}}{P_u}$$

$$A_s = \frac{13,77 m^3}{1,5 m} = 9,18 m^2$$

Manteniendo una relación de largo:ancho de 1:3, se determina las dimensiones de tal modo que se mantenga esta relación y se cumpla con el área superficial calculado. Se puede determinar el ancho teórico por medio de relaciones geométricas, tal como se muestra.

$$W_{teórico} = \sqrt{\frac{A_s}{3}}$$

En donde W corresponde al ancho del tanque séptico, y sus unidades van a estar determinadas según las unidades en que se ingrese el área superficial. Se procede a realizar la sustitución por los valores calculados anteriormente.

$$W_{teórico} = \sqrt{\frac{9,18 \text{ m}^2}{3}} = 1,92 \text{ m}$$

Dado que la relación largo:ancho es de 1:3, se obtiene el largo (L) multiplicando el ancho por 3, tal como se muestra.

$$L_{teórico} = 3 * W_{teórico} = 3 * 1,92 \text{ m} = 5,75 \text{ m}$$

Para manejar dimensiones de fácil construcción, se realiza un ajuste del ancho del tanque séptico a 1,80 m y el largo a 5,35 m. El borde libre, el cual corresponde a la distancia entre el espejo de agua, y la losa del tanque séptico, se propone que sea de 30 cm, el cual cumple con la recomendación de un 20 % de la profundidad útil para líquidos según el CFIA (2017), por lo que la profundidad total ( $P_T$ ) del tanque será de 1,80 m.

$$P_T = P_u + B_L$$

$$P_T = 1,50 \text{ m} + 0,30 \text{ m} = 1,80 \text{ m}$$

Por otra parte, según lo mostrado en la Tabla 13, el tiempo de retención hidráulica debe ser de al menos 1 día, por lo que se realiza la comprobación por medio de la relación entre el volumen y el caudal. El volumen por utilizar es aquel que resulta del ajuste final de las dimensiones. Este volumen corresponde a  $14,45 \text{ m}^3$  ( $5,35 * 1,80 * 1,50 \text{ m}^3$ ).

$$TRH = \frac{V}{Q} = \frac{14,45 \text{ m}^3}{2,25 \text{ m}^3/\text{día}} = 6,42 \text{ días}$$

Se observa que el tiempo de retención hidráulica cumple con el mínimo recomendado. Cabe destacar que el volumen utilizado es el volumen útil para fluidos y no el volumen total del tanque séptico, para no tomar en consideración un espacio que es abarcado por gases y no por líquido. Se muestra en la Tabla 15 un resumen con los resultados obtenidos.

Tabla 15. Resultados de dimensionamiento de tanque séptico para baños actuales

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Volumen para sedimentación, $V_s$	2,25	$m^3$
Volumen para biodigestión, $V_d$	3,01	$m^3$
Volumen para almacenamiento de lodos, $V_a$	8,50	$m^3$
Volumen total para líquidos, $V_{tL}$	13,77	$m^3$
Ancho, $W$	1,8	m
Largo, $L$	5,35	m
Relación largo:ancho	3:1	-
Profundidad útil, $P_u$	1,5	m
Profundidad total	1,8	m
Volumen útil para fluidos, $V_u$	14,45	$m^3$
Volumen total final del tanque séptico, $V_T$	17,33	$m^3$
Tiempo de retención hidráulica, TRH	6,42	Días

#### 4.2.3.2. Aspectos constructivos y planos de tanques sépticos

A pesar de que las dimensiones de los tanques sépticos ya se encuentran establecidas, hay una serie de parámetros de naturaleza constructiva que hay que cumplir de forma obligatoria debido a reglamentaciones nacionales. Entre los reglamentos a tomar en consideración, se encuentra el Reglamento para la Disposición al Subsuelo de Aguas Residuales Ordinarias Tratadas (MINAE, 2003), además de otras recomendaciones dadas por el CFIA (2017) y Rosales (2008). Entre las consideraciones constructivas a saber, se encuentran las siguientes:

- La entrada del afluente y la salida del efluente debe estar compuestas de accesorios tales como las uniones T con niples hacia abajo y hacia arriba. En el niple superior se debe dejar una distancia libre de 2 cm antes de la losa.
- Los gases generados en el tanque séptico deben ser evacuados por medio de un tubo de 1,5 pulgadas. La altura deberá ser suficiente para que no se puedan percibir malos olores por parte de las personas.
- La diferencia de elevación mínima entre el tubo de entrada del efluente y el tubo de salida del efluente debe ser de al menos 7,5 cm.
- La sumergencia mínima del tubo de entrada debe ser de 15 cm.
- La profundidad mínima del tubo de salida debe ser la mayor entre 1/3 de la profundidad útil o 40 cm.
- Se debe tener un sobre borde mínimo de 15 cm sobre la superficie del terreno.
- Se debe colocar dos registros en la losa superior, sobre la posición que ocupen las uniones T, esto con el fin de verificar el nivel de los lodos almacenados.

- Se debe colocar un registro principal para la extracción de materiales y limpieza del tanque séptico. Este registro deberá tener unas dimensiones mínimas de 40x60 cm, y tener rebordes de sello flexible sobre la losa de concreto.
- Las paredes serán reforzadas en bloques de 15x20x40 cm.
- La losa inferior será de concreto reforzado con un espesor de 15 cm, mientras que la superior tendrá un espesor de 10 cm.

En cuanto a aspectos de refuerzo de las paredes y las losas, hay que tener en consideración los siguientes aspectos mencionados en el código sísmico de Costa Rica (CFIA, 2010) para evitar agrietamientos de las superficies.

- Los bloques deben ser colocados en hiladas horizontales con traslape entre cada hilada.
- Se debe colocar varillas #3 para refuerzo vertical a una distancia de 20 cm entre varillas, por lo que se pondrá una varilla en cada celda de los bloques de concreto.
- Se debe colocar varillas #2 para refuerzo horizontal a una distancia de 40 cm entre varillas, por lo que se pondrá una varilla cada dos hiladas de los bloques.
- Se debe colocar columnas que den soporte lateral a las paredes del tanque séptico. Estas columnas deben colocarse en cada esquina de las paredes, además, para paredes con bloques rellenos la separación máxima entre columnas debe ser de 2,50 m.
- En las columnas se deben colocar cuatro varillas #3, una en cada esquina de la columna, las cuales deben estar confinadas por aros #2 a una distancia vertical de cada 20 cm. Dichos aros se deben terminar con un gancho de 6 cm de longitud y un ángulo de 135°.
- Se deberá colocar una viga en la corona de las paredes, conformadas por varillas #3 y aros #2 cada 20 cm.
- Las losas deberán estar reforzadas por una malla de varillas #3 cada 20 cm.
- El concreto a utilizar deberá tener un factor de compresión ( $f_c$ ) de 210 kg/cm<sup>2</sup>.

Se realizó la construcción de los planos tomando en consideración el conjunto de los parámetros anteriormente mencionados. Se muestra el plano constructivo de los tanques sépticos en la Figura 26.

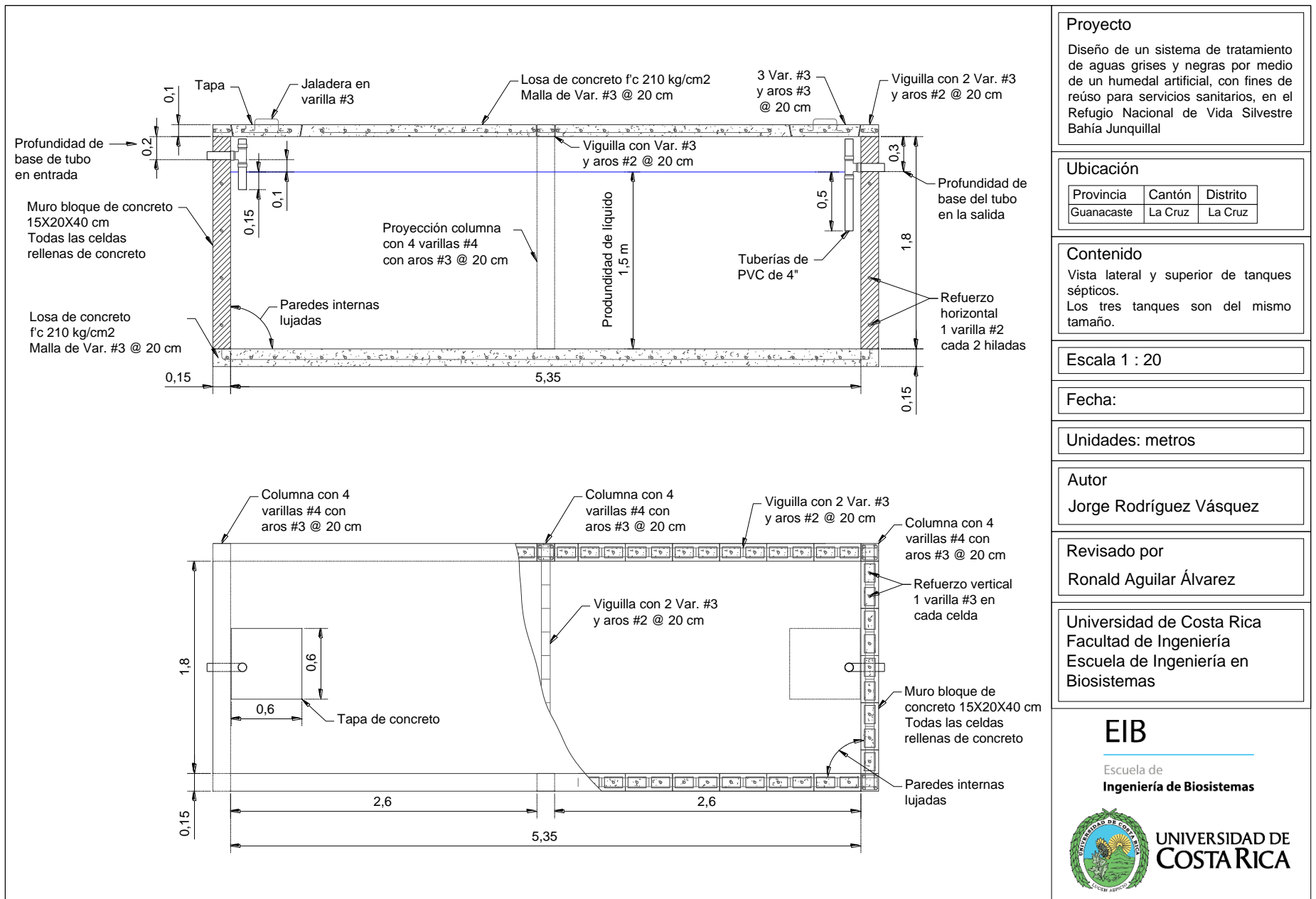


Figura 26. Planos constructivos de tanque séptico

#### 4.2.4. Diseño de humedal artificial

##### 4.2.4.1. Dimensionamiento de humedal artificial

Para el diseño del humedal artificial se planteó el uso de dos configuraciones de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal para distintas profundidades del humedal. Una primera configuración está compuesta por un solo humedal, mientras que la segunda configuración a considerar se compone de dos humedales en paralelo.

El dimensionamiento de los humedales se realizó utilizando el caudal máximo proyectado, previendo un total de 450 visitantes al refugio con un caudal de diseño de 24,86 m<sup>3</sup>/d, tal como se mencionó en la sección 4.1.2.1. Cabe destacar que para las configuraciones en paralelo cada humedal trataría el 50 % del caudal de diseño, por lo que estas configuraciones se calculan con la mitad del caudal.

El dimensionamiento del humedal se realizó utilizando el modelo de flujo de tapón modificado, por lo que hubo definir las condiciones iniciales de cálculo para dicho modelo. Se muestra en la Tabla 16 los valores de entrada considerados para el dimensionamiento de los humedales artificiales.

Tabla 16. Consideraciones para dimensionamiento de los humedales artificiales por medio del modelo de flujo de tapón modificado

Parámetro	Valor	Unidades
Caudal, 1 humedal	24,86 <sup>1</sup>	m <sup>3</sup> /d
Caudal, 2 humedales en paralelo	12,43	m <sup>3</sup> /d
Temperatura, T	24,5 <sup>2</sup>	°C
Porosidad de sustrato, $\eta$	41,44 <sup>3</sup>	%
Constante de remoción a una temperatura de 20 °C, $K_{20}$	1,104 <sup>4</sup>	d <sup>-1</sup>
Coefficiente de temperatura, $\theta$	1,060 <sup>4</sup>	Adimensional
Carga orgánica de influente, $C_i$	300	mg/L DBO
Carga orgánica de efluente, $C_e$	50,0 <sup>5</sup>	mg/L DBO
Conductividad hidráulica, $K_f$	1000 <sup>6</sup>	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d
Relación largo:ancho	2:1 - 4:1 <sup>7</sup>	Adimensional
Profundidad, P	0,3/0,4/0,5/0,6 <sup>8</sup>	m

1: Proyección de caudal de consumo para 450 personas

2: Temperatura promedio del mes más frío registrada en estaciones meteorológicas

3: Porosidad de piedra comercial vendida en las cercanías del refugio

4: Constantes basadas en DBO para humedales de flujo subsuperficial en aplicaciones tropicales (Tanaka, 2011)

5: DBO objetivo del efluente según requerimientos del Reglamento para vertido y reúso de aguas residuales

6: Asprilla et al (2020), Kadlec & Kniht (1996)

7: Dotro et al (2017)

8: Según lo mostrado en la tabla 6

Para determinar las dimensiones del humedal artificial, primero se hizo uso de la ecuación [5] para el cálculo del área superficial requerido. A pesar de que se pueda despejar el área superficial, la ecuación [5] no da indicativos de cuánto debe ser el largo y el ancho del humedal. Para determinar el largo y el ancho se utilizó dos criterios que se deben cumplir simultáneamente, el primero consiste en la recomendación de que la relación de largo:ancho debe estar entre 2:1 a 4:1. El segundo criterio consiste en que debe asegurarse un área transversal que permita el paso del agua sin que haya flujo superficial, esto por medio de la ley de Darcy mostrada en la ecuación [7].

A modo ilustrativo, se muestra el procedimiento llevado a cabo para el cálculo del área superficial de la configuración 1 mostrada en la Tabla 6, tomando como base una profundidad (P) de 60 cm.

$$A_s = \frac{Q * \ln\left(\frac{C_a - C^*}{C_e - C^*}\right)}{K_T * P * \eta}$$

Para hacer uso de la ecuación [7], es requerido estimar el dato de la concentración base (C\*), la cual se calcula por medio de la ecuación [3].

$$C^* = 3,5 + 0,053C_i$$

$$C^* = 3,5 \text{ mg/L} + 0,053 * 300 \text{ mg/L}$$

$$C^* = 19,4 \text{ mg/L}$$

Por otra parte, se requiere calcular la constante de remoción de primer orden ( $K_T$ ), la cual es dependiente de la temperatura del agua, la cual se aproxima a la temperatura ambiental del mes más frío mostrada en la Tabla 16. La constante de velocidad a una temperatura de 20 °C, y la constante de temperatura adimensional se toman para una reducción de DBO en zonas tropicales según lo mostrado en la tabla 1. Estos valores también se muestran en la Tabla 16 y al sustituirlos en la ecuación [4] se obtiene el resultado mostrado.

$$K_T = K_{20} \theta^{(T-20)}$$

$$K_T = 1,104 \text{ d}^{-1} * 1,06^{(34,5^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})}$$

$$K_T = 1,4350 \text{ d}^{-1}$$

Habiendo calculado C\* y  $K_T$ , se pueden sustituir en la ecuación [5] para obtener el área superficial del humedal con la profundidad obtenida anteriormente.

$$A = \frac{24,86 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} * \ln\left(\frac{30 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 19,4 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{300 \frac{\text{mg}}{\text{L}} - 19,4 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}\right)}{1,4350 \text{ d}^{-1} * 0,6 \text{ m} * 0,4144}$$

$$A_s = 154,41 \text{ m}^2$$



Obtenido el área superficial, por medio de la ley de Darcy con la ecuación [7] se calcula el área de sección transversal mínima para que el agua pueda pasar a través del humedal sin que haya flujo superficial. Para esto se aproxima el gradiente hidráulico a la pendiente del fondo del humedal la cual corresponde a 1%. En cuanto a la conductividad hidráulica, se toma la correspondiente de grava media, siendo de  $1000 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{d}$  según lo mostrado en la tabla 2 de la sección 2.3.3.2 del marco teórico.

$$A_{T,requerida} = \frac{Q}{K_f * S}$$

$$A_{T,requerida} = \frac{24,86 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{1000 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{d}} * 0,01 \frac{\text{m}}{\text{m}}} = 2,49 \text{ m}^2$$

Una vez obtenido tanto el área superficial como al área transversal, se elige un largo y un ancho de tal modo que la relación largo:ancho se mantenga entre 2:1 a 3:1. Por otra parte, el ancho del humedal debe ser el suficiente para poder cumplir con el área de sección transversal calculada anteriormente. Se decide usar un ancho de 8,7 m y un largo de 17,8 m, obteniendo una relación largo:ancho de 2,04, un área superficial de  $154,41 \text{ m}^2$  y un área de sección transversal de  $5,22 \text{ m}^2$ , lo que asegura el paso del agua por el medio poroso sin que se genere flujo superficial.

Finalmente, se realiza el cálculo del tiempo de retención hidráulica (TRH) para asegurarse que sea mayor a la recomendación mínima de un día. Para el cálculo del TRH se hace uso del volumen compuesto por las dimensiones calculadas y de la porosidad, ya que es requerido tomar en consideración únicamente el espacio disponible para el fluido, es decir, el espacio poroso.

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

$$TRH = \frac{A_s * P * \eta}{Q} = \frac{L * W * P * \eta}{Q}$$

$$TRH = \frac{17,8 \text{ m} * 8,7 \text{ m} * 0,6 \text{ m} * 0,4144}{24,86 \text{ m}^3/\text{d}}$$

$$TRH = 1,55 \text{ d}$$

Se obtiene un TRH de 1,55 días, por lo que se cumple con la recomendación mínima de un día. Se llevó a cabo el mismo procedimiento para las demás configuraciones y profundidades, obteniendo los resultados mostrados en las tablas 17 y 18. En estas tablas se muestran el área superficial y transversal teóricas, las cuales se obtienen a partir del cálculo con las ecuaciones. Seguidamente, se muestran el largo y el ancho elegido para el humedal, y se calcula su relación largo:ancho (L:W) para asegurar que se encuentre entre 2-4. Finalmente se muestra el área superficial, área transversal y TRH obtenidos con las dimensiones finales elegidas, para asegurar que cumplan con los cálculos teóricos.

Tabla 17. Resultados de dimensionamiento de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con totalidad del caudal tratado

<b>Profundidad (m)</b>	<b>A<sub>S</sub> teórica (m<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>T</sub> teórica (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Relación L:W</b>	<b>A<sub>S</sub> real (m<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>T</sub> real (m<sup>2</sup>)</b>	<b>TRH (d)</b>
0,3	308,83	2,49	12	24	2,00	288,0	3,6	1,44
0,4	231,62	2,49	10,5	21	2,00	220,5	4,2	1,47
0,5	185,30	2,49	9,3	19	2,04	176,7	4,7	1,47
0,6	154,41	2,49	8,7	17,8	2,05	154,9	5,22	1,55

Tabla 18. Resultados de dimensionamiento de dos humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal con 50 % de caudal tratado cada humedal

<b>Profundidad (m)</b>	<b>A<sub>S</sub> teórica (m<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>T</sub> teórica (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Relación L:W</b>	<b>A<sub>S</sub> real (m<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>T</sub> real (m<sup>2</sup>)</b>	<b>TRH (d)</b>
0,3	154,41	1,24	8,7	17,7	2,03	154,0	2,6	1,54
0,4	115,81	1,24	7,5	15,5	2,07	116,3	3,0	1,55
0,5	92,65	1,24	6,7	13,8	2,06	92,5	3,4	1,54
0,6	77,21	1,24	6,2	12,5	2,02	77,5	3,7	1,55

Para la selección de la configuración del humedal artificial, se tomó una serie de consideraciones que se muestran a continuación.

- La profundidad del humedal artificial debe facilitar una salida del agua a un nivel lo más superficial posible, esto para evitar encontrarse con el nivel freático al momento de mover las aguas haciendo uso de la pendiente del terreno.
- Las dimensiones del humedal deben facilitar el paso del agua de tal modo que se eviten flujos superficiales sobre el mismo humedal. Para el caso de diseños de flujo subsuperficial horizontal, esto se asegura con el cumplimiento del área transversal mínima según la ley de Darcy.
- Se priorizará las opciones con profundidades máximas para disminuir el área superficial que abarque el humedal.

En cuanto a los resultados de área superficial obtenidos para las distintas configuraciones de los humedales artificiales, se observa en la Tabla 17 y 18, que todas las opciones son viables. Esto debido a que no hay restricciones de espacio en el refugio, y que con todas las profundidades se obtiene el área transversal requerida para evitar flujo superficial. Por otra parte, todos los TRH son mayores a un día. A pesar de encontrar viabilidad con cualquier profundidad, se elige la profundidad de 0,6 m, esto debido a las irregularidades que presenta el terreno. Al elegir la mayor profundidad se hace menor uso de área superficial y generará menor necesidad de realizar cortes y rellenos en la superficie del suelo para la nivelación del humedal, comparado con profundidades menores.

A partir de conversaciones con la administración del refugio, se presentó las ventajas y desventajas del uso de un solo humedal y de dos humedales en paralelo, sin embargo, no se tuvo preferencia por alguna de las dos configuraciones en particular. Se presentó la opción de realizar el diseño con ambas configuraciones, cada una con 0,6 m de profundidad, para que al momento de la implementación del proyecto se pueda utilizar aquella que represente mayor viabilidad económica.

Se debe tomar en consideración que existe la posibilidad de que, al momento de la construcción del humedal, aún no se haya dado el incremento en la capacidad de visitaciones en el refugio. Esto abre la posibilidad de que, al elegir la opción de dos humedales en paralelo, sólo se construya uno de forma momentánea y al momento de aumentar la capacidad de turistas en el refugio, implementar el segundo humedal.

En resumen, se tomará las configuraciones que se presentan a continuación para realizar el diseño del sistema de tratamiento. Se utilizará ambos escenarios para el dibujo de los planos constructivos y el cálculo de los costos del proyecto.

- 1 humedal que trate el 100 % del caudal, 0,6 m de profundidad, 8,7 m de ancho y 17,8 m de largo.
- 2 humedales en paralelo en donde cada uno trate el 50 % del caudal, 0,6 m de profundidad, 6,5 m de ancho y 12,5 m de largo.

En este punto es necesario recordar que, para el primer escenario planteado al inicio de esta sección, las pilas que se encuentran actualmente en la zona de camping requieren un pequeño humedal que trate únicamente las aguas generadas en esta zona. En vista de esto, se calcula el dimensionamiento requerido para este humedal, tomando en consideración que el caudal de diseño será menor, además de que las aguas por tratar estarán compuestas sólo por aguas grises.

Para el cálculo de este humedal se utiliza un caudal de diseño de 1,81 m<sup>3</sup>/d y una carga orgánica de 110 mg/L según lo mencionado en la sección 4.1.2.1 de resultados. Los demás parámetros utilizados son los que se mostraron en la Tabla 16. Realizando el mismo procedimiento de cálculo mostrado anteriormente, se obtiene los resultados mostrados en la Tabla 19.

Tabla 19. Resultados de dimensionamiento de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal para pilas del camping en escenario 1 del sistema de tratamiento

<b>Profundidad (m)</b>	<b>AS teórica (m<sup>2</sup>)</b>	<b>AT teórica (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Relación L:W</b>	<b>As real (m<sup>2</sup>)</b>	<b>AT real (m<sup>2</sup>)</b>	<b>TRH (d)</b>
0,3	9,20	0,18	2,05	4,50	2,20	9,23	0,62	0,63
0,4	6,90	0,18	1,75	4,00	2,29	7,00	0,70	0,64
0,5	5,52	0,18	1,55	3,55	2,29	5,50	0,78	0,63
0,6	4,60	0,18	1,40	3,30	2,36	4,62	0,84	0,63

Se observa en los resultados de la Tabla 19 que no hay limitantes con respecto al área transversal, dado que todas las áreas transversales calculadas son mayores a la requerida para evitar flujo superficial por encima de la grava. Por otra parte, se tiene el inconveniente que bajo el planteamiento realizado no se cumple con el requerimiento mínimo de un día de TRH. Para solventar esto se decide elegir la primera configuración, con un ancho de 2,05 m y una longitud de 4,50 m, pero aumentando la profundidad a 0,50 m. Bajo estas condiciones se obtiene un volumen total de 4,61 m<sup>3</sup> y un tiempo de retención hidráulica de 1,06 días.

#### *4.2.4.2. Aspectos constructivos y planos de humedales artificiales*

Para efectos constructivos del humedal artificial, hay una serie de recomendaciones que hay que tomar en consideración. Se muestran a continuación dichos aspectos, los cuales son utilizados para el trazado de los planos constructivos.

- Se recomienda que a la entrada y a la salida del humedal artificial haya una capa de grava con un diámetro entre 40-80 mm para evitar que entren piedras a las tuberías de entrada y generar obstrucciones. Dicha capa debe tener un espesor de 75 cm (UN-HABITAT, 2008).
- La zona intermedia del humedal debe contener una grava con un diámetro que vaya entre los 5-20 mm (UN-HABITAT, 2008).
- Tanto la tubería de entrada como la de salida debe tener una separación de 5 cm desde las paredes del humedal. Por otra parte, se le deberán hacer perforaciones de 3 cm de ancho, con una separación de 5 cm entre cada perforación, además de colocar tapones en los extremos de los tubos para evitar una salida o entrada lateral del agua (ACEPESA, 2010).
- La pendiente del fondo del humedal deberá tener un 1% de inclinación, es decir, por cada 100 cm de longitud, deberá haber 1 cm adicional de profundidad (Tanaka, 2011).
- El agua deberá desplazarse a través del lecho, dejando una distancia de 10 cm desde la superficie de la grava (ACEPESA, 2010).

Se presenta de la Figura 27 a la Figura 29 los planos constructivos, tomando en consideración la construcción de un solo humedal que trate el 100 % del agua. Seguidamente, se incorpora en la Figura 30 a la Figura 32 los planos tomando en consideración 2 humedales en paralelo en donde cada uno tratará el 50 % del caudal, de tal modo que la administración pueda considerar ambas opciones al momento de la construcción del sistema de tratamiento.

En caso de optar por el diseño del escenario 1, también se incorpora en la Figura 33 los planos del humedal para las pilas en la zona de camping. Dado que este humedal es de dimensiones pequeñas en comparación al humedal artificial, sólo se considera la opción de un solo humedal.

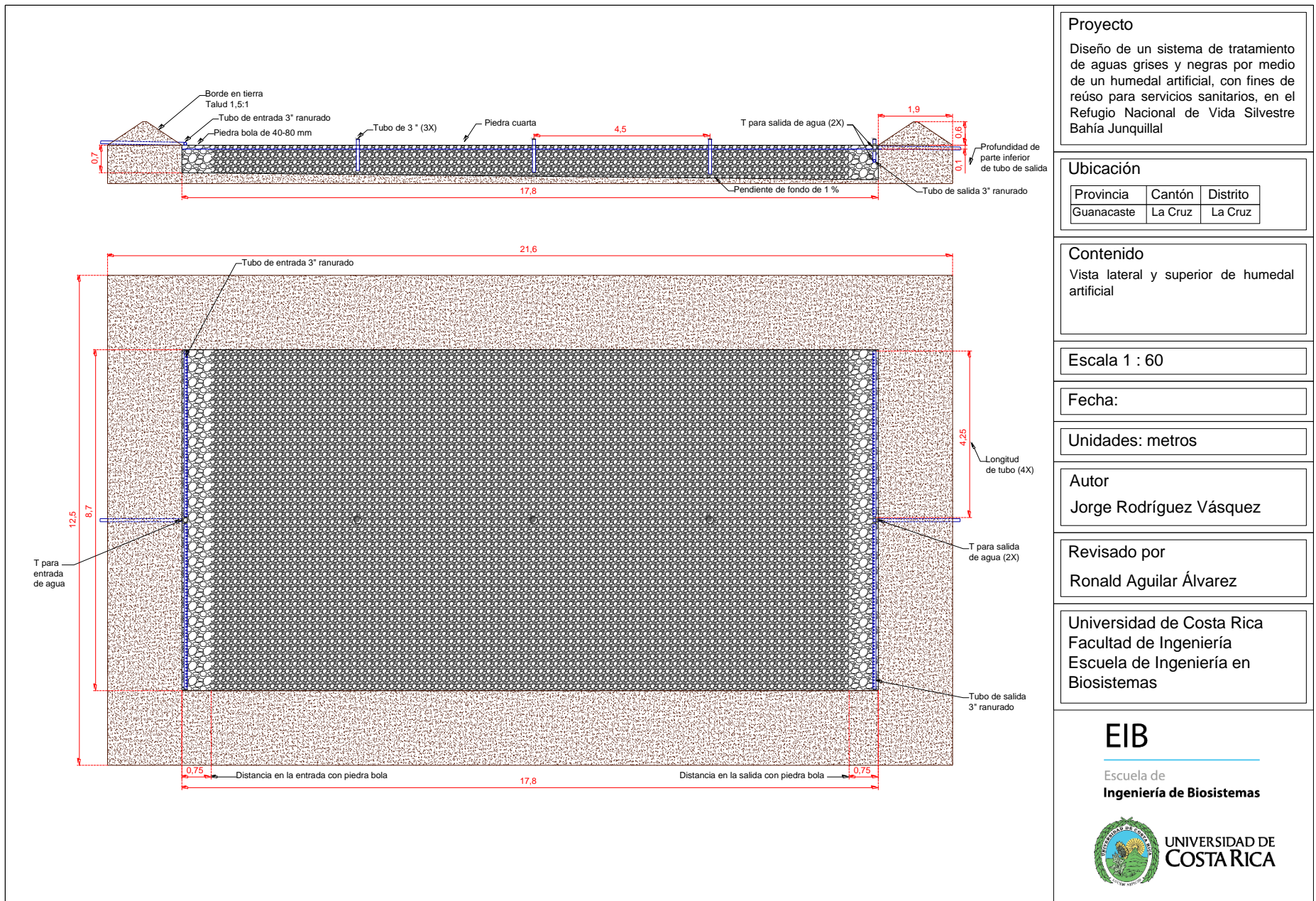


Figura 27. Planos constructivos de humedal artificial

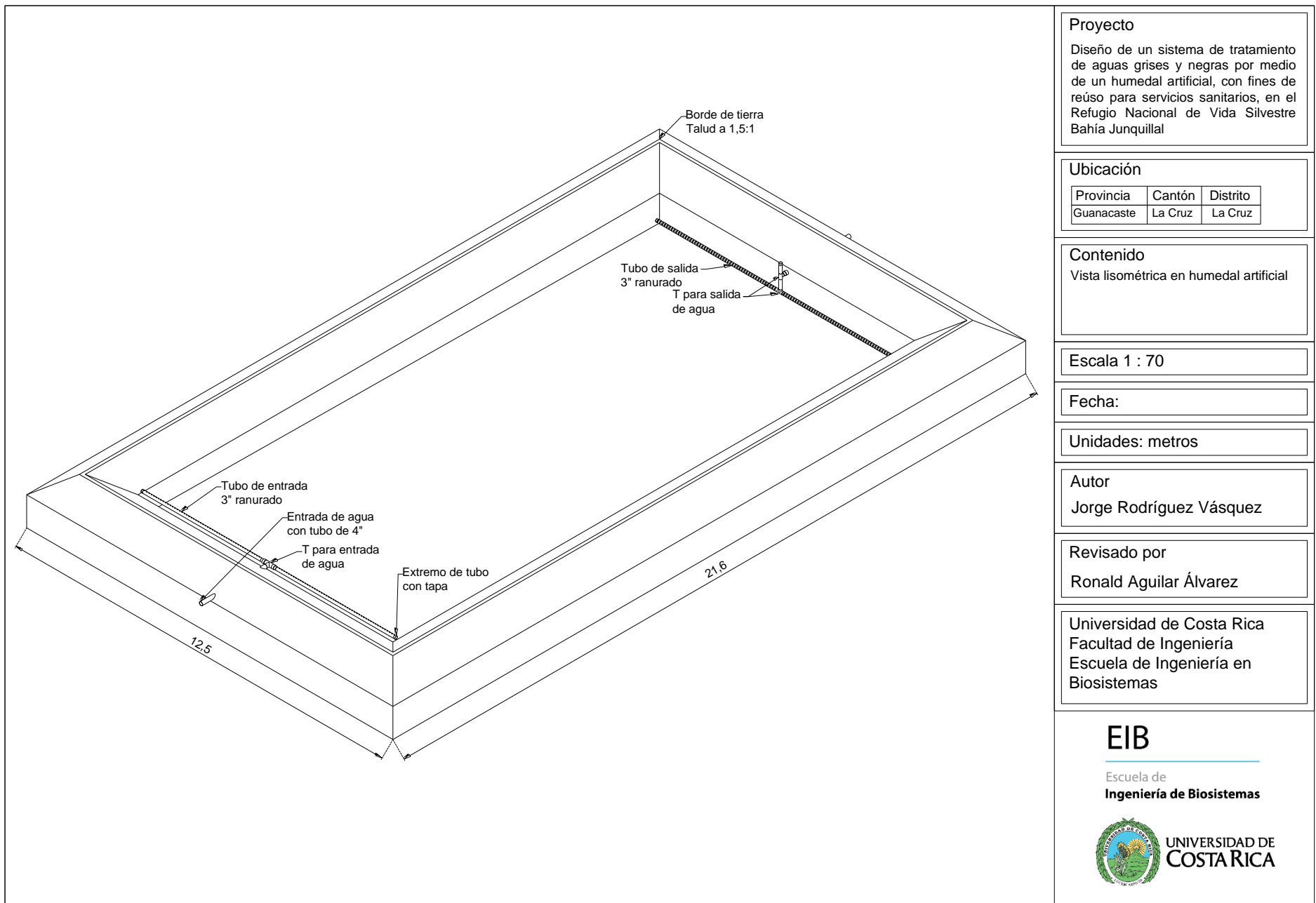


Figura 28. Planos constructivos de vista isométrica de humedal artificial

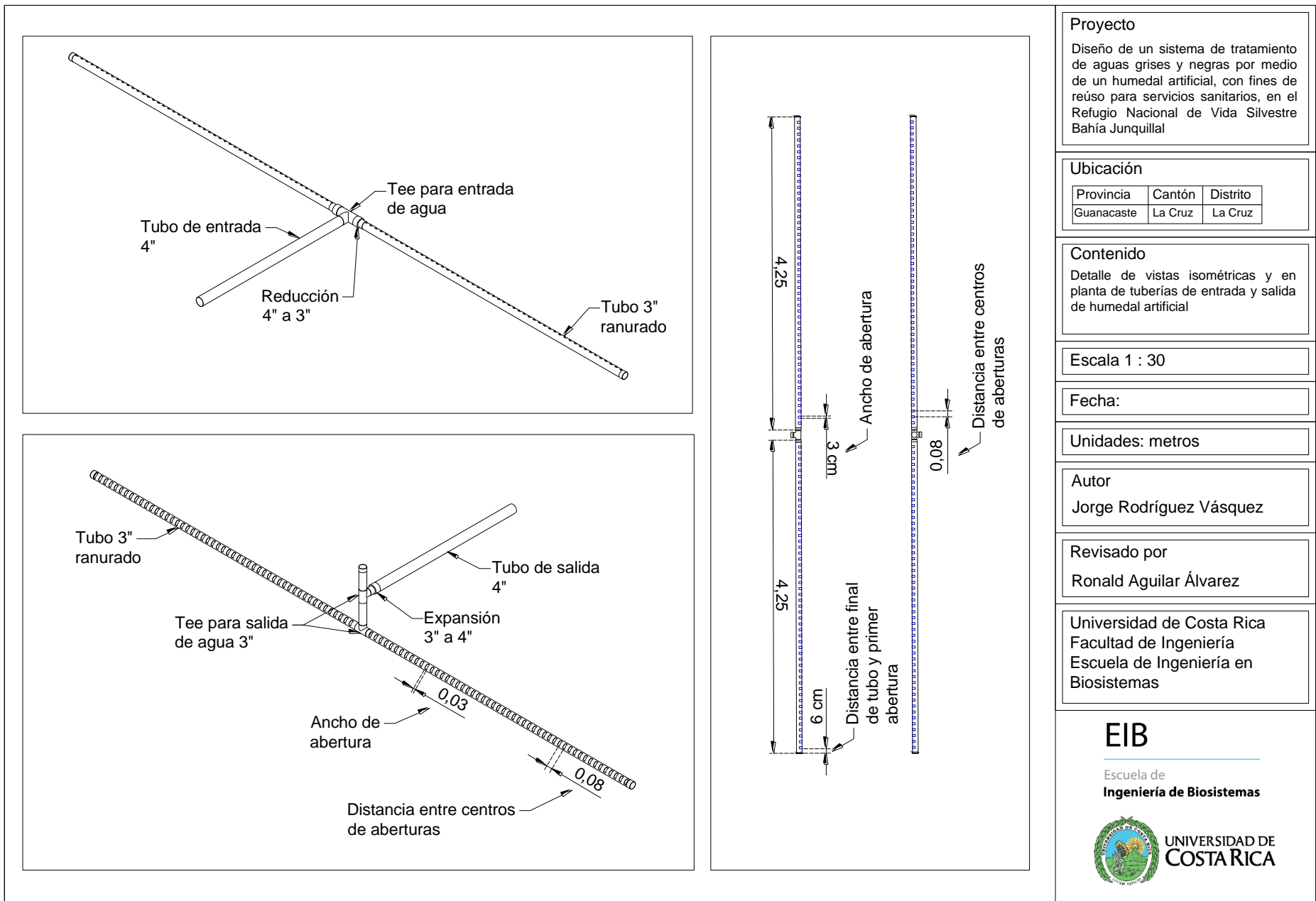
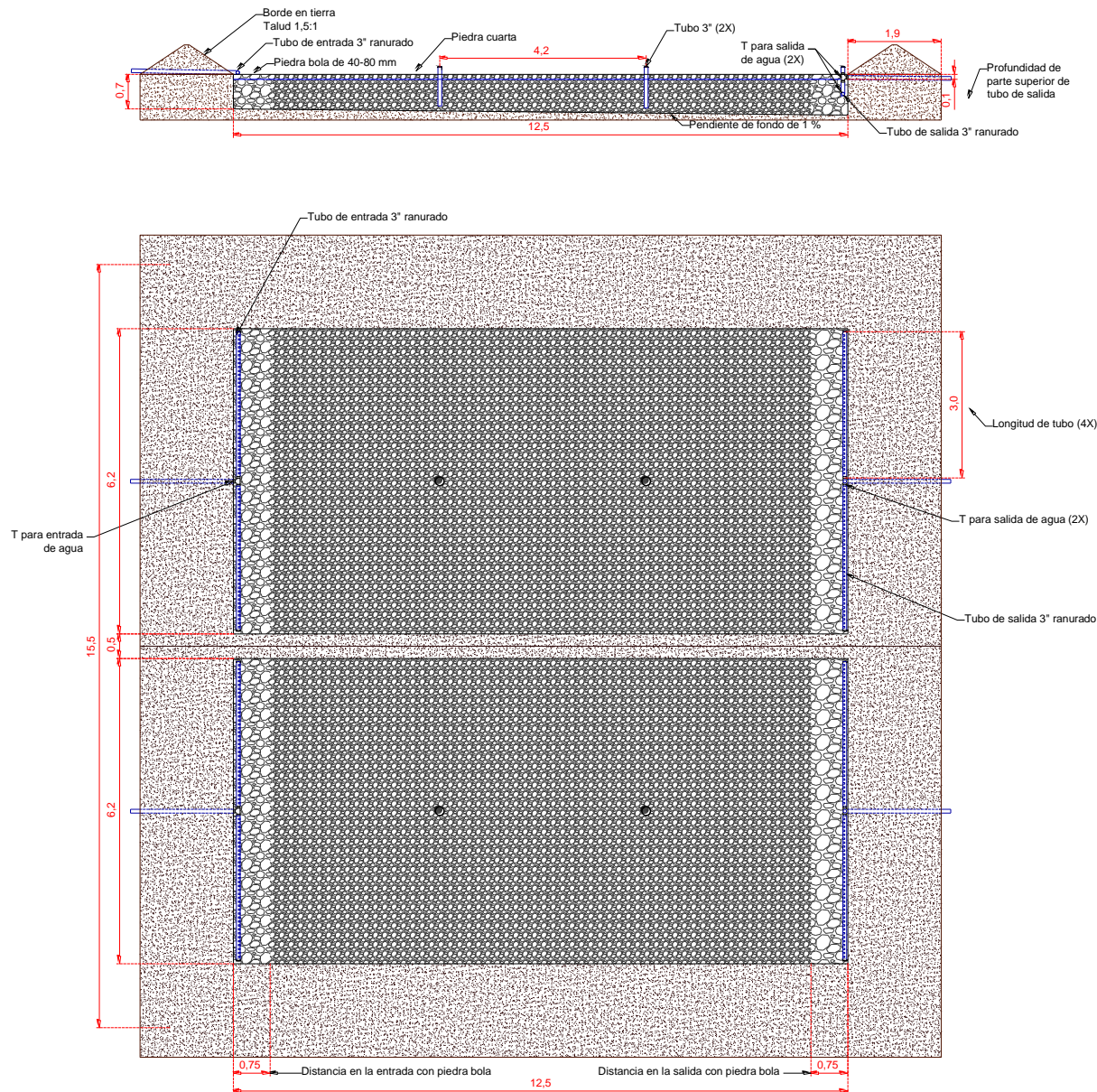


Figura 29. Detalle de vistas isométricas y en planta de tuberías de entrada y salida de humedal artificial





### Proyecto

Diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises y negras por medio de un humedal artificial, con fines de reúso para servicios sanitarios, en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal

### Ubicación

Provincia	Cantón	Distrito
Guanacaste	La Cruz	La Cruz

### Contenido

Vista lateral y superior de humedales artificiales en paralelo

Escala 1 : 60

Fecha:

Unidades: metros

Autor

Jorge Rodríguez Vásquez

Revisado por

Ronald Aguilar Álvarez

Universidad de Costa Rica  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería en Biosistemas

## EIB

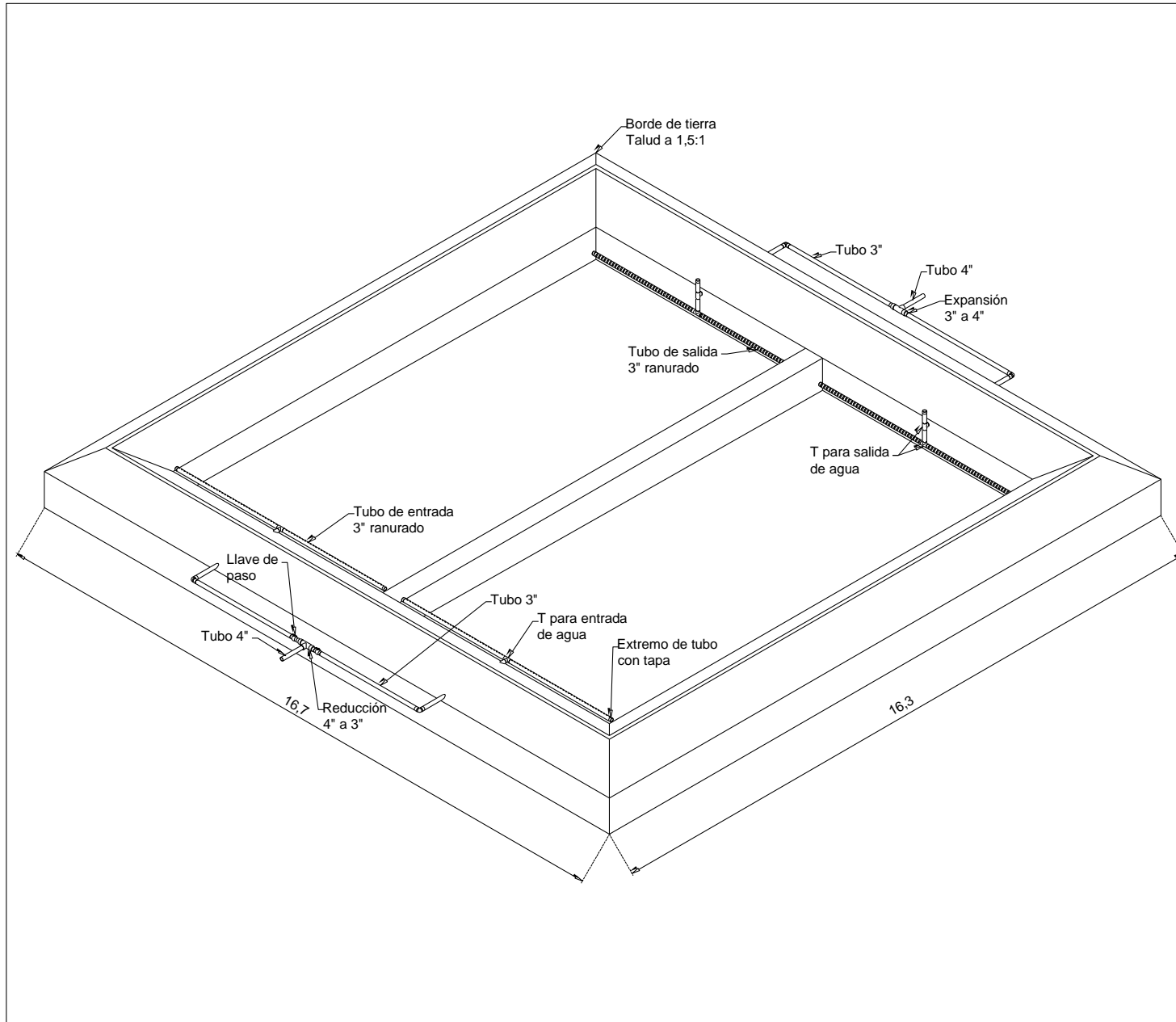
Escuela de  
**Ingeniería de Biosistemas**



UNIVERSIDAD DE  
**COSTA RICA**

Figura 30. Planos constructivos de humedal artificial en paralelo





**Proyecto**  
 Diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises y negras por medio de un humedal artificial, con fines de reúso para servicios sanitarios, en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal

**Ubicación**

Provincia	Cantón	Distrito
Guanacaste	La Cruz	La Cruz

**Contenido**  
 Vista isométrica de humedales artificiales en paralelo (ambos humedales simétricos)

Escala 1 : 70

Fecha:

Unidades: metros

**Autor**  
 Jorge Rodríguez Vásquez

**Revisado por**  
 Ronald Aguilar Álvarez

Universidad de Costa Rica  
 Facultad de Ingeniería  
 Escuela de Ingeniería en Biosistemas

**EIB**  
 Escuela de  
**Ingeniería de Biosistemas**



UNIVERSIDAD DE COSTA RICA

Figura 31. Planos constructivos de vista isométrica de humedal artificial en paralelo

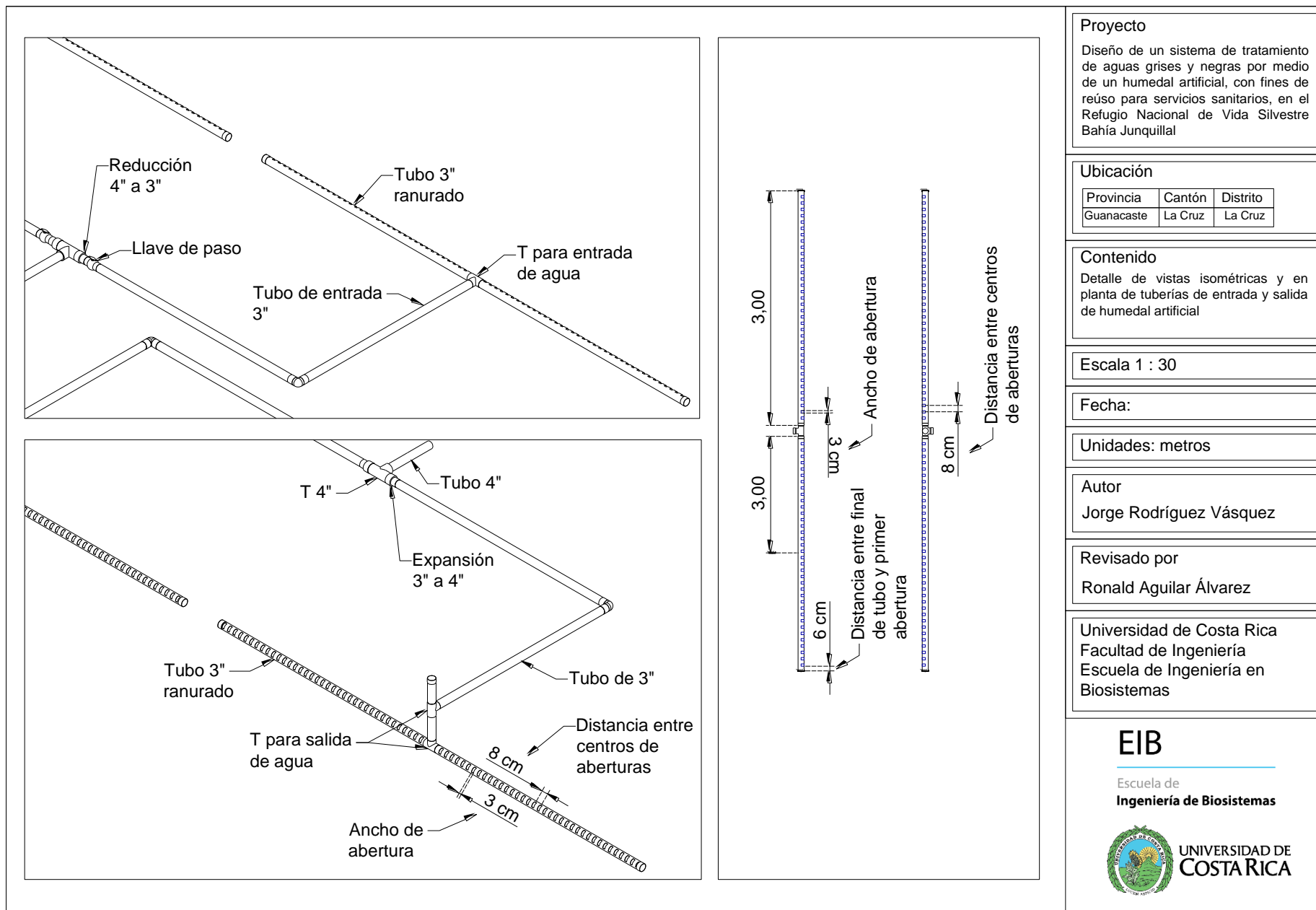
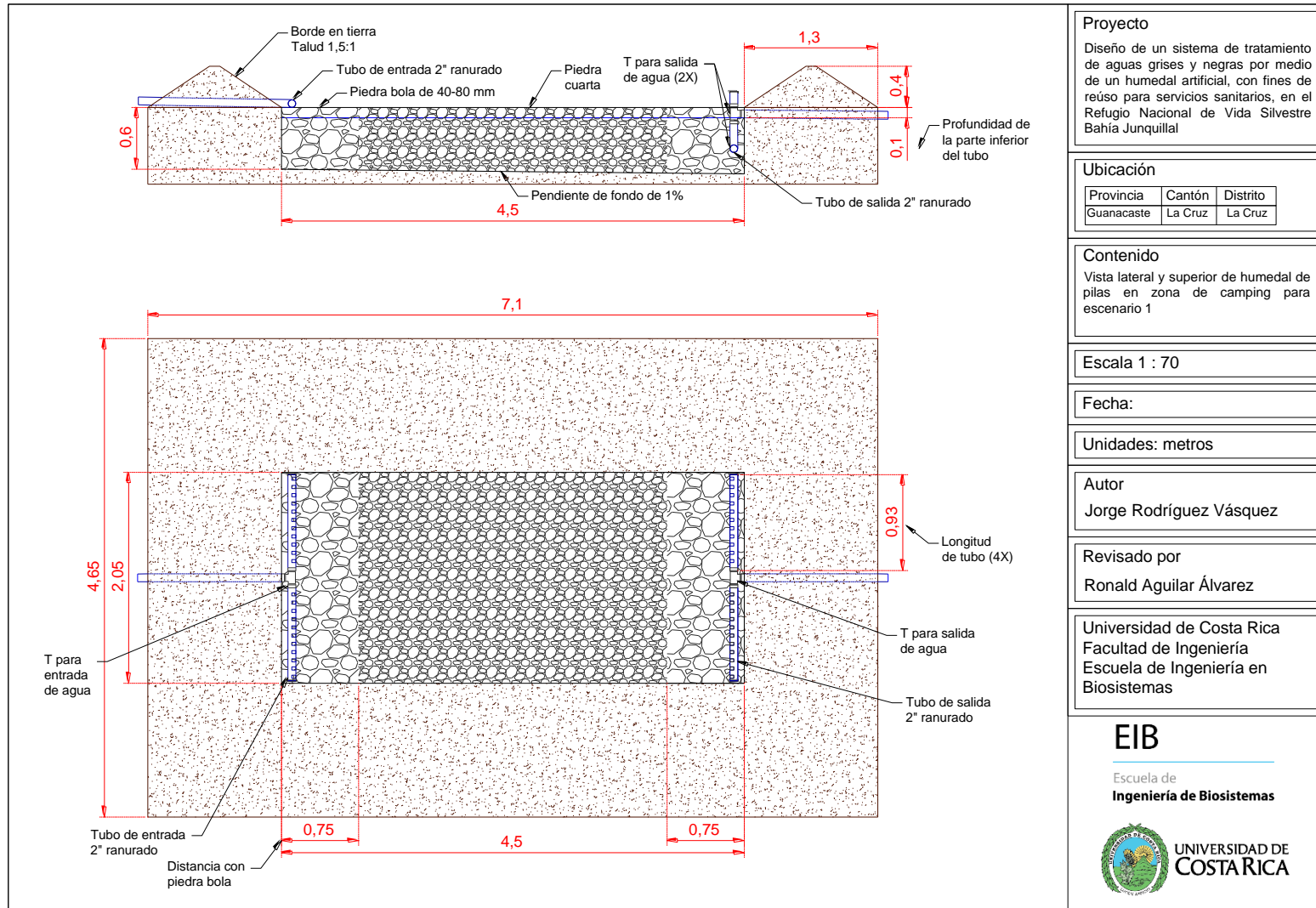


Figura 32. Detalle de vistas isométricas y en planta de tuberías de entrada y salida de humedal artificial en paralelo



**Proyecto**  
 Diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises y negras por medio de un humedal artificial, con fines de reúso para servicios sanitarios, en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal

**Ubicación**

Provincia	Cantón	Distrito
Guanacaste	La Cruz	La Cruz

**Contenido**  
 Vista lateral y superior de humedal de pilas en zona de camping para escenario 1

Escala 1 : 70

Fecha:

Unidades: metros

**Autor**  
 Jorge Rodríguez Vásquez

**Revisado por**  
 Ronald Aguilar Álvarez

Universidad de Costa Rica  
 Facultad de Ingeniería  
 Escuela de Ingeniería en Biosistemas

**EIB**  
 Escuela de  
**Ingeniería de Biosistemas**



UNIVERSIDAD DE  
**COSTA RICA**

Figura 33. Planos constructivos de humedal de pilas en zona de camping para escenario 1

#### 4.2.4.3. Vegetación del humedal artificial

A nivel nacional existe una gran variedad de plantas que se han utilizado y han tenido éxito en humedales artificiales. Entre las plantas que más destacan se encuentran la Heliconia (*Heliconia rostrata*), Avecilla (*Heliconia psittacorum*), Ginger Rojo (*Alpinia purpurata*) y Liriotropo (*Hedychium coronarium*). Se muestra en la Figura 34 imágenes de las plantas ornamentales recién mencionadas.



Heliconia (*Heliconia rostrata*)



Liriotropo (*Hedychium coronarium*)



Ginger rojo (*Alpinia purpurata*)



Avecilla (*Heliconia psittacorum*)

Figura 34. Plantas ornamentales para uso del humedal artificial

Se recomienda usar una configuración triangular (conocida como pata de gallo). La separación entre plantas debe ser de 40 cm (ACEPESA, 2010), por lo que en cada metro cuadrado entra entre 5-6 plantas según se muestra en la Figura 35. En caso del escenario 1, se necesitará 800 plantas para el humedal artificial principal, mientras que para el humedal de las pilas en la zona de camping se necesitará 35 para un total de 835 plantas. En caso del escenario 2, dado que sólo hay un humedal artificial se necesitará un total de 800 plantas. En vista de que se necesita una gran cantidad de plantas, la escogencia se basará principalmente en el precio de cada planta para abaratar los costos.

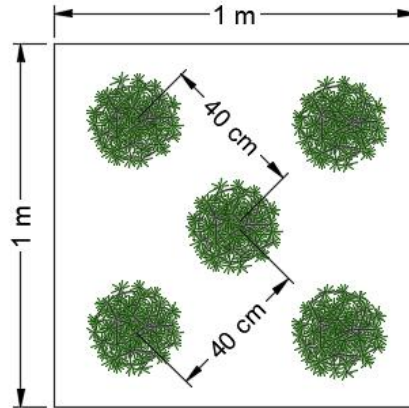


Figura 35. Arreglo de siembra triangular para siembra de plantas en humedal artificial

#### 4.2.5. Dimensionamiento del vertedor

En esta sección se diseñará un vertedor de cresta delgada con forma triangular para la medición del caudal de salida del humedal artificial. Si bien el vertedor no forma parte activa en el tratamiento de aguas residuales, es importante su incorporación para lograr llevar un registro controlado del rendimiento del sistema de tratamiento. Para el diseño del vertedor, se hace uso de la ecuación [26] para el cálculo de la carga hidráulica que debe haber por encima de la cresta. Como parámetros de entrada, se tienen los datos mostrados a continuación:

- $Q$ : 3,21 L/s ( $0,00321 \text{ m}^3/\text{s}$ )
- $\theta$ :  $30^\circ$
- $\mu$ : 0,62

Donde el caudal  $Q$  es el caudal máximo probable que puede ser descargado por el sistema al mismo tiempo. Para el cálculo del caudal máximo probable de descarga se usó el método de Hunter por medio de la ecuación [28] mostrada en la sección 3.3.6 de la metodología. Se muestra en la Tabla 20 la cantidad de unidades de descarga que se usará para cada accesorio.

Tabla 20. Cantidad de unidades de descarga total por parte de los accesorios sanitarios

Accesorio	Cantidad	U.D unitaria	U.D total
Duchas nuevas	6	4	24
Duchas actuales	3	4	12
Pileta de lavar nuevas	3	6	18
Pileta baños actuales	1	6	6
Pileta de lavar actuales	4	6	24
Inodoro con tanque hombres	3	5	15
Inodoro con tanque mujeres	3	5	15
Inodoro con tanque actuales	3	5	15

Se tiene proyectado un total de 129 unidades de descarga. Sustituyendo las unidades de descarga en la ecuación [28] se obtiene el caudal máximo probable que el vertedor debe estar en capacidad de medir.

$$Q = 0,0145(u. d.) + 1,39 - 2,83 \times 10^{-6}(u. d.)^2$$

$$Q = 0,0145(129) + 1,39 - 2,83 \times 10^{-6}(129)^2$$

$$Q = 3,21 \text{ L/s} = 0,00321 \text{ m}^3/\text{s}$$

El ángulo de 30° corresponde a la abertura del vertedor, el cual es el recomendado para caudales entre 2-5 L/s. La constante  $\mu$  de 0,62 es tomada de la Figura 9 mostrada en la sección 3.3.5. Realizando la sustitución de valores en la ecuación [26] se obtiene la carga mostrada a continuación.

$$H = \left( \frac{Q}{\frac{8}{15} * \mu * \sqrt{2g} * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)} \right)^{\frac{2}{5}}$$

$$H = \left( \frac{0,00321 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{8}{15} * 0,62 * \sqrt{2 * 9,81 \text{ m/s}^2} * \tan\left(\frac{30}{2}\right)} \right)^{\frac{2}{5}} = 0,1463 \text{ m}$$

Se obtiene que la carga hidráulica máxima del vertedor será de 0,1463 m (14,63 cm). Se decide asignarle al vertedor una altura total de 0,15 m (15 cm) para facilidades constructivas. Para asignar todas las dimensiones del canal del vertedor, se hace uso de las recomendaciones dadas por la USBR (1978) en donde se debe tomar en consideración los siguientes criterios.

- La profundidad por debajo de la cresta (P) debe ser la mayor entre 30 cm o dos veces la carga calculada (2 H).
- El canal de aproximación antes del vertedor debe tener una distancia 10 veces la carga calculada (10 H). A esta distancia se le denominará L aprox.
- La lectura del nivel del agua para la medición del caudal debe hacerse a una distancia de cuatro veces la carga (4H) antes del vertedor.
- Debe haber una caída libre (F) desde la cresta del vertedor con una distancia de al menos 15 cm. La base del canal después del vertedor no podrá estar más alta que la base del canal antes del vertedor.
- La longitud del canal después de la caída del vertedor (L) debe ser de al menos tres veces la carga y dos veces la caída libre (3H + 2F).
- La contracción desde la pared del canal debe ser dos veces el valor de la carga (2H). Esto definirá también el ancho mínimo del canal (4H + ancho de abertura).

Una vez tomado en cuenta estas consideraciones, se obtiene las dimensiones finales del vertedor las cuales son mostradas en la Tabla 21.

Tabla 21. Dimensiones de vertedor de cresta delgada con forma triangular (unidades en metros)

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>
Carga de vertedor	14,62
Altura desde cresta a parte superior de vertedor	0,15
Profundidad por debajo de la cresta (P)	0,30
Longitud de canal de aproximación (L aprox)	1,46
Caída libre desde cresta de vertedor	0,15
Longitud de canal después de vertedor	0,73
Ancho del canal	0,66

Una vez obtenidas las dimensiones del vertedor y del canal de este, se realiza los planos constructivos los cuales son mostrados en la Figura 36.



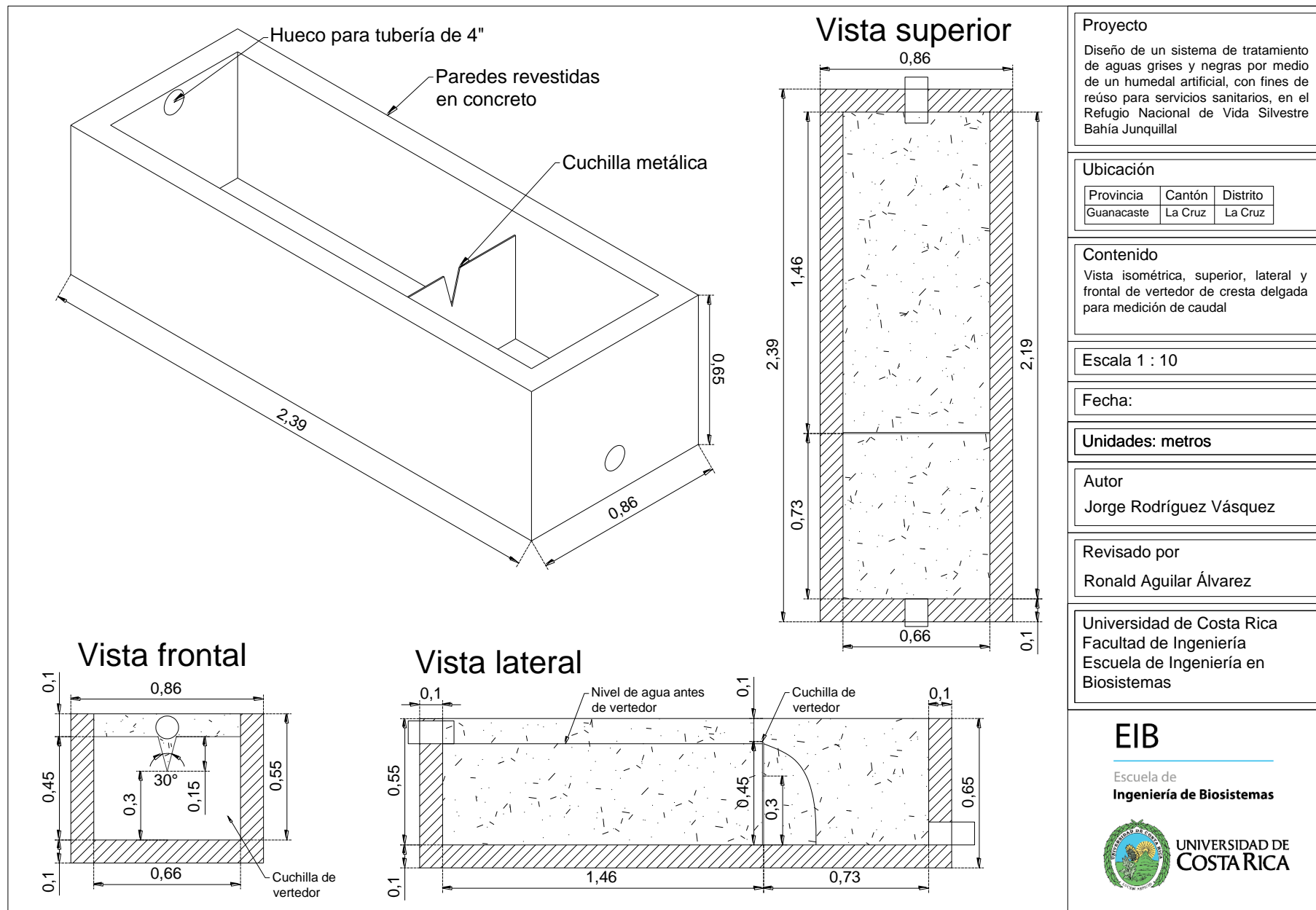


Figura 36. Planos constructivos de vertedor para medición de caudales



#### 4.2.6. Dimensionamiento de vertido final de aguas tratadas

En esta sección se realiza el diseño del vertido final de las aguas que salen del humedal artificial y que no serán utilizadas en un sistema de reúso. Primero, se muestra el dimensionamiento de las zanjas de infiltración, las cuales serán utilizadas para el sistema de tratamiento del escenario 1. Posteriormente se muestra el dimensionamiento de tuberías para riego superficial, el cual será implementado para el sistema de tratamiento del escenario 2.

Es importante recordar que en el diseño del escenario 1 las pilas que se encuentran actualmente construidas en la zona de camping tendrán su propio humedal, cuya salida tendrá lugar en la zona del terreno con baja infiltración. Debido a esto, se propone que el vertido final de las aguas tratadas de estas pilas también sea por medio de tuberías para riego superficial.

##### 4.2.6.1. Dimensionamiento de zanjas de infiltración (drenaje)

El propósito del drenaje será infiltrar al subsuelo las aguas tratadas que provengan del humedal artificial, por lo que la ubicación de este deberá estar justo en la salida del humedal. Para el dimensionamiento, se usa la proyección máxima de caudal de aguas residuales producido en un día, siendo este de 24,86 m<sup>3</sup>/d. Por otra parte, la velocidad de infiltración se tomará de la sección 4.1.3, en donde se calculó la velocidad de infiltración para las distintas pruebas de infiltración realizadas. Dado que se prevé que el drenaje se ubique en una zona cercana a los baños actuales, se usará la velocidad de infiltración como el promedio de las pruebas de infiltración 1 y 3. Se muestran los criterios de diseño en la Tabla 20.

Tabla 22. Criterios para dimensionamiento de zanjas de infiltración

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal, Q	2,88 <sup>1</sup>	X 10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> /s
Velocidad de infiltración, V <sub>p</sub>	8,48 <sup>2</sup>	X 10 <sup>-7</sup> m/s
Factor de precipitación F <sub>p</sub>	2,5 <sup>3</sup>	Adimensional
Factor de revestimiento, r <sub>c</sub>	0 <sup>4</sup>	Adimensional

1: Proyección de caudal de consumo para 450 personas

2: Según pruebas de infiltración realizadas en el sitio

3: Factor de precipitación para zona de San José (CFIA, 2017)

4: Factor correspondiente para suelo sin ningún tipo de revestimiento (CFIA, 2017)

Según el CFIA (2017), el factor de precipitación se debe ajustar hacia arriba en igual proporción al excedente de precipitaciones en la zona de estudio con respecto a las precipitaciones promedio de San José. Según lo mostrado en la sección 4.1.4, la precipitación promedio anual en el refugio se estima en 1560 mm/año, mientras que en San José la precipitación promedio es de 2699 mm/año, por lo que no se le hace ningún aumento al factor de precipitación. Por otra parte, la región en donde se tiene previsto ubicar las zanjas de infiltración es una zona completamente verde, por lo que el factor de revestimiento sobre el suelo se toma como cero.

Para el dimensionamiento de las zanjas de infiltración, primero se calcula el área requerida para infiltración. El cálculo del área de infiltración se realiza por medio de la relación entre el caudal que recibe el drenaje y la velocidad de infiltración del suelo, según lo mostrado en la ecuación [16].

$$A_i = \frac{Q}{V_p}$$

$$A_i = \frac{2,88 \times 10^{-7} \text{ m}^3/\text{s}}{8,48 \times 10^{-7} \text{ m/s}} = 339,54 \text{ m}^2$$

Por medio de la ecuación [17], se calcula el área verde requerida, en función del área para infiltración y las precipitaciones del lugar.

$$A'_c = A_i * F_p$$

$$A'_c = 339,54 \text{ m}^2 * 2,5 = 848,85 \text{ m}^2$$

Al área verde requerida se le realiza un aumento en función del recubrimiento en el suelo. El resultado de este aumento se denomina superficie del campo de infiltración, el cual se calcula por medio de la ecuación [18].

$$A_c = \frac{A'_c}{1 - r_c}$$

$$A_c = \frac{463,37 \text{ m}^2}{1 - 0} = 463,37 \text{ m}^2$$

Para calcular la longitud total de zanjas primero se calcula un perímetro efectivo. Para esto se fija un valor de profundidad de grava por debajo del tubo de desagüe (D) de 50 cm, y un ancho de zanja (W) de 50 cm. Se sustituyen los valores en la ecuación [19] para el cálculo del perímetro efectivo.

$$P_e = 0,77 \frac{W + 56 + 2D}{W + 116}$$

$$P_e = 0,77 \frac{50 \text{ cm} + 56 + 2 * 50 \text{ cm}}{50 \text{ cm} + 116} = 0,96 \text{ m}$$

Una vez obtenido el perímetro efectivo, se calcula la longitud total de las zanjas por medio de la ecuación [20].

$$L_z = \frac{A_i}{P_e}$$

$$L_z = \frac{339,54 \text{ m}^2}{0,96 \text{ m}} = 353,69 \text{ m}$$

Por otra parte, la separación entre cada zanja se calcula por medio de la ecuación [21].

$$L_S = \frac{A_C}{L_Z}$$

$$L_S = \frac{848,85 \text{ m}^2}{355,34 \text{ m}^2} = 2,39 \text{ m}$$

Por lo tanto, la superficie total requerida para infiltración se obtiene por el producto entre la longitud total y separación entre zanjas, según lo mostrado en la ecuación [22].

$$A_T = L_Z * L_S$$

$$A_T = 153,45 \text{ m} * 5,21 \text{ m} = 848,85 \text{ m}^2$$

La cantidad total de zanjas a utilizar queda a conveniencia, siempre y cuando se cumpla con el área total que se debe usar para infiltración. Se elige utilizar un total de diez zanjas, lo que da como resultado una longitud total de 35,5 m para cada zanja. Se muestra un resumen de los resultados para el dimensionamiento de las zanjas de infiltración en la Tabla 21.

Tabla 23. Resultados de dimensionamiento de zanjas de infiltración

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Área de infiltración, $A_i$	339,54	$\text{m}^2$
Área verde requerida, $A'_C$	848,85	$\text{m}^2$
Superficie del campo de infiltración, $A_C$	848,85	$\text{m}^2$
Área total de superficie de infiltración, $A_T$	848,85	$\text{m}^2$
Longitud total de zanjas, $L_Z$	355,34	m
Ancho de zanja, $W$	50	cm
Profundidad de grava debajo del tubo, $D$	50	cm
Cantidad de Zanjas	10	Adimensional
Longitud de cada zanja	35,5	m
Separación entre zanjas, $L_S$	2,39	m

Además del dimensionamiento de las zanjas de infiltración, hay otros aspectos que se deben tomar en consideración tales como los que se muestran a continuación (CFIA, 2017, Rosales, 2008):

- La capa de grava por debajo del ducto o tubería de distribución debe estar compuesta por grava con un diámetro entre 7 y 10 cm (piedra tercera).
- En los alrededores de la tubería se deberá colocar piedra cuarta, y en la parte superior se deberá colocar capas con estratos de menor tamaño hasta alcanzar una capa compuesta por la superficie del suelo. Se muestra en la Figura 37 un esquema del arreglo de los estratos alrededor de la tubería de drenaje.
- La tubería debe tener perforaciones en sus alrededores para la distribución del agua. Estas perforaciones deben ser de 1/2 “y deberán colocarse cada 25 cm.

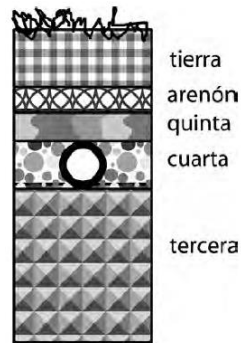


Figura 37. Composición de estratos para zanjas de infiltración (Rosales, 2008)

Cabe destacar que el uso de drenajes se tiene como una primera opción para el vertido final de aguas, sin embargo, se considera una segunda opción de realizar el vertido por medio de reúso en riego superficial. Otro punto importante para destacar es que comercialmente no se consigue piedra tercera, por lo que la grava debajo del tubo mostrada en la Figura 36 también deberá ser piedra cuarta. Se muestra el diseño de las tuberías con tal fin en secciones posteriores.

#### 4.2.6.2. Dimensionamiento de tuberías para riego superficial

El principal objetivo de las tuberías para riego superficial es realizar un vertido de las aguas tratadas sin que se genere escorrentía sobre la superficie del suelo. Para esto se debe realizar un arreglo en donde el distanciamiento entre las tuberías y los orificios de estas generen una precipitación menor o igual a la infiltración del suelo. El caudal por utilizar será al caudal máximo probable de descarga que genere el sistema, mismo que se usó en la sección 4.2.5 para el diseño del vertedor, ya que si se utiliza un caudal menor al presentarse el caudal máximo se generará escorrentía superficial.

Este caudal corresponde a 3,21 L/s, mismo que se distribuirá de forma equitativa entre las distintas tuberías. Para el cálculo del distanciamiento entre tubos y orificios se tomó una serie de suposiciones que no se adaptan por completo a la realidad, sin embargo, funcionan para obtener una aproximación del comportamiento del sistema. Entre las suposiciones a destacar se encuentran:

- En caudal se distribuirá de forma equitativa en cada tubería.
- La tubería funcionará como un canal abierto con sección circular, cuyo tirante de agua será uniforme a lo largo de la tubería de descarga.
- Las perforaciones en los tubos se comportan como un emisor bajo condiciones de orificio sumergido con salida libre.
- La emisión de caudal en cada orificio será uniforme.

Cabe destacar el hecho de que el objetivo principal es dar un destino final a las aguas tratadas, por lo que el no conseguir una distribución uniforme de caudal en todos los orificios no supone un problema para los objetivos del proyecto. La cantidad, diámetro y separación de tubos, tamaño de orificios y separación entre orificios se eligen de forma tentativa para observar la precipitación que

se genera y corroborar que esta sea menor a la infiltración del suelo. Se muestra únicamente los cálculos de la configuración con la que consiguió resultados satisfactorios, estando el acomodo de tuberías conformado de la siguiente forma:

- Se usará 12 tubos en total, por lo que cada tubo descargará un caudal de 0,2678 L/s (3,21 L/s entre 12 tubos).
- El diámetro de la tubería será de 1-1/2” (38,1 mm), utilizando una separación entre tubos de 2 m.
- El diámetro de cada orificio será de 4 mm (0,004 m) con una separación de 49 cm (0,49m) entre cada orificio.

Para conocer el caudal emitido por cada orificio se usa la ecuación [23]. Para el uso de esta ecuación se requiere conocer la altura o tirante de agua dentro de la tubería, por lo que se usa el software de H Canales obteniendo los resultados mostrados en la Figura 38.



Figura 38. Comportamiento del agua en tubería de descarga para riego superficial

Habiendo obtenido un tirante de 0,0196 m, se puede ingresar en la ecuación [23] para conocer el caudal emitido por cada orificio.

$$Q = C * A \sqrt{2 * g * y}$$

$$Q_{orificio} = 0,7 * 1,2566 * 10^{-5} m^2 * \sqrt{2 * 9,81 \frac{m}{s^2} * 0,0196 m}$$

$$Q_{orificio} = 5,45 * 10^{-6} m^3/s = 0,00545 L/s$$

Sabiendo el caudal de cada orificio, se divide el caudal de la tubería entre el caudal de cada orificio para conocer la cantidad de orificios requerida.

$$N_{orificios} = \frac{Q_{tubo}}{Q_{orificio}}$$

$$N_{orificios} = \frac{0,2678 \text{ L/s}}{0,00545 \text{ L/s}} = 49,09 \text{ orificios}$$

Por lo que cada tubo deberá tener un total de 49 orificios. Se realiza una elección de 0,49 m entre orificios y se calcula la longitud total de la tubería multiplicando el espaciamiento entre cada orificio por la cantidad total de orificios.

$$L_{tubo} = 0,49 \text{ m} * 49 = 24,01 \text{ m}$$

Por último, se debe definir un espaciamiento entre tuberías que permitan una precipitación menor o igual a 20 mm/h, según lo mostrado en la sección 4.1.3.1 con los resultados de las pruebas de infiltración. Se elige una distancia de 2 m entre tubos y se calcula la precipitación por medio de la ecuación [25].

$$Pp = \frac{Q_{orificio}}{L_{orificio} * L_{tubo}}$$

$$Pp = \frac{0,00545 \frac{\text{L}}{\text{s}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}}{0,49 \text{ m} * 2 \text{ m}} = 20,04 \text{ mm/h}$$

Se obtiene una precipitación igual a la infiltración del suelo. Se asegura de esta forma que no se va a generar escorrentía superficial y que la totalidad del agua va a ser infiltrada inclusive en condiciones de suelo saturado.

Para el caso del escenario 1 en donde se requiere infiltrar por medio de riego superficial el agua proveniente de las pilas en la zona del camping, se realiza el mismo procedimiento, pero con un caudal correspondiente 24 unidades de descarga (6 U.D por cada pila). El caudal de diseño corresponde a 1,09 L/s, obteniendo 0,1362 L/s por tubería para un total de 8 ramales de tubos. El diámetro de cada abertura también se eligió de 4 mm y la separación entre cada abertura deberá ser de 48 cm. Por otra parte, para obtener una precipitación de 19,99 mm/h se elige una separación de 1,9 m entre tubos.

Se muestra en la Tabla 23 un resumen de los resultados obtenidos para las tuberías de riego, tanto para todo el sistema en el escenario 2 como para las pilas en la zona de camping en el escenario 1. Cabe destacar que se recomienda poner una capa de grava de 10 cm por debajo del tubo para evitar obstrucciones en las aberturas de las tuberías. Por otra parte, también se recomienda poner otra capa de 10 cm por encima del tubo para protegerlo de la exposición directa de los rayos solares, los cuales pueden fragilizar la tubería con el paso del tiempo.

Tabla 24. Resultados de diseño de tuberías para riego superficial de agua tratada

	<b>Escenario 1 (pilas camping)</b>	<b>Escenario 2 (todo el sistema)</b>
Caudal de diseño (L/s)	1,09	3,21
Cantidad de tubos	8	12
Caudal por tubería (L/s)	0.1362	0,2678
Pendiente (%)	1	1
Diámetro de tubería	25,4 mm / 1"	38,1 mm / 1,5"
Separación entre tubos (m)	1,9	2
Diámetro de abertura (mm)	4	4
Separación entre aberturas (cm)	48	49
Cantidad de aberturas por tubo	27	49
Longitud de tubería (m)	12,96	24,01

#### 4.2.7. Dimensionamiento de tuberías para desagüe de aguas residuales y posicionamiento del sistema

En esta sección se dimensionará tres grupos de tuberías que conducirán las aguas residuales hacia el sistema de tratamiento. El primer grupo de tuberías consiste en aquellas que conducen las aguas desde los servicios sanitarios hasta los tanques sépticos. El segundo grupo de tuberías son aquellas que conducen las aguas grises desde las duchas y las pilas hasta el tanque interceptor en donde se agruparan las aguas grises con las aguas negras. El tercer grupo de tuberías son aquellas que conducen la totalidad de las aguas, desde que salen del tanque interceptor, hasta su llegada al vertido final después del tratamiento.

Para determinar el tamaño de las tuberías primero es requerido calcular el caudal que pasará a través de estas. Para el cálculo del caudal se usa el método de Hunter, por medio de la ecuación [27] mostrada en la sección 3.3.6 de la metodología. Las unidades de descarga asignadas a cada accesorio son las mismas que las mostradas en la Tabla 20, utilizadas para calcular el caudal máximo probable del vertedor y de las tuberías para riego superficial.

Para el dimensionamiento de las tuberías se deberá cumplir con ciertos criterios referentes a la conducción de aguas residuales los cuales se muestran a continuación (CFIA, 2017, AyA, 2017):

- El conducto debe funcionar como un canal abierto, cuya velocidad de flujo deberá estar entre 0,6 – 2,5 m/s.
- La descarga deberá llenar como máximo la mitad de la altura del colector.
- Para colectores en donde descarguen aguas de inodoros, deberán tener un diámetro mínimo de 75 mm, el cual se utilizará en caso de que descarguen como máximo dos inodoros. Para colectores en donde descarguen más de tres inodoros el diámetro a utilizar será de 100 mm.
- Para tuberías de PVC, se usará un n de Manning equivalente a 0,01.

- Para uniones entre tuberías que impliquen un cambio en la dirección de flujo, se podrá usar codos con un ángulo máximo de 45°.
- La pendiente mínima del conducto estará definida en función del diámetro, según lo mostrado en la Tabla 9 de la sección 3.3.6 de la metodología

Para el cálculo de las pendientes se hizo un acomodo tentativo de las distintas unidades del sistema de tratamiento según el escenario planteado, obteniendo las pendientes a partir de las diferencias de altura y longitudes de las tuberías. Una vez obtenida la pendiente y los caudales de cada ramal de tubería se calculó el tirante y la velocidad del flujo. Se muestra los resultados de cada escenario planteado.

#### 4.2.7.1. Posicionamiento según escenario 1

Inicialmente se tendrán un total de cinco tuberías a partir de las cuales se colectarán las aguas residuales. El conjunto de tuberías estará conformado según se muestra a continuación:

- Tres tuberías con el mismo caudal máximo probable. Una tubería transportará las aguas de los inodoros nuevos para los hombres, otra transportará las aguas de los inodoros nuevos de las mujeres, y la tercera las aguas de los inodoros que se encuentran actualmente. A cada tubería se le asignará 15 unidades de descarga.
- Una tubería que transportará las aguas provenientes de las duchas (24 U.D) y las piletas (18 U.D) nuevas, para un total 42 unidades de descarga.
- Una tubería que transportará las aguas de las duchas que se encuentran actualmente (12 U.D). Esta misma tubería colectará las aguas de la pileta que se encuentra a un costado de los baños actuales (6 U.D) obteniendo un total de 18 unidades de descarga.

Se muestra en la Tabla 25 un resumen que contiene la cantidad total de tuberías y el caudal máximo probable que transportará cada una.

Tabla 25. Caudales para las tuberías de descarga de aguas residuales en el primer escenario

<b>Conjunto de tuberías</b>	<b>U.D total por tubería</b>	<b>Caudal de descarga (L/s)</b>
3 tuberías para inodoros	15	0,7957
1 tuberías para duchas y piletas nuevas	42	1,5845
1 tubería para duchas actuales y pileta	18	0,8989
1 tubería después de tanque receptor	105	2,8654

Una vez conocida la pendiente y el caudal de cada tubería, se procede a calcular el diámetro de esta. Para esto se hace uso del software de H Canales el cual hace uso de la ecuación de Manning para calcular la velocidad y el tirante de cada tubería.

A modo de ejemplo, se muestra en la Figura 39 el cálculo de una tubería para los inodoros por medio de H Canales.



Tramo:  Revestimiento:

**Datos:**

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

Diámetro (d):  m

Rugosidad (n):

Pendiente (S):  m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y):  m

Área hidráulica (A):  m<sup>2</sup>

Espejo de agua (T):  m

Número de Froude (F):

Perímetro mojado (p):  m

Radio hidráulico (R):  m

Velocidad (v):  m/s

Energía específica (E):  m-Kg/Kg

Figura 37. Ejemplo de cálculo de tirante y velocidad para una tubería de 100 mm correspondiente al caudal de tres inodoros

Se observa en la Figura 39 que para un caudal de 0,79 L/s, una tubería de 100 mm (4”), un coeficiente de Manning característico del PVC (0,01) y una pendiente de 1,6 % (0,016) se obtiene un tirante de 0,0207 m (20,7 mm) y una velocidad de flujo de 0,68 m/s. Se realiza el mismo proceso de cálculo para las demás tuberías. Se muestra en la Tabla 26 un resumen del dimensionamiento de las tuberías para la recolección de aguas residuales.

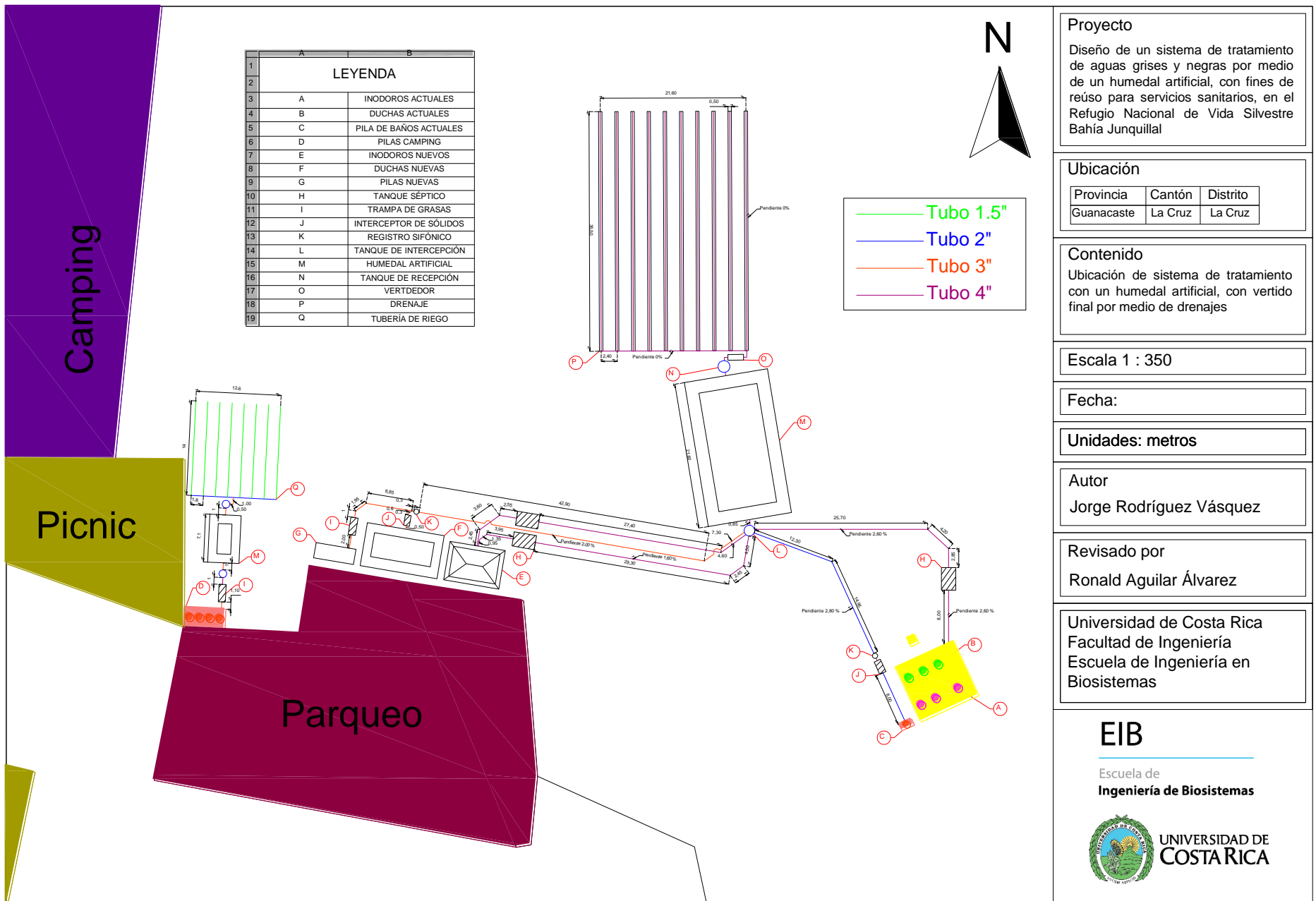
Tabla 26. Resultados de dimensionamiento de tuberías de descarga para escenario 1

Conjunto de tuberías	Q (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro		Pendiente (%)	Tirante (mm)	V (m/s)
		mm	in			
2 tuberías para inodoros nuevos	0,000795	100	4	1,60	20,7	0,68
1 tubería para inodoros actuales	0,000795	100	4	2,60	18,3	0,81
1 tubería para duchas y piletas nuevas	0,001584	76,2	3	2,00	30,80	0,92
1 tubería para duchas y pileta actual	0,000899	63,5	2,5	2,80	25,0	0,90
Tubería después de tanque y humedal	0,002865	100	4	1,5	40,7	0,95

Posterior a la descarga se tiene el tanque receptor, a partir del cual el agua se transportará por una sola tubería. En dicha tubería se tomará para el diseño el caudal máximo probable que puede descargar todas las unidades sanitarias con un total de 105 unidades de descarga. Se observa en la Tabla 26 que con un tubo de 100 mm y una pendiente de 1,5 % se alcanzan los parámetros requeridos.

Cabe destacar que bajo este escenario las tuberías antes del tanque de recepción quedarán con una elevación sobre el suelo, por lo que será requerido apoyarlas sobre soportes a una distancia de 1,20

m para evitar el pandeo y rotura de estas. Se muestra en la Figura 40 el plano con el acomodo de las tuberías y de las distintas unidades del sistema de tratamiento para lograr las pendientes, tirantes y velocidades requeridas. Por otra parte, en la Figura 41 se muestra distintas perspectivas del acomodo del sistema con representaciones en 3D.



**Proyecto**  
 Diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises y negras por medio de un humedal artificial, con fines de reúso para servicios sanitarios, en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquilla

**Ubicación**

Provincia	Cantón	Distrito
Guanacaste	La Cruz	La Cruz

**Contenido**  
 Ubicación de sistema de tratamiento con un humedal artificial, con vertido final por medio de drenajes

Escala 1 : 350

Fecha:

Unidades: metros

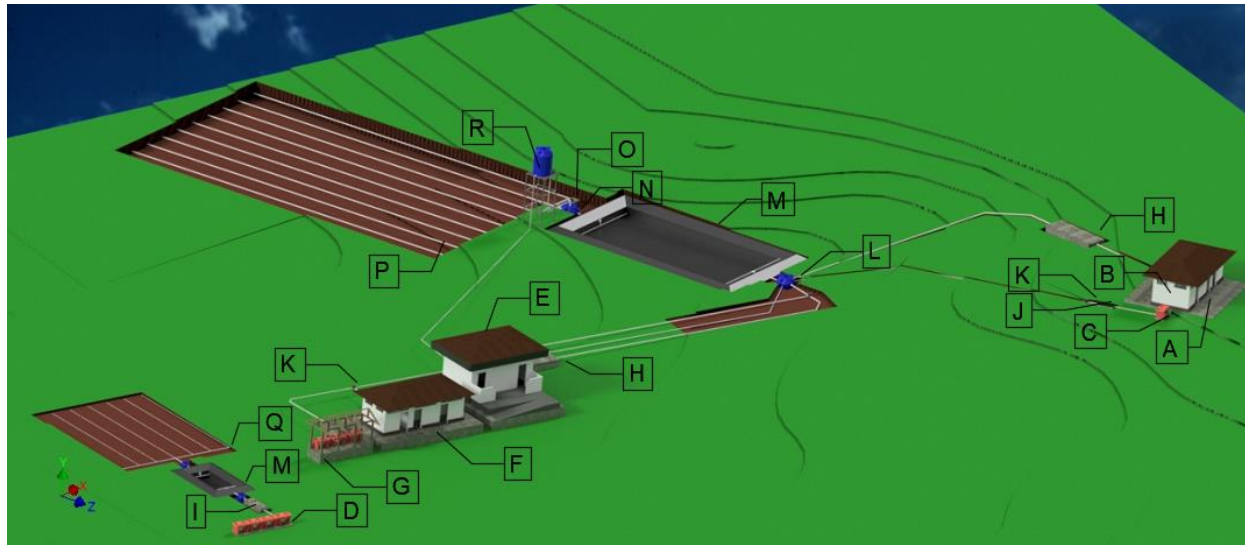
Autor  
 Jorge Rodríguez Vásquez

Revisado por  
 Ronald Aguilar Álvarez

Universidad de Costa Rica  
 Facultad de Ingeniería  
 Escuela de Ingeniería en Biosistemas



Figura 38. Acomodo de unidades y tuberías del sistema de tratamiento del escenario 1



	A	B
1	<b>LEYENDA</b>	
2		
3	A	INODOROS ACTUALES
4	B	DUCHAS ACTUALES
5	C	PILA DE BAÑOS ACTUALES
6	D	PILAS CAMPING
7	E	INODOROS NUEVOS
8	F	DUCHAS NUEVAS
9	G	PILAS NUEVAS
10	H	TANQUE SÉPTICO
11	I	TRAMPA DE GRASAS
12	J	INTERCEPTOR DE SÓLIDOS
13	K	REGISTRO SIFÓNICO
14	L	TANQUE DE INTERCEPCIÓN
15	M	HUMEDAL ARTIFICIAL
16	N	TANQUE DE RECEPCIÓN
17	O	VERTDEDOR
18	P	DRENAJE
19	Q	TUBERÍA DE RIEGO
20	R	TANQUE DE ALMACENAMIENTO

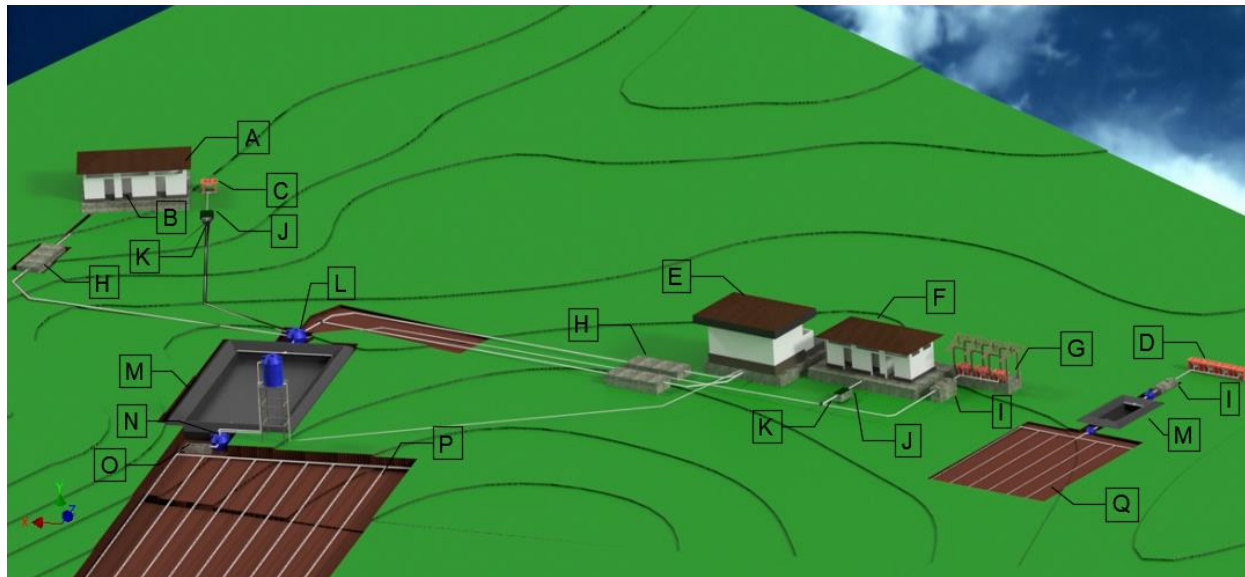


Figura 39. Representación en 3D de vista frontal y trasera del acomodo del sistema de tratamiento para escenario 1.

#### 4.2.7.2. Posicionamiento de escenario 2

Al igual que con el escenario 1, se tendrá un total de cinco tuberías que transportarán las aguas residuales, sin embargo, se tendrá una variación en las tuberías de descarga de los baños nuevos ya que en estas mismas se conectará la descarga de las piletas para lavar que se encuentran actualmente. El conjunto de tuberías queda conformado de la siguiente manera:

- Tres tuberías con el mismo caudal máximo probable. Una tubería transportará las aguas de los inodoros nuevos para los hombres, otra transportará las aguas de los inodoros nuevos de las mujeres, y la tercera las aguas de los inodoros que se encuentran actualmente. A cada tubería se le asignará 15 unidades de descarga.
- Una tubería que transportará las aguas provenientes de las duchas (24 U.D) y las piletas (18 U.D) nuevas, junto con otra que transportará las aguas provenientes de las piletas actuales (18 U.D) para un total 60 unidades de descarga.
- Una tubería que transportará las aguas de las duchas que se encuentran actualmente (12 U.D). Esta misma tubería colectará las aguas de la pileta que se encuentra a un costado de los baños actuales (6 U.D) obteniendo un total de 18 unidades de descarga.

Se muestra en la Tabla 27 un resumen que contiene la cantidad total de tuberías antes del sistema de tratamiento y el caudal máximo probable que transportará cada una.

Tabla 27. Caudales para las tuberías de descarga de aguas residuales en el segundo escenario

<b>Conjunto de tuberías</b>	<b>U.D total por tubería</b>	<b>Caudal de descarga (L/s)</b>
3 tuberías para inodoros	15	0,7957
1 tubería para piletas actuales	24	1,0897
1 tubería para duchas actuales y pileta	18	0,8989
1 tuberías para duchas nuevas, piletas nuevas y piletas actuales	60	2,0115
1 tubería después de tanque receptor	129	3,2134

De igual modo al escenario 1, una vez conocida la pendiente y el caudal de cada tubería, se procede a calcular el diámetro de esta por medio del software de H Canales para asegurar el tirante y las velocidades requeridas. Se muestra un resumen de los resultados en la Tabla 28.

Tabla 28. Resultados de dimensionamiento de tuberías de descarga para escenario 2

Conjunto de tuberías	Q (m <sup>3</sup> /s)	Diámetro		Pendiente (%)	Tirante (mm)	V (m/s)
		mm	in			
2 tuberías para inodoros nuevos	0,000796	100	4	1,50	21	0,66
1 tubería para inodoros actuales	0,000796	100	4	2,60	18,3	0,81
1 tubería para duchas nuevas, piletas nuevas y piletas actuales	0,002012	76,2	3	2,00	35,3	0,97
1 tubería para duchas actuales y pileta	0,000899	63,5	2,5	1,90	24,9	0,78
Tubería después de tanque y humedal	0,003261	100	4	1,5	43,8	0,99

Una vez obtenido los diámetros y longitudes de todas las tuberías, se construyen los planos con el acomodo de las distintas unidades para el escenario 2. Cabe destacar que el acomodo del escenario 2 es el mismo tanto para el uso de un solo humedal artificial como para el uso de 2 humedales artificiales en paralelo. Se muestran en las Figuras 42 y 43 los planos con el acomodo de este escenario, además de su representación 3D en las Figuras 44 y 45.

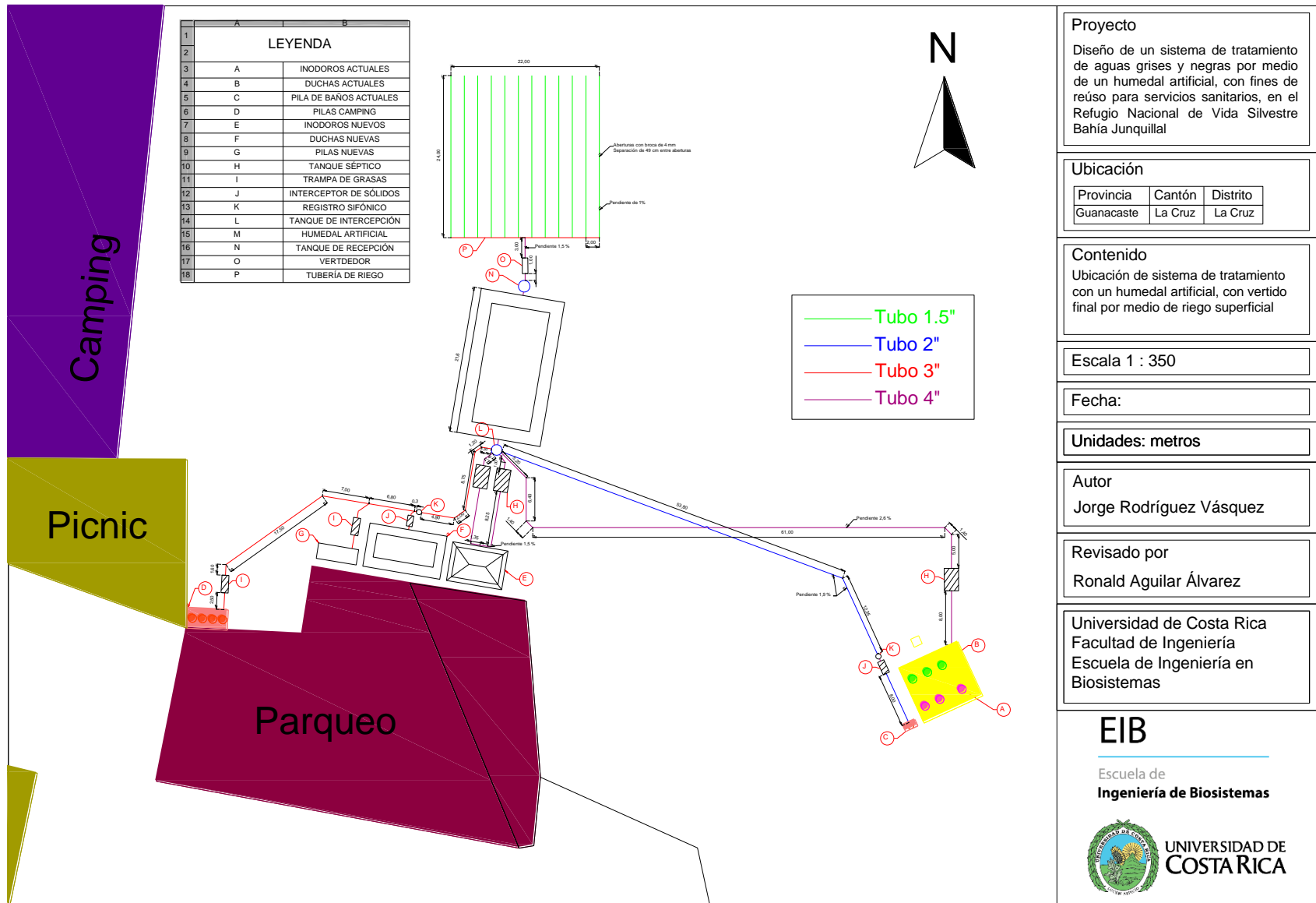


Figura 40. Acomodo de unidades y tuberías del sistema de tratamiento del escenario 2

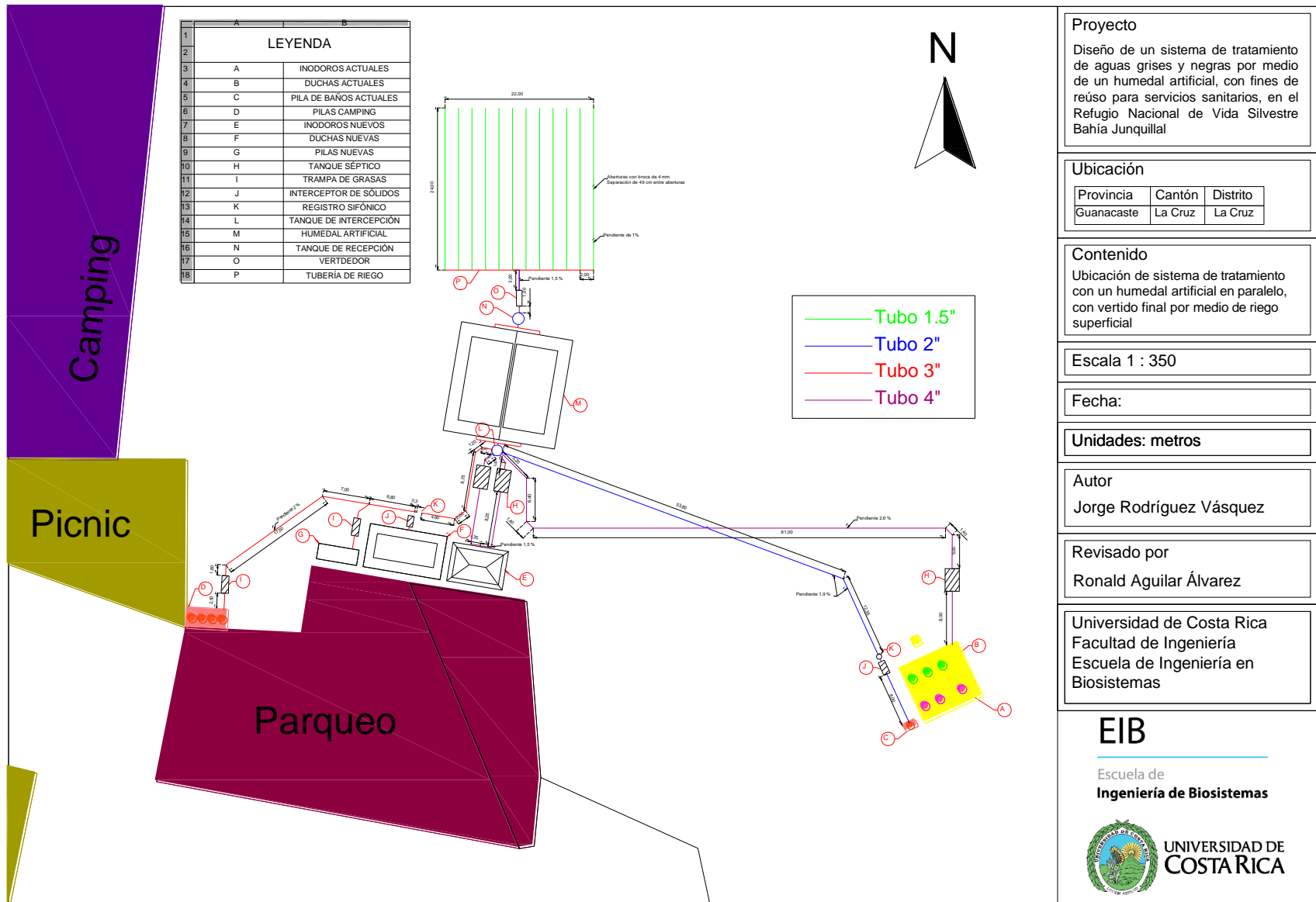
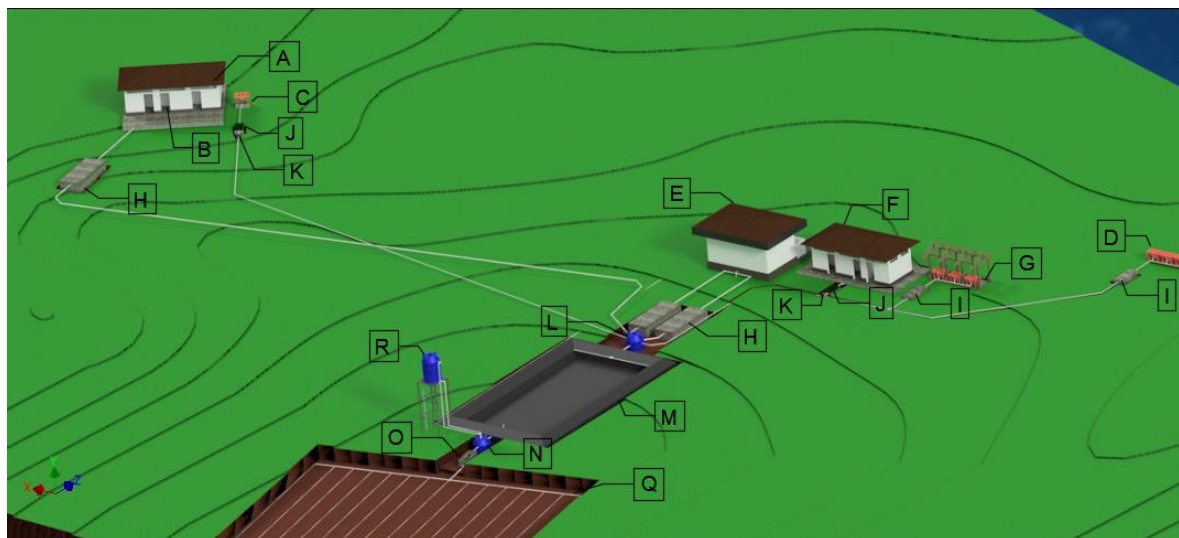
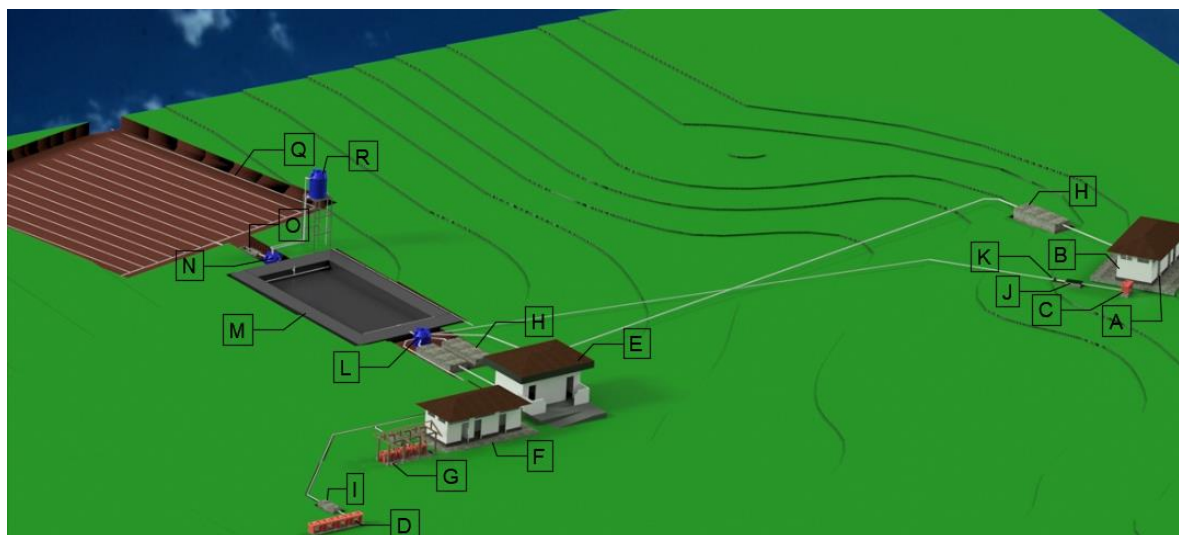


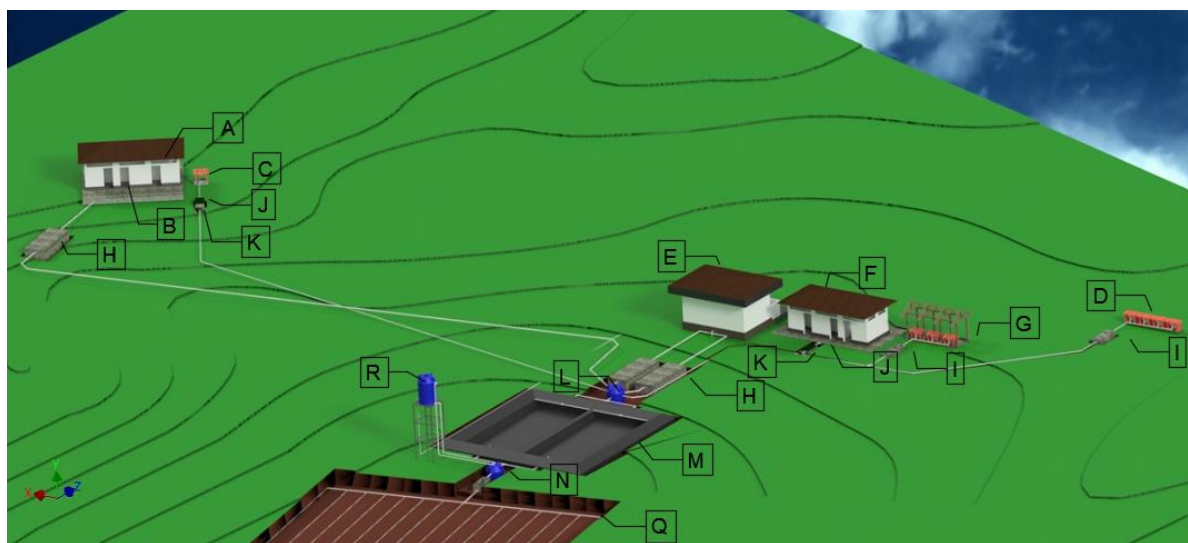
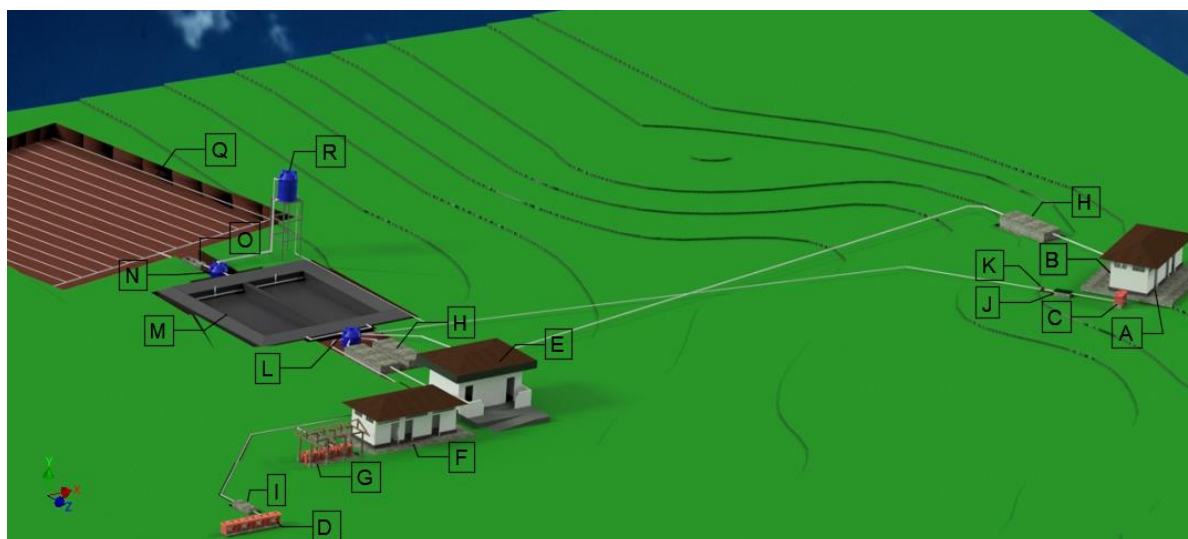
Figura 41. Acomodo de unidades y tuberías del sistema de tratamiento del escenario 2 con humedales en paralelo





	A	B
1	<b>LEYENDA</b>	
2		
3	A	INODOROS ACTUALES
4	B	DUCHAS ACTUALES
5	C	PILA DE BAÑOS ACTUALES
6	D	PILAS CAMPING
7	E	INODOROS NUEVOS
8	F	DUCHAS NUEVAS
9	G	PILAS NUEVAS
10	H	TANQUE SÉPTICO
11	I	TRAMPA DE GRASAS
12	J	INTERCEPTOR DE SÓLIDOS
13	K	REGISTRO SIFÓNICO
14	L	TANQUE DE INTERCEPCIÓN
15	M	HUMEDAL ARTIFICIAL
16	N	TANQUE DE RECEPCIÓN
17	O	VERTEDOR
18	Q	TUBERÍA DE RIEGO
19	R	TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Figura 42. Representación en 3D de vista frontal y trasera del acomodo del sistema de tratamiento para escenario 2.



	A	B
1	<b>LEYENDA</b>	
2		
3	A	INODOROS ACTUALES
4	B	DUCHAS ACTUALES
5	C	PILA DE BAÑOS ACTUALES
6	D	PILAS CAMPING
7	E	INODOROS NUEVOS
8	F	DUCHAS NUEVAS
9	G	PILAS NUEVAS
10	H	TANQUE SÉPTICO
11	I	TRAMPA DE GRASAS
12	J	INTERCEPTOR DE SÓLIDOS
13	K	REGISTRO SIFÓNICO
14	L	TANQUE DE INTERCEPCIÓN
15	M	HUMEDAL ARTIFICIAL
16	N	TANQUE DE RECEPCIÓN
17	O	VERTEDOR
18	Q	TUBERÍA DE RIEGO
19	R	TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Figura 43. Representación en 3D de vista frontal y trasera del acomodo del sistema de tratamiento para escenario 2 con humedales en paralelo

#### 4.2.8. Diseño de sistema para reúso de aguas en servicios sanitarios

Si bien, ya se diseñó un sistema para vertido de aguas tratadas por medio de drenaje o riego, se le plantea a la Asociación la opción de reusar parte de las aguas tratadas en servicios sanitarios. Cabe destacar que, en caso de construir este sistema, no se necesitará la totalidad de las aguas tratadas para el funcionamiento de los servicios sanitarios, por lo que siempre será requerido la implementación del vertido final diseñado anteriormente. A pesar de esto, implementar un sistema para reúso supone una reducción en la demanda del agua, recurso que puede escasear en la zona de Guanacaste, principalmente en época seca.

El sistema para reúso estará compuesto por un tanque de recepción a la salida del humedal, un tanque de almacenamiento de agua, el sistema de tuberías de conducción y el equipo de bombeo requerido para transportar el agua desde el tanque de recepción al tanque de almacenamiento. Se propone el diseño del sistema de reúso para abastecer el requerimiento de un total de 6 inodoros en un día, coincidiendo con la cantidad de servicios sanitarios que se van a construir. Se muestra a continuación el desarrollo para el dimensionamiento y selección de los distintos componentes del sistema.

##### 4.2.8.1. Dimensionamiento de tanque de almacenamiento para reúso

Dado que propone realizar el reúso de agua para seis inodoros, el caudal de diseño será aquel que responda a la necesidad de una cobertura de 300 habitantes, tal como se explicó en la sección 3.3.7.1 de la metodología.

Los criterios usados para el dimensionamiento serán los mostrados a continuación.

- La población para cubrir será de 300 habitantes.
- El volumen de almacenamiento debe ser el suficiente para cubrir las necesidades de un día completo en temporada alta de visitas.
- La dotación de agua será estimada en 15 L/persona/día, según el Manual Técnico de Dotaciones de Agua de la Dirección de Aguas (MINAE, 2021).

Se hace uso de la ecuación [29] para estimar el volumen total de almacenamiento que debe poseer el tanque.

$$V_T = Dot * P * t$$
$$V_T = 15 \frac{L}{persona * d} * 300 personas * 1 d$$
$$V_T = 4500 L$$

Se obtiene que se requiere un tanque con un mínimo de 4 500 L (4,50m<sup>3</sup>). Se sugiere realizar la compra de un tanque plástico de 5 000 L, dado que es el volumen que se consigue comercialmente por encima de los 4 500 L. Por otra parte, estos tanques son de sencilla manipulación, están adaptados para usar distintos accesorios como válvulas y representan un menor costo en comparación a un tanque de concreto.

#### 4.2.8.2. Dimensionamiento de tubería para conducción de agua para reúso

En esta sección se determina el posicionamiento, diámetro de las tuberías de conducción, y elevación requerida del tanque de almacenamiento para alcanzar la presión de trabajo de los inodoros. El tanque que captará las aguas provenientes del humedal artificial y el tanque de almacenamiento de aguas para reúso en servicios sanitarios estarán ubicados a la salida del humedal, según lo mostrado en el diagrama de la Figura 24.

Para el dimensionamiento de las tuberías se requiere calcular el caudal de diseño de estas. Para el cálculo del caudal de diseño, al igual que con las tuberías de descarga se usó el método de Hunter, en donde se aplica un peso a unidades sanitarias de uso intermitente el cual se mide por las llamadas unidades accesorio. Se hace uso de la ecuación [27], en donde cada servicio sanitario corresponde a tres unidades accesorio, para un total de 18 unidades accesorio correspondiente a seis servicios sanitarios.

$$Q = 0,13(u. a)^{0,669}$$

$$Q = 0,13(18 u. a)^{0,669}$$

$$Q = 0,8989 L/s$$

Se obtiene un caudal de diseño aproximado de 0,90 L/s para las tuberías de reúso, teniendo un caudal 0,15 L/s para cada inodoro. La distribución de las tuberías, pérdidas de presión que se generan en estas, y la altura del tanque de almacenamiento dependerá del escenario en que se haga el acomodo del sistema (escenario 1 o escenario 2), ya que la salida del humedal se encontrará en un lugar diferente según el escenario. A continuación, se muestra el cálculo de cada escenario de forma independiente.

##### Escenario 1 para reúso

Para el escenario 1, la tubería entre el tanque de almacenamiento y los inodoros nuevos tendrá una longitud total de 39 m. Dado que en este escenario los baños se construyen con una altura de un metro sobre la superficie del suelo, la diferencia de altura entre la salida del humedal y los baños es de 1,2 m.

Según lo descrito en la sección 3.3.7.2 de la metodología, para determinar la altura del tanque de almacenamiento se usó el software de Epanet, con el método de Darcy-Weisbach. Se tomó como punto crítico el servicio sanitario más alejado y una presión de servicio de tres metros de columna de agua, la cual es la requerida en servicios sanitarios.

Para el cálculo de las pérdidas por accesorios se cuantificó la cantidad de entradas y salidas de las tuberías, válvulas, reducciones, codos y uniones T, cada accesorio asociado a un coeficiente de pérdida el cual fue introducido en Epanet. Se muestra en la Figura 46 un diagrama con los distintos accesorios que forman parte de la tubería para reúso.

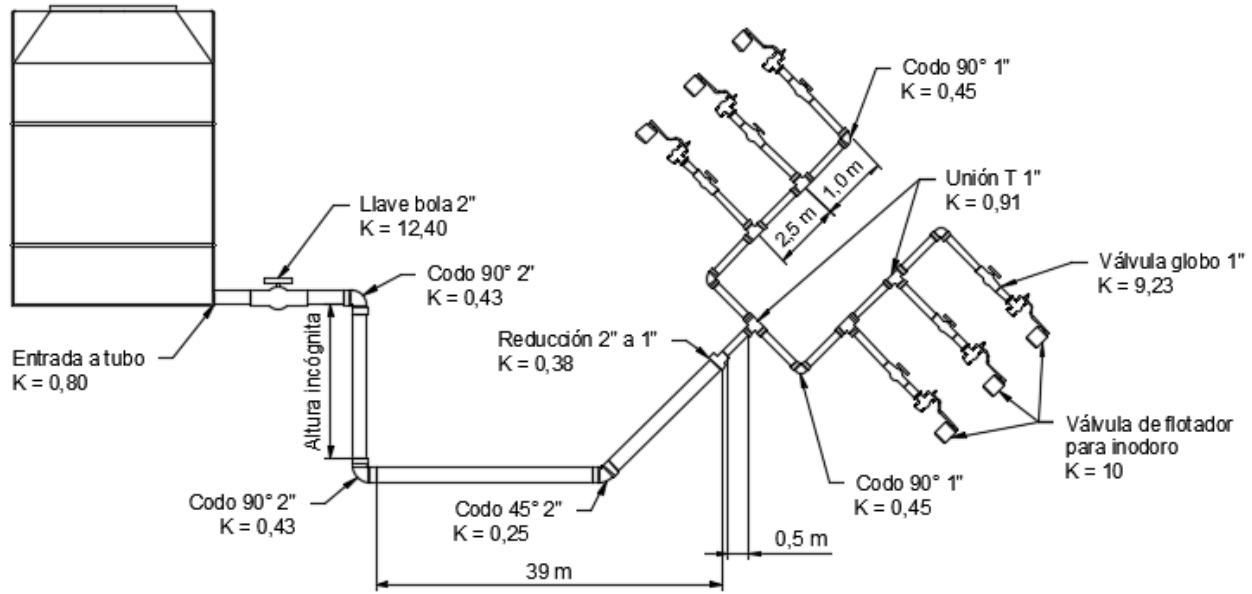


Figura 44. Diagrama de accesorios, sus coeficientes de pérdida y longitudes de tuberías para escenario 1 de reúso en servicios sanitarios (figura no está a escala)

Para la cuantificación del conjunto de coeficientes de pérdidas, se dividió el sistema en cuatro tramos, estando cada tramo compuesto por un mismo caudal y diferenciándose un tramo del otro por tener caudales diferentes debido a la salida de agua en algún ramal de la tubería. El primer tramo se compone desde la salida del tanque de almacenamiento hasta la primer unión T en donde se divide las aguas. El segundo, tercer y cuarto tramo se dividen entre sí por las uniones T que derivan en cada inodoro. Se muestra en la Tabla 29 el cálculo del coeficiente de pérdida total por cada tramo, el cual es el introducido en Epanet.

Tabla 29. Coeficientes de pérdidas menores por accesorios en tuberías para reúso en escenario 1 (CFIA, 2017, Yunus & Cengel, 2012)

Tramo	Accesorio	Cantidad	Coefficiente de pérdida unitario	Coefficiente de pérdida total	Coefficiente de pérdida por tramo
1	Entrada de agua a tubería	1	0,80	0,8	15,56
	Llave bola 2"	1	12,40	12,4	
	Codo 90° 2"	2	0,41	0,82	
	Codo 45° 2"	1	0,25	0,25	
	Reducción 2" a 1"	1	0,38	0,38	
	Unión T 1"	1	0,91	0,91	
2 (Inodoro 1)	Codo 90° 1"	1	0,45	0,45	20,59
	Unión T 1"	1	0,91	0,91	
	Válvula globo roscada 1"	1	9,23	9,23	
	Válvula de flotador	1	10,00	10	
3 (Inodoro 2)	Unión T 1"	1	0,91	0,91	20,14
	Válvula globo roscada 1"	1	9,23	9,23	
	Válvula de flotador	1	10,00	10	
4 (Inodoro 3)	Codo 90° 1"	1	0,45	0,45	19,68
	Válvula globo roscada 1"	1	9,23	9,23	
	Válvula de flotador	1	10,00	10	

Una vez introducidas las longitudes de tubería, caudales, coeficientes de pérdida y alturas en Epanet, se obtiene que el tanque de almacenamiento requiere una altura de 5,40 m sobre el nivel del suelo para que el inodoro más alejado obtenga una presión de 3,01 mca. Para esto se debe usar tubos con un diámetro nominal de dos pulgadas para la conducción desde el tanque de almacenamiento hasta el edificio de los baños y tubos con un diámetro nominal de una pulgada para la tubería dentro del edificio de baños.

Se presenta en la Figura 47 la configuración del modelo hidráulico en donde se logra apreciar la presión de cada nodo, en donde cada nodo representa un accesorio como codos, conexiones tipo T o los inodoros.

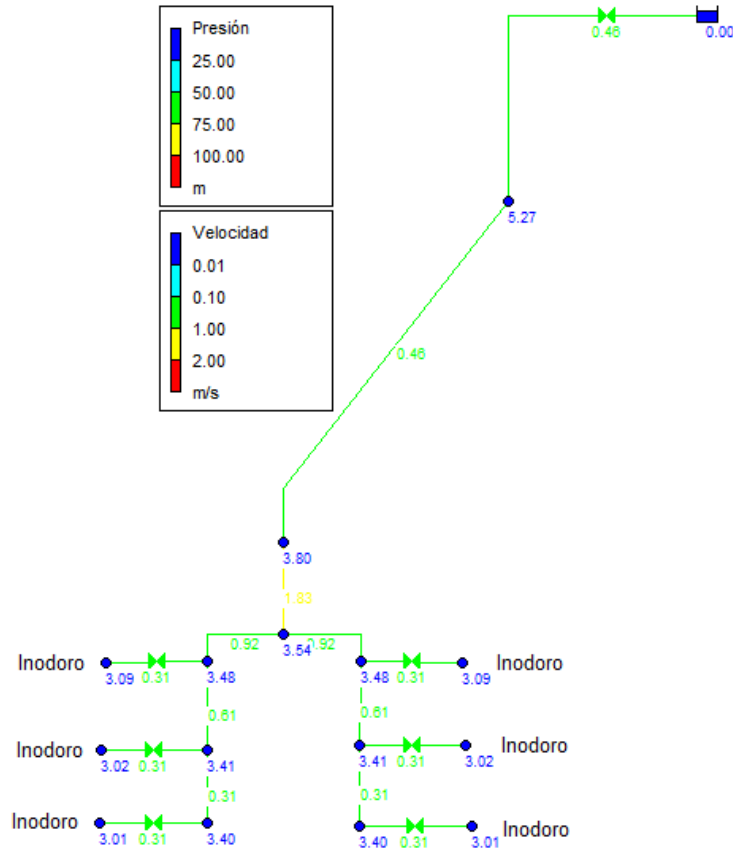


Figura 45. Modelo hidráulico en Epanet para tuberías de reúso de escenario 1

### Escenario 2 para reúso

Para el escenario 2, la tubería entre el tanque de almacenamiento y los inodoros nuevos tendrá una longitud total de 46 m. En este caso, los baños en lugar de estar construidos con una altura de un metro sobre el nivel del suelo se considera que sólo estarán con un borde de 0,1 m, por lo que la diferencia de altura entre la salida del humedal y los baños es de 0,3 m. Los coeficientes de pérdida por accesorios se estimaron al igual que en el escenario 1, se muestra en la Figura 48 el diagrama con los accesorios del sistema de tuberías y sus respectivos coeficientes de pérdidas.

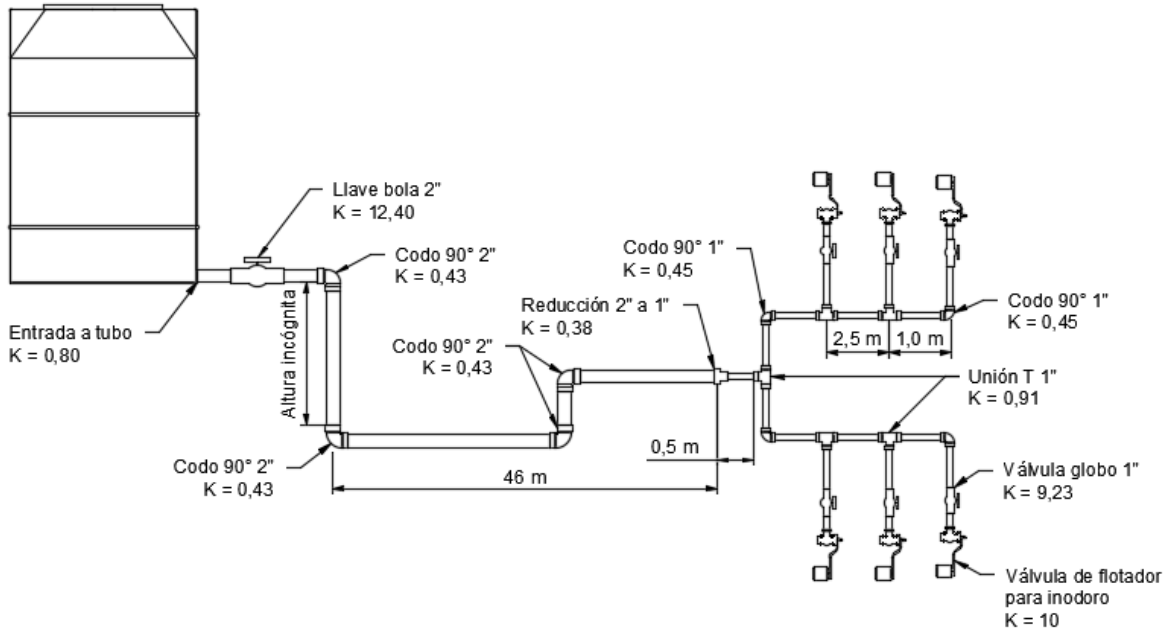


Figura 46. Diagrama de accesorios, sus coeficientes de pérdida y longitudes de tuberías para escenario 2 de reuso en servicios sanitarios (figura no está a escala).

Al igual que con el escenario 1, se dividió el conjunto de tuberías en cuatro tramos los cuales se muestran en la Tabla 30.

Tabla 30. Coeficientes de pérdidas menores por accesorios en tuberías para reuso en escenario 2 (CFIA, 2017, Yunus & Cengel, 2012)

Tramo	Accesorio	Cantidad	Coefficiente de pérdida unitario	Coefficiente de pérdida total	Coefficiente de pérdida por tramo
1	Entrada de agua a tubería	1	0,80	0,8	16,13
	Llave bola 2"	1	12,40	12,4	
	Codo 90° 2"	4	0,41	1,64	
	Reducción 2" a 1"	1	0,38	0,38	
	Unión T 1"	1	0,91	0,91	
2 (Inodoro 1)	Codo 90° 1"	1	0,45	0,45	20,59
	Unión T 1"	1	0,91	0,91	
	Válvula globo roscada 1"	1	9,23	9,23	
	Válvula de flotador	1	10,00	10	
3 (Inodoro 2)	Unión T 1"	1	0,91	0,91	20,14
	Válvula globo roscada 1"	1	9,23	9,23	
	Válvula de flotador	1	10,00	10	
4 (Inodoro 3)	Codo 90° 1"	1	0,45	0,45	19,68
	Válvula globo roscada 1"	1	9,23	9,23	
	Válvula de flotador	1	10,00	10	



Para el escenario 2 se obtuvo que se requiere que el tanque de almacenamiento se encuentre a una altura de 4,6 m sobre el nivel del suelo para obtener una presión de 3,07 mca en el inodoro más alejado, tal como se muestra en la Figura 49. Para esto se debe usar tubos con un diámetro nominal de dos pulgadas para la conducción desde el tanque de almacenamiento hasta el edificio de los baños y tubos con un diámetro nominal de una pulgada para la tubería dentro del edificio de baños. En cuanto al escenario 2 pero usando dos humedales en paralelo la variación es mínima, por lo que aplica los mismos resultados recién descritos.

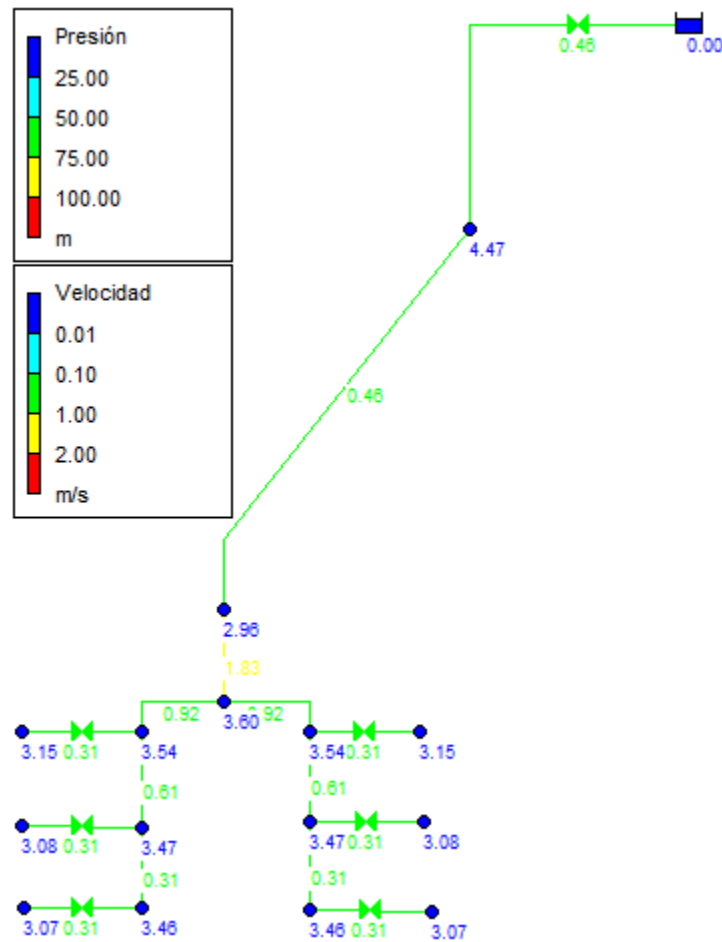


Figura 47. Modelo hidráulico en Epanet para tuberías de reúso de escenario 2

A modo de resumen, se muestran los resultados obtenidos en la Tabla 31. Cabe destacar que estas alturas son válidas siempre y cuando el tanque de almacenamiento esté situado a la salida del humedal, ya que si se varía su posición puede variar las longitudes de la tubería y la altura de referencia por la topografía del terreno.

Tabla 31. Resultados de dimensionamiento de tuberías para reúso de aguas tratadas en servicios sanitarios

Escenario	Altura de tanque de almacenamiento (m)	Diámetro de tubería fuera del edificio de baños (in)	Diámetro de tubería en edificio de baños (in)	Presión crítica entregada (mca)
1	5,4	2	1	3,01
2	4,6	2	1	3,07

#### 4.2.8.3. Selección de bomba para aguas de reúso

Se requiere el uso de una bomba hidráulica que permita transportar el agua desde el tanque interceptor del humedal hasta el tanque de almacenamiento. Para esto se sugiere el uso de una bomba sumergible la cual deberá ir en el interior del tanque interceptor, por lo que deberá ser capaz de elevar el agua desde la parte inferior del tanque interceptor hasta la parte superior del tanque de almacenamiento, según se muestra en el diagrama de la Figura 50.

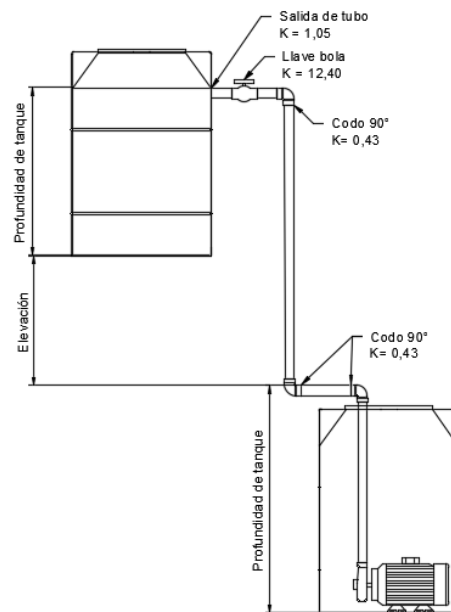


Figura 48. Diagrama de sistema de bombeo para reúso de aguas tratadas (Figura sin escala)

Según se muestra en la Figura 50, la bomba debe estar en la capacidad de dar la presión requerida para alcanzar la elevación del tanque de almacenamiento mostrada en la Tabla 31, por otra parte, también debe dar la presión correspondiente a la altura de la profundidad de los tanques. Teniendo en consideración que los tanques tienen una profundidad aproximada de 2,1 m, la altura total que se debe alcanzar son 9,6 metros para el escenario 1 y 8,8 metros para el escenario 2.

Se realizó la revisión de bombas disponibles en el mercado nacional y se introdujo las curvas características en el software Epanet para realizar una simulación hidráulica, esto con el fin de asegurar las presiones requeridas aún con las pérdidas por fricción y accesorios. Se eligió una bomba sumergible TOP Multi-Tech 2 con una potencia de 0,75 HP.

Esta bomba trabaja con una conexión eléctrica de 220 V y una frecuencia de 60 Hz, por otra parte, el diámetro nominal de la tubería de descarga es de 1-1/4", dato que es relevante para realizar la simulación hidráulica. Bajo las condiciones dadas la bomba brinda una presión de 13,84 mca y un caudal de 66,4 L/min, permitiendo un llenado completo del tanque de 5000 L en un tiempo de 75 minutos.

#### *4.2.8.4. Monitoreo y cloración del agua de reúso*

Como aspecto adicional a tomar en cuenta para el sistema de reúso, se encuentra el monitoreo de las aguas tratadas y su cloración. Cabe destacar que el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales, en el artículo 28 clasifica el reúso para inodoros como reúso tipo 1 (Reúso urbano). Entre los parámetros de análisis obligatorio para este tipo de reúso se encuentra los coliformes fecales y los nemátodos intestinales, siendo el límite máximo de 1000 NMP para los nematos intestinales y 1 huevo por litro para los nemátodos intestinales.

A pesar de la obligatoriedad de estos muestreos, aquellos campamentos y otros tipos de hospedaje temporales que generen únicamente aguas residuales de tipo ordinario y con un caudal menor a 190 m<sup>3</sup>/mes, estarán exentos de presentar reportes operaciones ante el Ministerio de Salud. Sin embargo, se recomienda realizar un muestreo semestral como lo establece dicho reglamento para aquellos entes que generen menos de 100 m<sup>3</sup>/día de aguas residuales ordinarias. Cabe destacar que a pesar de que el diseño del sistema se haya realizado con un caudal pico de 26,4 m<sup>3</sup>/día, este caudal sólo se presentará días de máxima visitación como feriados o fechas vacacionales, por lo que no se alcanzará los 190 m<sup>3</sup>/mes de aguas residuales.

A pesar de lo mencionado, Con el uso de humedales artificiales en Costa Rica se ha registrado hasta un decaimiento de entre 94,7 % - 98,4 %, pasando de 2400 NMP/100 mL a 37,3 NMP/100 mL de coliformes fecales (Venegas, 2020). Estos valores demuestran el cumplimiento con el límite establecido por el Reglamento de Vertido y Reúso de aguas residuales de 1000 NMP/100 mL Sin embargo, en caso de superar los 1000 NMP/100 mL se recomienda aplicar en el tanque de almacenamiento hipoclorito de sodio al 12%, el cual es posible conseguirse en cualquier ferretería. Con esta concentración se deberá aplicar 40 mL por cada 1000 L de almacenamiento, por lo que con un tanque de 5000 L se deberá aplicar un total de 200 mL.

#### *4.2.8.5. Ubicación del sistema de reúso de aguas tratadas para servicios sanitarios*

Una vez realizado el diseño del sistema para reúso de aguas tratadas, se dibuja en los planos del sistema de tratamiento la ubicación del tanque de almacenamiento, la ubicación de las tuberías que conducen las aguas tratadas y su respectivo diámetro. Se presentan en las figuras 49, 50 y 51 los planos actualizados con el sistema de reúso. Cabe destacar que para la presentación del sistema de reúso se omite parte de la información presentada en los planos de las figuras 38, 40 y 41, para evitar la saturación de información en el dibujo y que este se vuelva ilegible.

Por otra parte, se observa de la figura 49 a la 51 que el tubo que sale del tanque de recepción y va hasta el tanque de almacenamiento es de 1-1/4". Esto se debe a que este es el diámetro de impulsión de la bomba sumergible contenida dentro del tanque de intercepción.

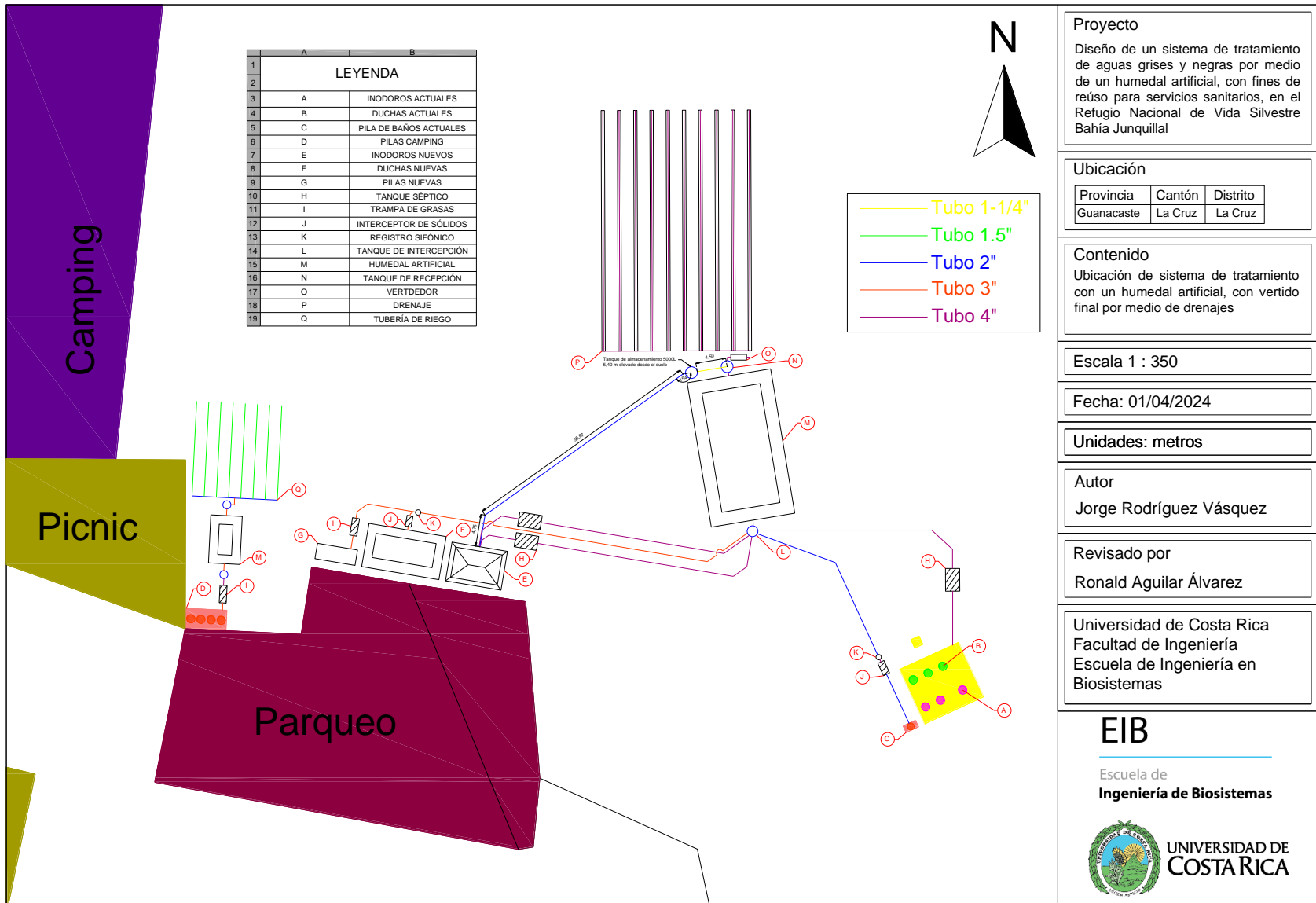
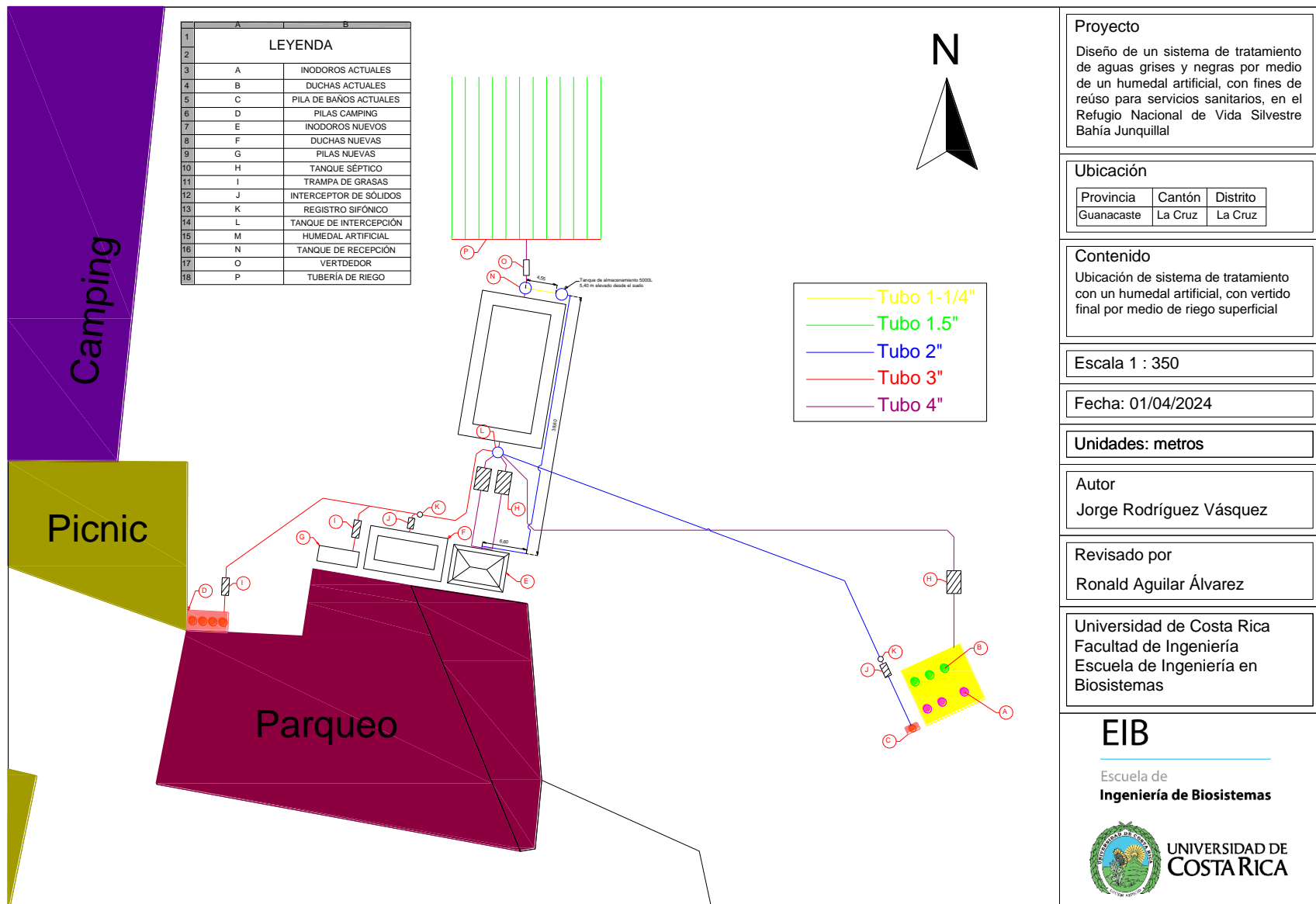


Figura 49. Ubicación de sistema de reúso de aguas tratadas en servicios sanitarios para escenario 1



**Proyecto**  
 Diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises y negras por medio de un humedal artificial, con fines de reúso para servicios sanitarios, en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquilla

**Ubicación**

Provincia	Cantón	Distrito
Guanacaste	La Cruz	La Cruz

**Contenido**  
 Ubicación de sistema de tratamiento con un humedal artificial, con vertido final por medio de riego superficial

Escala 1 : 350

Fecha: 01/04/2024

Unidades: metros

**Autor**  
 Jorge Rodríguez Vásquez

**Revisado por**  
 Ronald Aguilar Álvarez

Universidad de Costa Rica  
 Facultad de Ingeniería  
 Escuela de Ingeniería en Biosistemas

**EIB**

Escuela de **Ingeniería de Biosistemas**



**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

Figura 50. Ubicación de sistema de reúso de aguas tratadas en servicios sanitarios para escenario 2

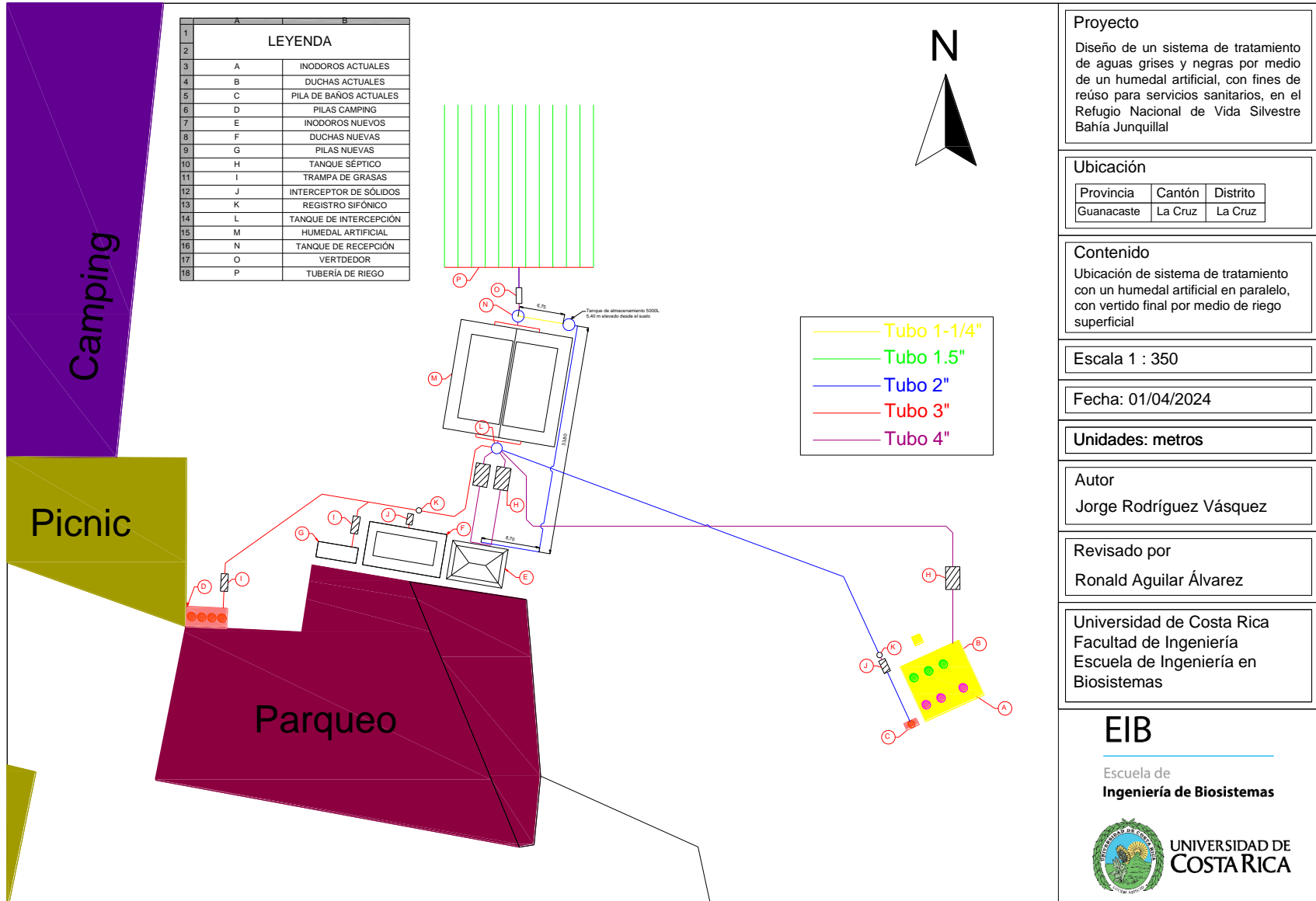


Figura 51. Ubicación de sistema de reúso de aguas tratadas en servicios sanitarios para escenario 2 con humedales en paralelo

#### 4.2.9. Estimación de presupuesto del proyecto

Con base en los diseños y los planos constructivos de cada escenario, se contabilizó los materiales requeridos para la construcción del proyecto. Entre los materiales requeridos se encuentran agregados como piedra y arena, tubería de PVC y sus accesorios, elementos de obra gris, varillas de acero para refuerzo, tanques plásticos, impermeabilizantes para el humedal y sus respectivas plantas. También se tiene en consideración servicios contratados como maquinaria amarilla para movimiento de tierras, mano de obra y los honorarios para la supervisión de la obra por parte de un ingeniero según lo establecido por el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. Se muestra en la Tabla 32 un resumen de los materiales y gastos asociados a cada escenario.

Tabla 32. Inversión asociada a cada escenario para la construcción del sistema de tratamiento (Costos en colones)

<b>Parámetro</b>	<b>Escenario 1</b>	<b>Escenario 2</b>	<b>Escenario 2 Paralelo</b>
Agregados	7 357 953	4 033 387	4 033 387
Obra gris prefabricada	2 143 899	2 143 899	2 143 899
Tubería PVC y accesorios	1 925 325	1 249 283	1 320 009
Blocks 15X20X40	681 706	681 706	681 706
Cemento	806 000	806 000	806 000
Varillas de acero	366 942	366 942	366 942
Plantas humedal	835 000	800 000	800 000
Geomembrana	676 664	676 664	676 664
Tanques de agua	1 040 788	1 040 788	1 040 788
Bomba sumergible	306 101	306 101	306 101
Movimiento de tierras	510 000	420 000	420 000
Mano de obra	1 165 526	876 734	881 685
Supervisión de obra	832 519	626 238	629 775
Imprevistos 5%	832 519	626 238	629 775
<b>Total</b>	<b>19 480 942</b>	<b>14 653 980</b>	<b>14 736 730</b>

Se observa que el escenario que requiere una mayor inversión corresponde al escenario 1, esto se debe a la construcción del drenaje el cual requiere una cantidad extra de agregados, de tuberías y mayor movimiento de tierras. En cuanto a los demás rubros, se estima que la inversión de los materiales sea la misma, con una leve variación en la demanda de mano de obra debido a los trabajos del drenaje.

Tal como se muestra en las Figuras 52 y 53, independientemente del escenario, la mayor inversión está asociada a los agregados. En los agregados se incluye piedra gavión para el humedal, piedra cuarta para el humedal, drenaje y construcción de tanques sépticos, piedra quintilla como una capa superficial para el drenaje y arena para mezcla de cemento.

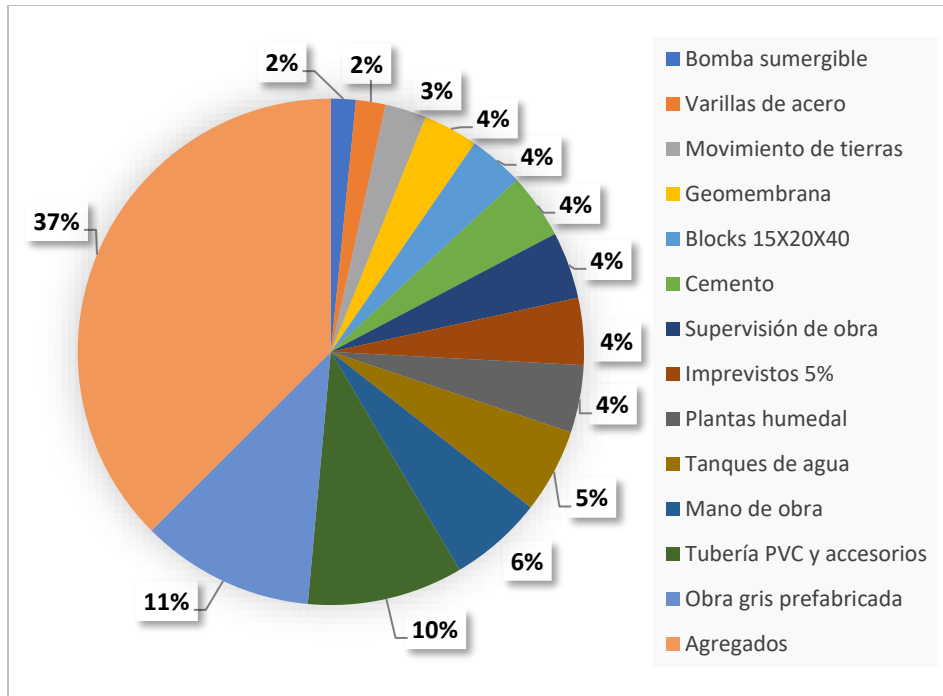


Figura 52. Distribución porcentual de inversión para construcción del escenario 1 del sistema de tratamiento.

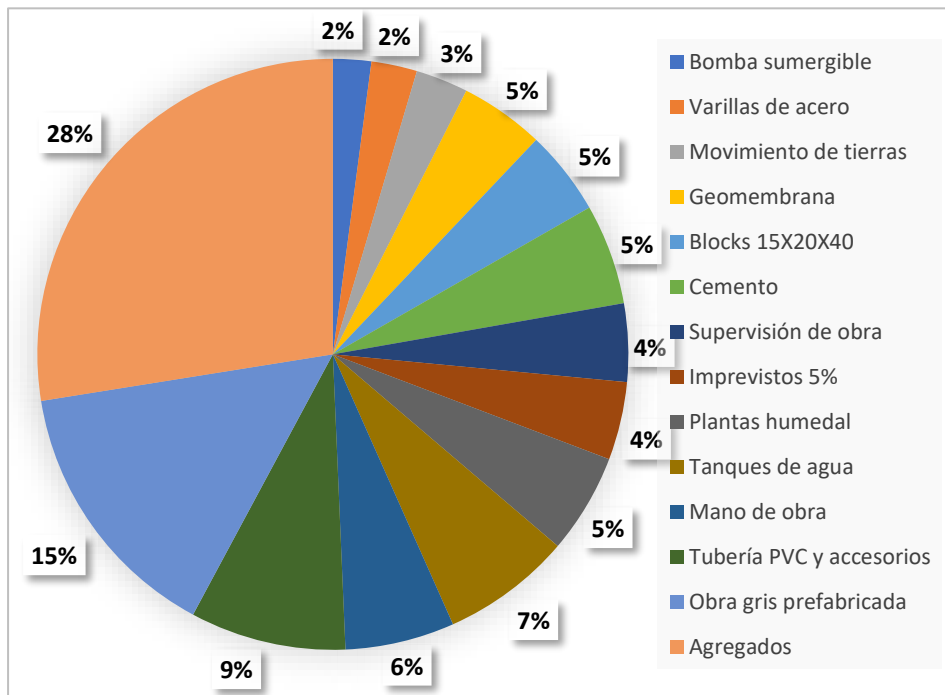


Figura 53. Distribución porcentual de inversión para construcción del escenario 2 del sistema de tratamiento.



En cuanto a las tuberías de PVC y sus accesorios, se incluye todos los diámetros de tubería mostrados en los planos constructivos. Para esto se tomó en cuenta que cada tubo posee una longitud de 6m, además de contabilizar cada conexión como las uniones, Tee sanitaria, Ye sanitaria, reducciones, codos, taponés y adaptadores.

Cabe destacar que el humedal no será impermeabilizado con concreto, si no que se optará por el uso de una geomembrana la cual consiste en un plástico de polietileno de alta densidad (HDPE) con un espesor de 500 micras. La presentación de este plástico se ofrece en rollos con un ancho de 8m y un largo de 30m, por lo que se cotizó un total de dos rollos. Para las plantas del humedal se consideró distintas opciones mostradas en la sección 4.2.4.3, realizando el presupuesto con la AVECILLA dado que fue la planta que menor coste representó.

Cabe destacar que el presupuesto presentado incluye la incorporación del sistema para reúso de aguas tratadas, sin embargo, en caso de la implementación de una primera etapa sin considerar reúso, la inversión total corresponde a la mostrada en la Tabla 33.

Tabla 33. Inversión asociada a cada escenario para la construcción del sistema de tratamiento sin contemplar reúso de aguas tratadas (Costos en colones)

<b>Parámetro</b>	<b>Escenario 1</b>	<b>Escenario 2</b>	<b>Escenario 2 Paralelo</b>
Agregados	7 339 315	4 014 748	4 014 748
Obra gris prefabricada	2 143 899	2 143 899	2 143 899
Tubería PVC y accesorios	1 670 685	977 567	1 064 992
Blocks 15X20X40	681 706	681 706	681 706
Cemento	780 000	780 000	780 000
Varillas de acero	353 976	353 976	353 976
Plantas humedal	835 000	800 000	800 000
Geomembrana	676 664	676 664	676 664
Tanques de agua	367 522	367 522	367 522
Movimiento de tierras	510 000	420 000	420 000
Mano de obra	1 075 114	785 126	791 246
Supervisión de obra	767 938	560 804	565 175
Imprevistos 5%	767 938	560 804	565 175
<b>Costo total</b>	<b>17 969 757</b>	<b>13 122 816</b>	<b>13 225 103</b>

El coste total del proyecto se reduce en aproximadamente en un 10% si no se contempla el sistema para reúso de aguas residuales, esto debido a que no se considera compra de la bomba sumergible, además de tubería que soporte aguas a presión y sus respectivos accesorios.

Es importante destacar que en esta sección se muestra los costos de los materiales con una clasificación generalizada, sin embargo, no es posible observar de forma específica la totalidad de los materiales. Para ver a detalle el total de los materiales, su costo unitario y sus respectivos proveedores, consultar la tabla de Excel en los anexos adjuntos.

### 4.3. Manual de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento

En esta sección se describe el proceso de operación para la puesta en marcha del sistema de tratamiento, tareas de mantenimiento y posibles complicaciones que se pueden presentar, además de la forma de solventarlas. Como base se usará el artículo 29 del Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (N° 31545-S-MINAE) en el cual se describe el formato y contenido del manual de operación y mantenimiento.

Según dicho reglamento, en el manual de operación y mantenimiento se debe destacar los siguientes puntos: descripción del proceso industrial, procesos de tratamiento, información básica de diseño, personal, equipo, puesta en marcha, operación, control operacional, posibles problemas, mantenimiento, desechos, reportes operaciones y un cuadro resumen. A continuación, se desarrolla cada uno de estos puntos. Cabe destacar que se realizó el manual de forma independiente el cual se muestra en la sección 8 de los anexos.

#### 4.3.1. Descripción del proceso de producción de aguas residuales

En el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal se da la producción de aguas residuales de tipo ordinarias. Según se muestra en el diagrama de flujo de la Figura 54, las duchas y las piletas dan a la generación de aguas grises con un caudal máximo de  $19,12 \text{ m}^3/\text{día}$ . En las duchas se da la descarga de aguas principalmente con jabones y arenas, mientras en las piletas se producen aguas con grasas, jabones, restos sólidos de comidas y arenas.

Por otra parte, desde los servicios sanitarios se da la generación de aguas negras con un caudal máximo de  $5,74 \text{ m}^3/\text{día}$ . Estas aguas contendrán residuos biológicos como excretas y orina humana, dando lugar a la generación de lodos digeridos en los tanques sépticos. Tanto las aguas grises como las aguas negras se combinarán en un tanque interceptor dando como resultado un caudal de  $24,86 \text{ m}^3/\text{día}$  para su respectivo tratamiento.

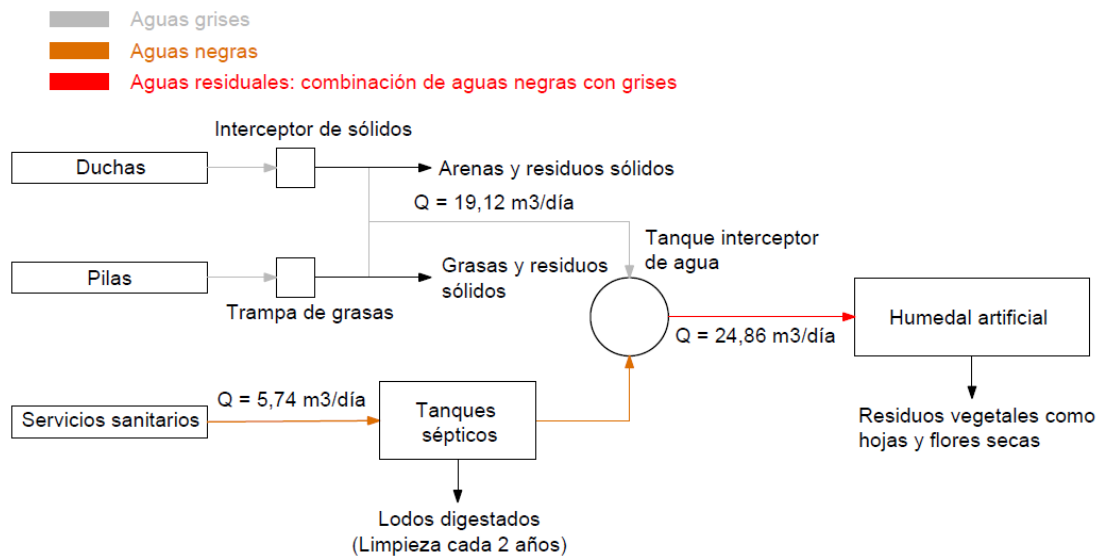


Figura 54. Diagrama del proceso de producción de aguas residuales en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal.

#### *4.3.2. Procesos de tratamiento*

Para dar tratamiento al agua residual, esta pasa por distintas etapas que van desde el pretratamiento y tratamiento primario con el fin de adecuar el agua para el tratamiento secundario en humedal artificial. El flujo entre las distintas etapas se da por medio de tuberías sanitarias de PVC, las cuales deberán tener un diámetro y desnivel adecuado para permitir el movimiento por medio de la gravedad. Dichos diámetros y pendientes se detallan en los planos constructivos.

Los procesos en el sistema de tratamiento constan de trampas de grasas, interceptores de sólidos, cajas de registros sifónicos, tanques sépticos, tanques interceptores, humedal artificial y sistema de infiltración para aguas tratadas por medio de drenaje o riego superficial. Se describe a continuación cada uno de estos procesos.

##### *4.3.2.1. Trampa de grasa*

Estas deben ser colocadas a la salida de las pilas para lavar. La finalidad de las trampas de grasas es remover las grasas, aceites y residuos sólidos que se puedan generar del lavado de platos y utensilios que se usan para comer y cocinar. Por otra parte, en las pilas también se acumula y descarga partículas de arena las cuales también pueden ser interceptadas en la trampa de grasa para evitar obstrucciones en tuberías.

##### *4.3.2.2. Interceptor de sólidos*

El interceptor se encontrará a la salida de las duchas. Este se trata de un compartimento de tres cámaras, cuyo paso entre cámaras provocará la reducción de la velocidad del agua, permitiendo que las partículas de arena se sedimenten evitando su acumulación en tuberías y posteriores etapas del sistema de tratamiento.

##### *4.3.2.3. Caja de registro sifónico*

La caja de registro sifónico se trata de un pequeño compartimento el cual contiene una tapa removible que sirve para revisar el estado de las aguas residuales en un punto determinado. En caso de que en las trampas de grasas o interceptores se hayan escapado residuos sólidos, también pueden ser interceptados en este punto para su retiro manual. Por otra parte, al ser un registro sifónico, tiene una curvatura en su salida que permite la generación de un sello hidráulico, esto con la finalidad de evitar malos olores que puedan venir del sistema de tratamiento en etapas posteriores.

##### *4.3.2.4. Tanque séptico*

Es un tanque utilizado principalmente para decantar los sólidos sedimentables de las aguas negras. En este caso, estarán colocados a la salida de los edificios con los servicios sanitarios, dando el tiempo suficiente de residencia al agua para que sedimenten los sólidos y estos sean digeridos. Los tanques sépticos deberán estar tapados en todo momento y deberán tener incorporado un tubo de al menos tres metros de altura para la evacuación de gases.

#### *4.3.2.5. Tanques interceptores*

Se tratan de tanques plásticos que estarán a la entrada y a la salida del humedal artificial. La función del tanque de entrada será recibir todo el conjunto de aguas residuales antes del humedal artificial, con la finalidad de que se puedan mezclar y que descarguen al humedal artificial con una composición más homogénea. El tanque a la salida del humedal se encargará de captar las aguas tratadas a la salida del humedal, además de que podrá contener una bomba sumergible en caso querer reutilizar el agua para aplicaciones como riego o reúso en servicios sanitario. Ambos tanques, tanto el de la entrada como el de la salida, pueden funcionar como registros, para tomar muestras de agua y hacerle su respectivo análisis para determinar la calidad del tratamiento del humedal artificial.

#### *4.3.2.6. Humedal artificial*

Esta es la parte del sistema de tratamiento en donde se da la mayor remoción de la materia orgánica. Generalmente en este punto la materia orgánica se encuentra disuelta en el agua, ya que la materia que no es soluble se habrá ido separando del agua en etapas previas. Una vez que el agua residual ingresa en el humedal artificial, interactúa con los microorganismos que se desarrollan en el medio filtrante y raíces de las plantas. La materia orgánica es transformada en componentes que no sean contaminantes y en nutrientes que son absorbidos por las plantas. Es importante utilizar plantas que se adapten al clima de la zona, además de protegerlas de depredadores, plagas y animales. En algunas ocasiones es recomendable colocar una cerca de malla ciclón alrededor del humedal para evitar el daño a las plantas por parte de animales.

#### *4.3.2.7. Sistema de infiltración para aguas tratadas*

Esta es la zona en el proceso del tratamiento en donde se da el vertido final de las aguas. En este punto las aguas residuales ya han sido tratadas por lo que su disposición en el suelo o subsuelo no representa un impacto ambiental negativo. El vertido puede realizarse por medio de zanjas de infiltración, siempre y cuando el suelo tenga condiciones las de infiltración adecuadas y haya una separación prudente del drenaje con el nivel freático en el subsuelo. Caso contrario, puede optarse por alternativas como la infiltración por medio de riego superficial. Hay que recordar que en este punto las aguas se encuentran tratadas, por lo que su vertido no representa un riesgo ambiental ni un riesgo a la salud.

#### *4.3.2.8. Vertedor*

Es una parte del sistema que no forma parte activa en el tratamiento de aguas, sin embargo, es útil para poder tener control y conocimiento de lo que está pasando en el sistema de tratamiento. Consiste en un pequeño canal cuya función es la medición de caudales. El agua pasa a través de una cuchilla con una abertura de forma triangular en su parte superior, la cual nivela la altura del agua en el canal. Dicha altura se puede medir con una regla, de tal modo que se asocia con un caudal calculado de forma previa para la altura correspondiente.

#### 4.3.3. Información básica de diseño

A continuación, se muestra información básica relacionada con el diseño, como la capacidad del sistema, tiempos de operación y dimensionamiento de las partes involucradas.

##### 4.3.3.1. Jornada de operación

La operación está sujeta a la visitación de los turistas al refugio, el cual se encuentra abierto todos los días del año, inclusive en horario nocturno debido al camping. En vista de esto, el sistema de tratamiento deberá trabajar en un horario de 24 horas del día de lunes a viernes, en todo el año.

##### 4.3.3.2. Jornada de trabajo

El sistema de tratamiento trabajará de forma continua sin intermitencias. El tratamiento inicia de forma inmediata cuando se realiza la descarga de aguas, grises o negras, y finaliza cuando el agua pasa a través del humedal artificial para su disposición final.

##### 4.3.3.3. Volúmenes de diseño y capacidad

Cada una de las partes del sistema de tratamiento tiene distintos volúmenes, dimensiones y formas ya que algunas unidades son rectangulares y otras como los tanques plásticos circulares. Se muestra en la Tabla 34 los volúmenes y dimensiones características de cada unidad que forma parte del tratamiento.

Tabla 34. Volúmenes y dimensiones características de las unidades del sistema de tratamiento

Componente	Volumen (m <sup>3</sup> )	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Diámetro (m)
Trampa de grasa <sup>1</sup>	3,94	2,59	1,05	1,45	-
Interceptor de sólidos <sup>1</sup>	1,00	1,65	0,86	0,70	-
Registro sifónico <sup>1</sup>	0,034	-	-	0,45	0,31
Tanque séptico	17,33	5,35	1,80	1,80	-
Humedal artificial <sup>2</sup>	108,40	17,8	8,70	0,70	-
Tanque interceptor en entrada humedal <sup>3</sup>	2,50	-	-	1,54	1,61
Tanque de captación en salida de humedal <sup>3</sup>	5,00	-	-	1,82	2,17
Vertedor	1,27	2,32	0,84	0,65	-

1: datos según planos constructivos brindados por proveedor/Incluye volumen sin líquido

2: la profundidad incluye la profundidad total de grava, incluyendo aquella sin líquido

3: datos según ficha técnica del producto cotizado

##### 4.3.3.4. Caudal promedio diario

Se estima que el caudal promedio diario sea de 24,86 m<sup>3</sup>/día.

##### 4.3.3.5. Caudal máximo horario

Se estima que el caudal máximo horario sea de 1,70 m<sup>3</sup>/h.

#### *4.3.4. Personal*

Se necesitará de personal para realizar tareas de mantenimiento (descritas en la sección 4.3.10) al humedal artificial, trampas de grasas e interceptores. Sin embargo, estas son tareas que no se realizan todos los días y tampoco demandan de mucho tiempo, por lo que se considera que el mismo personal del refugio puede llevar a cabo dichas tareas. Las tareas de mantenimiento son básicas y no conllevan ningún tipo de complejidad, por lo que un personal con nivel de escolaridad básico será capaz de llevar a cabo el mantenimiento.

#### *4.3.5. Equipo*

Para el mantenimiento del sistema se requiere una serie de equipos y herramientas, los cuales se enlistan a continuación.

- Implementos de seguridad: cuando se realice las tareas de mantenimiento, la prioridad número uno siempre será la seguridad del operario. Hay que recordar que se trabajará con agentes biológicos que pueden resultar nocivos para la salud. por esto que se recomienda que el operario cuente como mínimo con botas, pantalón largo, guantes de látex, anteojos de seguridad y mascarilla que le permita protegerse del contacto directo con las aguas residuales.
- Colador o pascón: el colador debe contener una malla preferiblemente metálica para recolectar grasas, aceites y residuos sólidos de las trampas de grasas y cajas de registro.
- Cepillo metálico o de alta resistencia: este será utilizado para remover incrustaciones en la entrada y salida de las tuberías del humedal artificial. También puede usarse para cepillar las paredes de las trampas de grasas en caso de que sea necesario.
- Equipo de jardinería básico: se necesitará implementos como podadora, rastrillo y carretillo para remover restos de vegetación en el suelo del humedal o directamente remover aquella vegetación que necesite ser remplazada.
- Hidrolavadora: esta se utilizará en caso en donde sea requerido lavar a presión el sustrato o piedra del humedal artificial.

#### *4.3.6. Puesta en marcha*

Una vez terminada la construcción del humedal artificial y los distintos componentes del sistema de tratamiento, se puede dar el paso del agua residual por medio de las distintas tuberías. Es importante tener claro que la siembra de las plantas del humedal es lo último que debe hacerse, ya que hay que esperar que el humedal se llene parcialmente para evitar que las plantas se sequen por falta de agua. Una vez que el sistema entre en funcionamiento, el humedal puede tardar desde dos días hasta una semana en llenarse por completo, esto dependiendo de si es una época con alta o baja visitación de turistas. Es posible verificar el nivel del agua a través de los tubos de registro colocados a lo largo del humedal.

#### 4.3.7. Operación

En todas las partes del sistema el agua se moverá por medio de la gravedad gracias al desnivel de las tuberías. En vista de esto no es requerido que se realicen operaciones por parte del personal para el funcionamiento del sistema, sin embargo, se debe realizar la lectura en el vertedor de una manera en específico para poder obtener la medición del caudal. Se explica a continuación la forma de realizar la lectura del vertedor.

##### 4.3.7.1. Medición del caudal por medio del vertedor

La medición por medio del vertedor consiste en realizar una relación entre el nivel del agua en el canal antes del orificio del vertedor y el caudal que pasa a través de este. Para obtener el nivel del agua se debe utilizar una regla o una cinta métrica e introducirla de forma vertical en la mitad del canal con el cero viendo hacia abajo. Una vez obtenido el nivel del agua, se debe utilizar la Tabla 35 para saber el caudal que está pasando en ese preciso momento. Para esto se debe leer el caudal que se encuentre a la derecha del nivel de agua medido, por ejemplo, si con la regla se mide un nivel de agua de 35 centímetros, el caudal será de 14,48 litros por minuto.

Tabla 35. Relación entre nivel de agua en el vertedor y su caudal

H (cm)	Q (L/min)
30	0,00
31	0,23
32	1,42
33	4,26
34	8,63
35	14,48
36	22,44
37	32,50
38	44,69
39	59,34
40	76,87
41	97,24
42	119,74
43	145,33
44	173,80
45	205,86

##### 4.3.8. Control operacional

Para asegurar que el tratamiento está funcionando de forma correcta se recomienda realizar de forma anual análisis fisicoquímicos del agua en la salida del humedal. Se recomienda evaluar parámetros como sólidos sedimentables, sólidos totales, pH, DBO, DQO, conforme al Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales (Decreto N°33601 MINAE).

Con respecto al humedal artificial, se recomienda realizar una inspección visual de forma diaria, para verificar que no haya obstrucciones en las tuberías. A su vez, se puede inspeccionar la superficie de la grava para verificar que no haya flujo superficial del agua, lo cual podría indicar que hay obstrucciones o taqueos en la grava.

#### *4.3.9. Posibles problemas*

Existe una serie de problemas que se pueden presentar una vez que el sistema entre en operación. Se enlista a continuación los problemas más comunes y su solución en caso de que estos se presenten.

- **Obstrucción de tuberías:** en ocasiones puede suceder que se obstruya alguna tubería de conducción. En estos casos se debe intentar localizar el punto específico de la obstrucción para retirarlo de forma manual. Evitar en la medida de lo posible utilizar desatadores químicos ya que pueden afectar negativamente la microbiología del humedal artificial, bajando el rendimiento en el tratamiento de las aguas residuales además de resultar tóxico para las plantas. En caso de no encontrar otra salida debido a las longitudes de las tuberías, se recomienda aplicar enzimas bacterianas comúnmente encontradas en ferreterías, en el tanque interceptor antes del humedal, para reestablecer la microbiología afectada por el uso de químicos. Cabe destacar e insistir que esto se debe usar como último recurso y en la medida de lo posible se debe evitar.
- **Desbordamiento de agua:** en ocasiones puede darse la acumulación excesiva de materia orgánica y microorganismos entre los espacios porosos de la grava del humedal artificial. Esta acumulación puede solidificarse a un punto que evite el paso del agua por a través de la grava, por lo que el agua va a fluir por encima de la superficie. Este fenómeno es conocido como colmatación, y cuando se presenta suele darse en la sección de entrada del humedal. Es posible identificar la colmatación al observar acumulaciones de agua o charcos encima de la superficie de la grava.  
En caso de presentarse este problema, se recomienda retirar con una pala la zona obstruida y lavarla con una hidrolavadora para aplicar agua a presión. Una vez que se haya lavado la grava se puede volver a colocar de la zona en donde fue retirada.
- **Problemas con la vegetación:** puede encontrarse situaciones con distintos factores que pongan en peligro el buen estado de la vegetación, tales como el calor o frío extremo, plagas como insectos, animales herbívoros, entre otros. En caso de encontrar plantas en un muy mal estado se recomienda removerla y reemplazarla por una planta nueva. Por otra parte, en caso de volverse muy frecuente la invasión por parte de animales herbívoros, se recomienda poner una cerca alrededor del humedal, que impida el paso de estos.

#### *4.3.10. Mantenimiento*

El buen funcionamiento y vida útil del sistema de tratamiento depende en gran medida del mantenimiento que se les dé a las distintas partes que forman parte de este. A continuación, se enlista cada una de las partes del sistema y se describe las tareas de mantenimiento que estas requieren de forma periódica.



#### *4.3.10.1. Mantenimiento de trampa de grasa*

Se debe realizar limpieza 1 o 2 veces por semana. En la superficie del agua se acumularán grasas y aceites que se deben remover con un colador de malla metálica o plástica y poner sobre una bolsa plástica para su posterior desecho. En caso de que en las superficies de las paredes se acumulen grasas, deben ser cepilladas con un cepillo metálico o duro para limpiarlas.

Por otra parte, en el fondo se acumularán restos de comida como granos de arroz, frijoles, restos de carne, entre otros, los cuales se pueden remover con el mismo colador o un palín para evitar el contacto directo con la piel. Los desechos de comida también deberán ser dispuestos en una bolsa plástica para su posterior desecho.

#### *4.3.10.2. Mantenimiento de caja de registro*

Se debe limpiar 1 o 2 veces por semana. Su mantenimiento se realiza de la misma forma que en la trampa de grasa, sin embargo, no se espera que se acumule tantas grasas o residuos sólidos ya que estos debieron quedar atrapados en su mayoría en etapas previas.

#### *4.3.10.3. Mantenimiento de interceptor de sólidos*

Su mantenimiento se realiza 1 o 2 veces por semana. Se espera que en el fondo se encuentre principalmente arenas que provengan de las duchas, por lo que se deben retirar con un palín para evitar que vayan a dar las tuberías de descarga. En caso de encontrar algún otro tipo de sólido que haya sido tirado por los turistas en las duchas, deben retirarse de forma manual y ser dispuestos en una bolsa plástica para su posterior desecho.

#### *4.3.10.4. Mantenimiento de tanque séptico*

El mantenimiento del tanque séptico consiste en la limpieza de la capa de lodos que se acumula en el fondo del tanque, esta limpieza debe realizarse cada dos años. Para esto, se debe contratar una empresa que esté debidamente inscrita ante el Ministerio de Salud para que por medio de una bomba y un camión cisterna pueda realizar la limpieza del tanque séptico. Cuando se realice la extracción de los lodos estos no deben extraerse en su 100%, sino que debe dejarse un restante del 20% que sirva como semilla para el desarrollo de las bacterias que degradan la materia orgánica de las aguas negras.

#### *4.3.10.5. Mantenimiento de humedal artificial*

La principal tarea con el humedal artificial se trata de inspecciones rutinarias en donde se debe verificar diariamente que no haya anomalías. Entre estas inspecciones se debe revisar que en los tubos de distribución el agua se reparta de forma uniforme a lo largo del tubo ya que si no se distribuye uniformemente podría indicar que hay una obstrucción la cual deberá retirarse de forma manual. También se debe verificar que no haya encharcamientos en la superficie del humedal, en caso de encontrar encharcamientos podría ser un indicativo que hay obstrucciones en el sustrato por lo que habrá que proceder según lo indicado en la sección 4.3.9.

Por otra parte, de forma semanal se deberá podar y retirar las partes secas o muertas de las plantas, además de limpiar el suelo del humedal de cualquier residuo de ramas, hojas o flores marchitas ya que al no retirarse se degradarán ingresando al sustrato pudiendo generar obstrucciones. En caso de que haya una acumulación excesiva de ramas y hojas de la vegetación externa al humedal como árboles que hay en los alrededores, se recomienda colocar una malla de sarán en la parte aérea para evitar el ingreso de estos residuos. En ninguna circunstancia se deben usar agroquímicos como plaguicidas o herbicidas ya que pueden afectar negativamente la microbiología del humedal, disminuyendo el rendimiento del tratamiento de las aguas residuales.

En cuanto a las tuberías de ingreso y salida del humedal, debido a la naturaleza de las aguas residuales los tubos irán acumulando suciedad con el paso del tiempo. Para evitar que esta suciedad se acumule en exceso y evitar el riesgo de obstrucciones, se recomienda realizar limpieza de estas al menos dos veces al año, cada seis meses.

#### *4.3.10.6. Mantenimiento de tanque interceptor en entrada de humedal*

La principal tarea de mantenimiento consiste en realizar inspecciones rutinarias en donde se verifique que el tanque se encuentre completamente cerrado, ya que cualquier ingreso de basura podría terminar en el humedal artificial generando obstrucciones. Se recomienda verificar de forma anual la acumulación de sólidos en el piso del tanque, en caso de haber una gran acumulación de sólidos se puede realizar su limpieza junto con la limpieza de los tanques sépticos, ya que este tanque contendrá aguas negras.

#### *4.3.10.7. Mantenimiento de tanque receptor en salida de humedal y tanque de almacenamiento*

La principal tarea de mantenimiento consiste en realizar inspecciones rutinarias en donde se verifique que el tanque se encuentre completamente cerrado, ya que cualquier ingreso de basura podría terminar en los drenajes, pudiendo generar obstrucciones en estos. Dado que este tanque recibirá aguas tratadas no se espera que se deba realizar tareas de mantenimiento frecuentes, sin embargo, se recomienda revisar de forma semanal que no haya acumulación de suciedad en las paredes del tanque. En caso de encontrar acumulación de suciedad, se deberá cepillar sin el uso de detergentes para removerla.

#### *4.3.11. Desechos*

Según el elemento del sistema que se esté limpiando, se pueden generar distintos tipos de desecho, tal y como se mostró en el diagrama de la Figura 53. Se enlista a continuación los desechos generados y la forma de manejarlos.

- Trampa de grasa: al realizar la limpieza y mantenimiento se obtendrá desechos como grasas, aceites y residuos de comida. Estos desechos pueden colocarse en una bolsa de basura ordinaria para que pueda ser recogida en el respectivo centro de acopio de residuos ordinarios de la municipalidad. En palabras sencillas, lo que se conoce popularmente como “ser recogido por el camión de la basura”.

- Caja de registro: los desechos que se pueden encontrar en la caja de registro son los mismos que en la trampa de grasa. Los desechos deben manejarse de la misma forma anteriormente descrita.
- Tanque séptico: los desechos del tanque séptico son lodos producidos por la biodigestión de la materia orgánica en las aguas negras. Estos lodos deben ser recolectados en los periodos de limpieza del tanque séptico por un camión cisterna que cuya empresa se encuentre debidamente inscrita ante el ministerio de salud.
- Humedal artificial: los residuos del humedal artificial se tratarán de residuos orgánicos como hojas o flores marchitas. Dado que el humedal se encontrará en una zona boscosa, se puede disponer de estos desechos en un espacio que se tenga destinado para acumularlos y que estos se degraden de forma natural.

#### 4.3.12. Reportes operacionales

Según el artículo 5 del Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales (N°33601-MINAE), aquellos entes generadores incluidos en el anexo 1 de dicho reglamento, estarán exentos de la presentación de reportes operaciones. Entre estos entes se pueden encontrar hoteles, campamentos y otros tipos de hospedaje temporales que generen únicamente aguas residuales de tipo ordinario. En vista de esto, el refugio no tendrá la obligación de presentar este tipo de reportes.

#### 4.3.13. Cuadro resumen

Tabla 36. Resumen de actividades de mantenimiento del sistema de tratamiento en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal

<b>Componente</b>	<b>Actividad</b>	<b>Frecuencia</b>
Trampa de grasa	Remover capa de grasa acumulada. Limpiar y remover sólidos acumulados en parte inferior.	1-2 veces por semana
Interceptor de sólidos	Limpiar y remover sólidos acumulados en parte inferior.	1-2 veces por semana
Registro sifónico	Limpiar y remover sólidos acumulados en parte inferior.	1-2 veces por semana
Tanque séptico	Retirar lodos por medio de contratación de empresa especializada.	2 años
Humedal artificial	Inspección visual de tuberías y nivel del agua.	Diario
	Poda y retiro de partes marchitas de vegetación.	Semanal
	Limpieza de tubos de entrada y salida	6 meses
Tanque interceptor en entrada humedal	Inspección visual para verificar que esté cerrado.	Diario
	Remoción de sólidos acumulados en el fondo.	2 años
Tanque de captación en salida de humedal	Inspección visual para verificar que esté cerrado.	Diario
	Inspección del interior del tanque para verificar presencia de suciedad.	Semanal

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

Las aguas residuales producidas en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal son de tipo ordinarias. Se clasificó como aguas grises aquellas provenientes de las pilas, duchas y lavamanos, y como aguas negras las provenientes de los inodoros.

El suelo del refugio presenta variabilidad en su velocidad de infiltración. Las pruebas de infiltración uno y tres presentan una infiltración 2,27 min/cm y 4,29 min/cm respectivamente, lo que hace que el suelo sea óptimo para el uso de drenajes. Por otra parte, la prueba dos presenta una infiltración de 30 min/cm, por lo que es suelo circundante a esta zona no es apta para uso de drenajes.

Con base en los registros facilitados por parte de la administración del refugio desde el año 2010 al año 2021, la mayor cantidad de visitantes se da durante el mes de enero con un promedio de 2198 turistas. Sin embargo, el mayor pico diario se da en el mes de abril, durante el periodo de Semana Santa, con una cantidad máxima de 323 visitantes en un día (ver anexo 1).

Con base en los datos tomados desde junio del 2018 a junio del 2023 de las estaciones meteorológicas del IMN, la temperatura promedio en el refugio es de 25,4 °C. El promedio del mes más caliente es de 27,1 °C y el promedio del mes más frío de 24,5 °C.

Con base en los datos tomados desde junio del 2018 a junio del 2023 de las estaciones meteorológicas del IMN, la época lluviosa corresponde a los meses de mayo a noviembre, con una precipitación promedio de 210,8 mm/mes. Por otra parte, la época seca va desde diciembre a abril, con una precipitación promedio de 18,1 mm/mes. La precipitación promedio anual es de 1560 mm.

Se deberá incorporar un total de tres tanques sépticos para retener y digerir los sólidos de las aguas negras provenientes de los inodoros. El volumen líquido de cada tanque debe ser de 14,45 m<sup>3</sup>, dando como resultado un tiempo de retención hidráulica de 6,42 días.

Se deberá incorporar dos trampas de grasa, una a la salida de las pilas actuales y otra a las pilas que se construirán, para retener grasas y sólidos de comida provenientes del lavado de utensilios. El volumen líquido de cada trampa será de 2,20 m<sup>3</sup>. Por otra parte, se deberá incorporar otras dos trampas para las duchas que funcionen como interceptores de arenas, cada una de 0,4 m<sup>3</sup>, para evitar que las arenas se acumulen y generen obstrucciones en las tuberías.

El diseño del humedal abarcará un área superficial de 154,8 m<sup>2</sup> y un volumen de 92,9 m<sup>3</sup>. Este diseño parte de una base de cálculo con una carga orgánica de 300 mgDBO/L y un caudal de 24,86 m<sup>3</sup>/día para el tratamiento de aguas residuales ordinarias. Este caudal corresponde a la proyección de aguas residuales generadas por 450 visitantes al refugio, siendo el consumo estimado de 65 L/persona/día.

Para lograr una presión operativa de 3 mca en los inodoros, en el sistema de reúso el tanque de almacenamiento deberá tener una altura de 5,4 m para el escenario 1 y 4,6 m para el escenario 2. Esto tomando como referencia el nivel del suelo a la salida del humedal.

Se plantearon tres escenarios con respecto al acomodo del sistema de tratamiento. El proyecto tiene una inversión de ₡ 19 480 942 para el escenario 1, ₡ 14 653 980 para el escenario 2 y ₡ 14 736 730 para el escenario 2 usando humedales en paralelo. La diferencia marcada del primer escenario se debe al uso de drenajes, en donde se demanda mayor uso de agregados de piedra cuarta, material que cubre la mayor parte de la inversión en todos los escenarios. El escenario por elegir quedará bajo el criterio de la administración del refugio al momento de la construcción del sistema de tratamiento.

## 5.2. Recomendaciones

- En caso del escenario 1, aquellos tubos que no se encuentren enterrados y estén expuestos a los rayos solares, se recomienda reemplazar estos tubos por polietileno de alta densidad (HDPE) para evitar el debilitamiento de los tubos de PVC.
- En caso del escenario 2, se recomienda cubrir con una pequeña capa de grava las tuberías de riego, tanto por arriba como por abajo del tubo, para evitar posibles obstrucciones de los agujeros y su exposición al sol.
- Se recomienda de forma insistente que al momento de la construcción del sistema de tratamiento tener sumo cuidado de cumplir con las pendientes recomendadas de las tuberías, ya que de esto no sólo depende el movimiento de las aguas, también depende el arrastre de sólidos en las tuberías.
- Al momento de la construcción del humedal, se recomienda recubrir la geomembrana con sacos antes de colocar las piedras, esto con la finalidad de proteger la geomembrana y reducir el riesgo de su perforación.
- Se recomienda la incorporación de enzimas bacterianas al comienzo del funcionamiento del humedal artificial, para permitir un desarrollo microbiano más rápido. Estas bacterias es posibles conseguirlas en alguna ferretería.
- Rotular lugares estratégicos como baños y pilas, para evitar en la medida de lo posible la incorporación de residuos sólidos en las tuberías por parte de los turistas.
- Evitar el ingreso innecesario por parte del personal o los turistas al humedal artificial. Si bien el agua nunca debería estar expuesta, cualquier eventualidad podría generar contacto con las aguas residuales representando un riesgo biológico.
- Al momento de realizar mantenimiento al sistema de tratamiento, se recomienda utilizar el equipo de protección completo. Este se compone de gafas, cubre bocas, guantes de látex, delantal y botas, además de utilizar pantalón largo para evitar cualquier contacto con las aguas residuales.
- Se recomienda realizar una capacitación al personal encargado del sistema de tratamiento, de tal modo que se pueda familiarizar con el manual de operación y mantenimiento y las tareas asociadas al funcionamiento del sistema.
- Se recomienda realizar mediciones del DBO con muestras del sitio, para verificar el DBO teórico que se tomó para el diseño.

## 6. REFERENCIAS

- ACEPESA. (2010). *Manual para la construcción y mantenimiento de biojardineras (2a ed)*.
- ACG. (2012). *Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal*.  
<https://www.acguanacaste.ac.cr/turismo/sector-junquillal>
- Alianza por el agua. (2008). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*.  
IDEASAMARES.
- Asprilla, J., Ramírez, S. & Rodríguez. (2020). Humedales artificiales de flujo subsuperficial: comparación de metodologías de diseño para el cálculo del área superficial basado en la remoción de materia orgánica. *INGENIERÍASUDBMed*, 11 (1), 65-73.
- AyA. (2016). Política Nacional de Saneamiento en Aguas Residuales.
- AyA. (2017). Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial. Memorando PRE-DNC-2017-00057.
- CFIA (2010). *Código Sísmico de Costa Rica*. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.
- CFIA. (2017). *Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones*. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.
- CONAGUA. (2019). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas municipales: Pretratamiento y tratamiento primario*. CONAGUA.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Universitat de Barcelona.
- Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Pugagut, J., Stein, O & Sperling M. (2017). *Treatment Wetlands*. IWA Publishing.
- FAO. (s.f). Wastewater characteristick and effluent quality parameters.  
<https://www.fao.org/3/t0551e/t0551e03.htm>

Kadlec, R & Knight, R. (1996). *Treatment Wetlands*. Boca Raton

Kadlec, R & Wallace, S. (2006). *Small-Scale Constructed Wetland Treatment Systems: Feasibility, Design Criteria, and O&M Requirements*. Water Environment Research Foundation

Kadlec, R & Wallace, S. (2009). *Treatment Wetlands (2a ed)*. Boca Raton.

Kincanon, R & McAnally, S. (2004). Enhancing commonly used model predictions for constructed wetland performance: as-built design considerations. *Ecological Modelling*, 174 (3), 309-322. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.09.030>

Lozano Rivas. (2012). *Fundamentos de diseño de plantas depuradoras de aguas residuales*. Universidad Piloto de Colombia.

Metcalf & Eddy. (2004). *Wastewater Engineering, Treatment and Reuse*. McGraw Hill

MINAE. (2003). *Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Decreto N°31545.

MINAE. (2007). Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales. Decreto N°33601 MINAE-S

MINAE (2020). Reglamento para la Disposición al Subsuelo de Aguas Ordinarias Tratadas. Decreto N°42075 MINAE-S.

MINAE. (2008). *Reglamento a la Ley de Biodiversidad*. Decreto N°34433.

Muttamara, S. (1996). Wastewater characteristics. *Resources, Conservation and Recycling*, 16 (1), 145-159

ONU. (2015). Objetivos de desarrollo sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

- Picado Valverde, S. (2016). *Evaluación físico-química, biológica e hidrodinámica del funcionamiento de los sistemas de tratamiento prefabricados para el tratamiento de aguas residuales domiciliarias* [Tesis de licenciatura, Tecnológico de Costa Rica].
- Romero, R. (2004). *Tratamiento de aguas residuales. Teorías y Principios*. Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Rosales, E. (2008). *Tanques sépticos. Conceptos teóricos base y aplicaciones*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Ruiz, F. (2019). Humedal artificial: una propuesta para el manejo de aguas residuales. <https://www.ucr.ac.cr/noticias/2019/02/15/humedal-artificial-una-propuesta-para-el-manejo-de-aguas-residuales.html#:~:text=Los%20humedales%20artificiales%20son%20sistemas,se%20filtre%20en%20el%20subsuelo>
- Solano Pérez, J. (2019). *Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la Urbanización El Atardecer en Quircot, Cartago* [Tesis de licenciatura, Tecnológico de Costa Rica].
- Sotelo Ávila, G. (1994). *Hidráulica general*. Editorial LIMUSA.
- Sperling, M. (2007). *Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal*. IWA Publishing.
- Tanaka, K. (2011). *Wetlands for Tropical Applications: Wastewater Treatment by Constructed Wetlands*. World Scientific Publishing Co.
- UN-HABITAT. (2008). *Constructed Wetlands Manual*. UN-HABITAT Water for Asian Cities Programme Nepal, Kathmandu
- Venegas Castillo, J. *Determinación de los parámetros de un sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical para la optimización del diseño de modelos de caja Negra bajo condiciones tropicales* [Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica].
- WWAP. (2017). *Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. UNESCO.
- WWAP. (2018). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2018: Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua*. UNESCO.



## ANEXOS

*Anexo I. Registro de visitas en el Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal para los meses de enero a julio del año 2023.*

Tabla A1. Registro de visitas del mes de enero a julio del 2023

<b>Día</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>
1	162	26	18	56	42	2	30
2	65	33	17	141	0	12	133
3	88	67	25	110	13	20	41
4	105	54	21	137	5	8	51
5	81	88	28	140	53	0	49
6	116	19	10	231	31	0	54
7	130	9	0	323	23	4	54
8	41	17	29	315	14	13	192
9	29	24	4	123	0	8	110
10	25	43	29	46	10	24	50
11	103	105	64	25	7	34	71
12	48	63	74	5	57	2	66
13	50	4	7	11	42	0	73
14	158	0	0	31	28	0	36
15	75	9	9	31	7	2	108
16	74	10	23	13	0	2	54
17	41	82	19	4	8	31	12
18	65	86	100	0	5	52	0
19	60	48	26	19	52	8	45
20	68	14	2	30	43	0	21
21	152	0	1	82	61	36	72
22	64	30	9	69	15	5	67
23	70	10	42	23	0	11	100
24	75	45	20	4	6	32	35
25	56	57	88	0	0	20	0
26	86	44	50	19	11	2	17
27	48	12	6	9	140	0	4
28	156	0	0	172	37	30	17
29	100	-	11	133	0	24	47
30	32	-	22	179	0	0	95
31	70	-	26	-	5	-	17

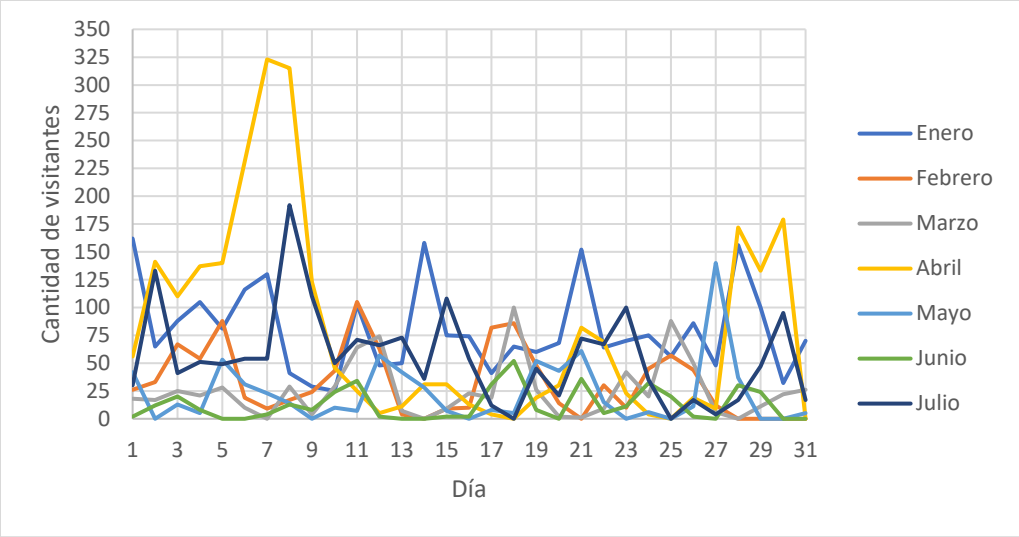


Figura A1. Comparación de registro mensual de visitantes desde el mes de enero a julio del 2023

*Anexo 2. Respuesta del IMN ante la solicitud de datos de temperatura y precipitación de estaciones meteorológicas en La Cruz, Guanacaste.*



**DEPARTAMENTO DE  
INFORMACIÓN METEOROLÓGICA**

Tel: (506) 2222-5616 / Fax: (506) 2223-1837  
Correo electrónico: [imn@imn.ac.cr](mailto:imn@imn.ac.cr)  
Sitio web: [www.imn.ac.cr](http://www.imn.ac.cr)  
Apartado postal: 5583-1000  
San José, Costa Rica, Calle 17, Avenida 9

13 de julio de 2023  
**IMN-DIM-CM-148-2023**

Estudiante  
Jorge Rodríguez Vásquez  
Escuela de Ingeniería Agrícola y de Biosistemas  
Universidad de Costa Rica

Estimado estudiante:

Le remito la información meteorológica solicitada por medio de las cartas correspondientes datos registrados en la siguiente estación meteorológica.

Número	Nombre	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud (m.s.n.m.)	Periodo	
					inicio	Fin
72153	SANTA ELENA, LA CRUZ	10° 55' 12"	85° 36' 38"	270	1/6/2018	1/6/2023
72191	LA CRUZ, GUATEMALA	11° 03' 13,32"	85° 37' 59,64"	241	1/6/2018	1/6/2023

Los datos entregados corresponden al total diario de la lluvia y al promedio horario de la temperatura. No omito indicar que la unidad de medida es en milímetros (mm), donde un milímetro equivale a un litro de agua por metro cuadrado y la temperatura en grados Celsius (°C). La serie de datos no está completa por lo que faltan algunos días y hasta meses. Se adjunta el detalle de la información en formato Excel.

El Instituto Meteorológico Nacional no se hace responsable por la manipulación, alteración de los datos o información suministrada, ni los resultados que obtengan una vez procesados por mecanismos ajenos al IMN.

Esperando que la información sea de gran ayuda y que los resultados a sus análisis sean satisfactorios, se suscribe de ustedes.

Atentamente,

María Cristina Araya Villalobos  
**DEPARTAMENTO DE INFORMACIÓN  
METEOROLÓGICA**

📁 Archivo  
/KPC

Página 1 de 1



Anexo 3. Datos de cotización de materiales realizados en ferretería San Carlos Liberia



**FERRETERIA SAN CARLOS LIBERIA**  
 Cédula Jurídica: 3-101-345337  
 100 mts Oeste de Estacion de Buses Pulmitan de Liberia  
 Teléfono:(506) 2665-1413 (506)2665-2463 (506)2666-9061  
 www.depositosancarlos.com - contactenos@depositosancarlos.com

**Cotización: PED10-00063538**

**Cliente: 16759**

**ASOCIACION PARA EL APOYO Y PROMOCION DEL TURISMO EN I**

Teléfono: 84103312/0000000

Dirección: DETALLE: LA CRUZ

Fecha: 16/01/2024

Forma de pago: CONTADO

Vendedor: Eduardo Chevez

Orden de Compra:

Código	Descripción	UM	Cantidad	Precio	Impuesto	Total
000011	PIEDRA CUARTA X METRO	UND	234.00	€ 12,936.50	€ 1,681.75	€ 3,420,669.33
004276	UNION PVC 1-1/2 PARED GRUESA SANITARIA	UND	16.00	€ 373.74	€ 57.16	€ 6,757.15
003234	CODO PVC LISO 2 X 45° SCH-40	UND	1.00	€ 1,399.92	€ 214.10	€ 1,581.91
003235	CODO PVC LISO 2 X 90° SCH-40	UND	14.00	€ 824.13	€ 126.04	€ 13,037.67
052835	BLOQUES 15 20 40 CLASE A	UND	1,030.00	€ 582.91	€ 78.94	€ 678,451.28
052523	VARILLA GRAFILADA 1/4 # 2 G -40	UND	33.00	€ 642.76	€ 87.04	€ 23,968.46
005915	UNION PVC 3 PARED GRUESA SANITARIA	UND	8.00	€ 1,234.67	€ 188.83	€ 11,161.39
003707	ADAPTADOR PVC MACHO 2 SCH-40	UND	1.00	€ 933.88	€ 142.83	€ 1,055.28
002559	ADAPTADOR PVC MACHO 3 SCH-40	UND	4.00	€ 2,594.50	€ 396.81	€ 11,727.13
002566	ADAPTADOR PVC MACHO 4 SCH-40	UND	6.00	€ 3,757.63	€ 574.70	€ 25,476.72
008845	UNION PVC 2 PARED GRUESA SANITARIA	UND	5.00	€ 284.98	€ 43.59	€ 1,610.14
008900	YEE PVC SANITARIA 3 SDR 32.5	UND	2.00	€ 2,421.38	€ 370.33	€ 5,472.32
014402	CEMENTO PROGRESO UG 50K (VERDE)	UND	124.00	€ 5,973.45	€ 776.55	€ 836,999.81
012198	TANQUE AGUA 5000 LTS ECOTANK TRICAPA	UND	2.00	€ 515,077.82	€ 70,484.33	€ 1,164,075.87
006818	UNION PVC LISA 2 SCH-40	UND	5.00	€ 863.67	€ 132.09	€ 4,879.72
008701	TANQUE AGUA 2500 LTS ECOTANK TRICAPA	UND	1.00	€ 204,387.93	€ 27,968.87	€ 230,958.36
013112	PIEDRA PIGAVION	UND	14.00	€ 39,000.00	€ 5,070.00	€ 616,980.00
003718	REDUCCION PVC 2 X 1 SCH-40	UND	1.00	€ 1,323.36	€ 202.40	€ 1,495.40
003041	TAPON HEMBRA LISO SANITARIO 3 PVC	UND	4.00	€ 424.38	€ 64.91	€ 1,918.20
003042	TAPON HEMBRA LISO SANITARIO 4 PVC	UND	10.00	€ 1,735.28	€ 265.40	€ 19,608.61
000977	TEE PVC SANITARIA 2 SDR32.5	UND	10.00	€ 892.02	€ 136.43	€ 10,079.87
000978	TEE PVC SANITARIA 3 SDR32.5	UND	10.00	€ 1,453.33	€ 222.27	€ 16,422.63
000979	TEE PVC SANITARIA 4 SDR32.5	UND	22.00	€ 2,550.12	€ 390.02	€ 63,395.96
001005	TUBO PVC SANITARIO 4 X 6MTS ECONOMICO	UND	90.00	€ 9,100.95	€ 1,391.91	€ 925,566.62
009064	VARILLA CORR. 3/8 #3 X 6 MTS G40	UND	150.00	€ 1,515.57	€ 205.23	€ 256,889.32
009065	VARILLA CORR. 1/2 #4 X 6 MTS G40	UND	24.00	€ 2,633.87	€ 356.67	€ 71,430.43
009211	TUBO PVC SANITARIO 3 X 6MTS ECONOMICO	UND	17.00	€ 6,801.02	€ 1,040.16	€ 130,647.59
000988	TUBO PVC SDR-26 2 X 6MTS	UND	13.00	€ 14,483.56	€ 2,215.13	€ 212,763.46
001004	TUBO PVC SANITARIO 2 X 6MTS ECONOMICO	UND	11.00	€ 3,816.75	€ 583.74	€ 47,442.26
000687	ADAPTADOR PVC HEMBRA 4 SCH-40	UND	6.00	€ 4,598.93	€ 703.37	€ 31,180.71
000001	TRANSPORTE	OS	2,300.00	€ 1,000.00	€ 130.00	€ 2,599,000.00
000003	ARENA BLANCA MT	UND	28.00	€ 14,580.00	€ 1,895.40	€ 461,311.20
023624	TUBO PVC SDR-50 SANITARIO 1-1/2 X 6MTS	UND	19.00	€ 2,807.89	€ 429.44	€ 60,285.40
003731	REDUCCION PVC SANIT 3 X 2 SDR32.5	UND	2.00	€ 1,328.11	€ 203.12	€ 3,001.53
003620	CODO PVC SANITARIO 4 X 90° SDR32.5	UND	3.00	€ 2,016.11	€ 308.35	€ 6,834.60
008852	UNION PVC 4 PARED GRUESA SANITARIA	UND	64.00	€ 1,441.88	€ 220.52	€ 104,276.80
008860	TAPON HEMBRA LISO SANITARIO 2 PVC	UND	4.00	€ 416.74	€ 63.74	€ 1,883.65
008866	CODO PVC SANITARIO 2 X 45° SDR32.5	UND	3.00	€ 649.13	€ 99.28	€ 2,200.54
008867	CODO PVC SANITARIO 2 X 90° SDR 32.5	UND	2.00	€ 450.71	€ 68.93	€ 1,018.60



Somos parte de su construcción

**FERRETERIA SAN CARLOS LIBERIA**

Cédula Jurídica: 3-101-345337  
100 mts Oeste de Estacion de Buses Pulmitan de Liberia  
Teléfono:(506) 2665-1413 (506)2665-2463 (506)2666-9061  
www.depositosancarlos.com - contactenos@depositosancarlos.com

**Cotización: PED10-00063538**

**Ciente: 16759**

**ASOCIACION PARA EL APOYO Y PROMOCION DEL TURISMO EN I**

Teléfono: 84103312/0000000

Dirección: DETALLE: LA CRUZ

Fecha: 16/01/2024

Forma de pago: CONTADO

Vendedor: Eduardo Chevez

Orden de Compra:

Código	Descripción	UM	Cantidad	Precio	Impuesto	Total
003048	TEE PVC LISA 2 SCH-40	UND	2.00	1,494.17	228.52	3,376.82
000684	ADAPTADOR PVC HEMBRA 2 SCH-40	UND	1.00	1,052.55	160.98	1,189.38
000686	ADAPTADOR PVC HEMBRA 3 SCH-40	UND	4.00	3,417.66	522.70	15,447.80
008927	CODO PVC SANITARIO 4 X 45° SDR 32.5	UND	8.00	1,741.60	266.36	15,744.05
008869	CODO PVC SANITARIO 3 X 45° SDR 32.5	UND	3.00	935.48	143.07	3,171.29
008870	CODO PVC SANITARIO 3 X 90° SDR 32.5	UND	12.00	1,437.54	219.86	19,493.00
008938	REDUCCION PVC SANIT 2 X 1-1/2 SDR 32.5	UND	8.00	1,048.86	160.41	9,481.67
001544	PIEDRA QUINTILLA	UND	18.00	12,936.50	1,681.75	263,128.41
008940	REDUCCION PVC SANIT 4 X 2 SDR 32.5	UND	2.00	2,589.14	395.99	5,851.45
008941	REDUCCION PVC SANIT 4 X 3 SDR 32.5	UND	10.00	2,435.16	372.44	27,517.26

-----Ultima Línea-----

Anexo 4. Cotización de trampas de grasa grupo Mucho Tanque



**Presupuesto**  
**Ref. : VSC PRE-013868**  
 Fecha : 19/12/2023  
 Fecha fin de validez : 18/01/2024  
 Código cliente : CLI-003971

Emisor:

**MUCHO TANQUE S.A.**  
 Cédula Jurídica 3-101-147286  
 San Isidro del Guarco, Cartago, 2,5 km al sur del  
 Parque Industrial  
  
 Teléfono: 2573-8181  
 Correo: info@grupomt.cr  
 Web: www.grupomt.cr

Enviar a:

**ASOCIACION PARA EL APOYO Y PROMOCION DEL  
 TURISMO EN BAHIA JUNQUILLAL**

Nombre: Jorge Rodríguez  
 Telefono: / 8943-2273  
 Correo:  
 Direccion: ,

La Cruz, Refugio Nacional Vida Silvestre

Descripción	IVA	P.U.	Cant.	Dto.	Base imponible
Trampa para Grasa Modelo 400G	13%	\$ 475.00	2	15%	\$ 807.50
Trampa para Grasa Modelo 2800G	13%	\$ 1,210.00	2	15%	\$ 2,057.00
Transporte y Colocación	13%	\$ 760.00	1		\$ 760.00

Tiempo de entrega: Inmediata  
 Condiciones de pago: Contado  
 Forma de pago: Transferencia

Subtotal \$ 4,130.00  
 Descuento \$ 505.50  
 Total IVA 13% \$ 471.19  
**Total \$ 4,095.69**

Viviana Solano Casasola  
 Asesoría Técnica  
 2573-8181 Ext 101 / 7200-5352  
 visolano@grupomt.cr

**Banco Nacional**  
 Cuenta IBAN en Dólares: CR48015105420020003331  
 Cuenta IBAN en Colones: CR80015105410010003268

/ grupomt.cr  
 @grupomt.cr

Si tiene alguna consulta póngase en contacto con MUCHO TANQUE S.A. al correo info@grupomt.cr

Persona Jurídica - N° Identificador: 3-101-147286

1/1

Anexo 5. Cotización La Casa del Tanque



2227-3722

3-101-191210

San José, Costa Rica

**COTIZACIÓN**

**Ciente:** JORGE ANTONIO RODRIGUEZ VASQUEZ  
**Atención:**  
**Identificación:** 604400875  
**Teléfono:** 89432273

**Fecha:** 11/01/2024  
**Orden de compra:** COT-0000003733  
**Cotizador:** Leislania Alvarado  
**Moneda:** Costa Rican Colón

Cantidad	Código	Descripción	Precio unitario	Precio total
2	PROD0000361	REGISTRO SIFONICO ECOTANK	€22,379.66	€44,759.32
1	PROD0000357	CAJA DE REGISTRO SANITARIA ECOTANK	€17,932.92	€17,932.92
1	PROD0002084	TANQUE DE EXPANSION PRESSURE WAVE (METAL) 8 LITROS PARA AGUA POT GWS (PWN-8LX)	€30,419.70	€30,419.70
1	PROD0001537	MANOMETRO SECO 01-100 psi 2 PULGADAS GWS (A2PG7	€4,664.10	€4,664.10
1	PROD0002692	TOP MULTI-TECH-2 220V 0.75HP CON PROTECTOR DE VOLT(TOP M-TECH 220V)	€306,100.89	€306,100.89
1	SERV0000007	SERVICIO FLETE LOCAL	€20,000.00	€20,000.00

Última línea

**Monto en letras:**  
**Condiciones**  
**Plazo de entrega:** 1 día (salvo imprevistos o previa venta).  
**Validez de la oferta:** 3 días  
**Plazo de pago:** 0 días.  
**Forma de pago:** Contado  
**Precios sujetos a cambio sin previo aviso**

**Subtotal:** €423,876.93  
**Descuento:** €20,193.86  
**I.V.A.** €52,478.81  
**Total:** €456,161.88

<b>Observaciones</b>	<b>Aprobación por parte del cliente</b>
	<b>Fecha:</b>
	<b>Aprobado por:</b>
	<b>Cargo:</b>
	<b>Firma:</b>

Anexo 6. Cotización de geomembrana Covertech



COVERTECH CORPORATION SOCIEDAD ANONIMA  
50 Norte de antiguo neon nieta, carretera a santo  
domingo  
San Juan - San José / 11301  
Costa Rica

CLIENTES TIENDA  
Costa Rica  
- /  
Costa Rica

## Presupuesto # S00124

Su Referencia: JORGE RODRIGUEZ VASQUEZ  
Fecha de presupuesto: 10/01/2024  
Vencimiento: 17/01/2024  
Comercial: Enmanuel Chaves

Descripción	Cantidad	Precio unidad	Impuestos	Importe
[12900500-8.0GR30] Geomembrana - Negra 500MIC 8x30m C900	2.000 Unid	299,409.00	IVA 13%	₡ 598,818.00
<b>Base imponible</b>				₡ 598,818.00
IVA 13%				₡ 77,846.34
<b>Total</b>				₡ 676,664.34

Plazo de pago: Contado

+506 2236-2025 ventas@covertechagro.com <http://www.covertechagro.com> 3101662908



Anexo 7. Cotización plantas. Vivero Benavente y Vargas



**VIVERO B Y V**

BENAVENTE Y VARGAS SOCIEDAD ANÓNIMA

3101791408

BARRIO EL CAPULIN CONTIGUO CÁMARA DE GANADEROS, Liberia, Liberia, Guanacaste, Costa Rica

Teléfono: (508) 87074700

facturaelectronicaviverobyv08@gmail.com

**Proforma**

**N° 835**

<b>Cédula:</b>	<b>Fecha</b>	11/01/2024 11:09:34 am
<b>Nombre:</b> JORGE RODRIGUEZ VASQUEZ 804400875	<b>Condición</b>	CONTADO
<b>Dirección:</b>	<b>Vigencia</b>	0
	<b>Moneda</b>	CRC
	<b>Tipo Cambio</b>	1.00

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unit	Descuento	% IVA	IVA	Otros Imp.	Total
0274	HELICONIAS	Unid	835.00	5,000.00	0.00	13.00	542,750.00	0.00	4,717,750.00
0182	AVECILLAS	Unid	835.00	1,000.00	0.00	13.00	108,550.00	0.00	943,550.00
0194	GINGER ROJA	Unid	835.00	3,000.00	0.00	13.00	325,650.00	0.00	2,830,650.00
004	LIRIOTROPO	Unid	835.00	2,500.00	0.00	13.00	271,375.00	0.00	2,358,875.00

Observaciones		Total Gravado	9,602,500.00
Cuentas Bancarias		<b>SubTotal</b>	9,602,500.00
CUENTA BANCO NACIONAL DE COSTA RICA		<b>Total Descuento</b>	0.00
CÓLONES		<b>Total IVA General 13</b>	1,248,325.00
200-01-015-091995-9		<b>Total Comprobante</b>	10,850,825.00
IBAN: CR05 0151 0152 0010 9199 59			
DÓLARES			
200-02-015-010741-0			
IBAN: CR75 0151 0152 0020 1074 12			
TRNSPORTE INCLUIDO			

Generado por Naby, [www.facturanaby.com](http://www.facturanaby.com)

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**

**EIB**  
Escuela de  
Ingeniería de Biosistemas

ASO-JUNQUILLAL

# Sistema de tratamiento con humedal artificial

## Operación y Mantenimiento

Elaborado por  
Jorge Rodríguez Vásquez

Área de Conservación Guanacaste  
**Refugio Nacional de Vida Silvestre Bahía Junquillal**  
Junquillal National Wildlife Refuge

"Integrando a las comunidades vecinas en la protección y uso sostenible de los recursos naturales"  
ACG - Comunidades vecinas

"Integrating neighboring communities into protection and sustainable use of natural resources"  
ACG - Neighboring communities

MINAE SINAC A.C.G. UNESCO

OSTIA RICA EL CANJE POR NATURALEZA

PUNTO PARA FOTOGRAFÍAS PHOTO SPOT

## Índice

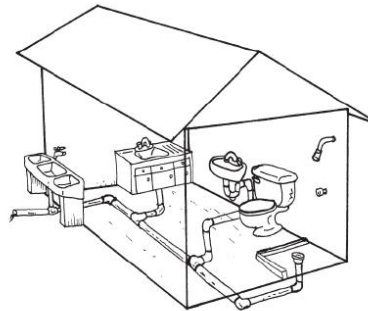
1. Descripción del proceso de producción de aguas residuales.....	1
2. Información básica de diseño.....	2
2.1. Jornada de operación y jornada de trabajo.....	2
2.2. Volúmenes de diseño y capacidad del sistema.....	2
3. Personal.....	3
4. Puesta en marcha.....	3
5. Procesos del sistema de tratamiento y su mantenimiento.....	4
5.1. Trampa de grasa.....	4
5.2. Interceptor de sólidos.....	4
5.3. Caja de registro sifónico.....	5
5.4. Tanque séptico.....	5
5.5. Tanque interceptor en entrada de humedal.....	6
5.6. Tanque interceptor en salida de humedal.....	7
5.7. Humedal artificial.....	7
5.8. Vertedor.....	10
6. Posibles problemas.....	11
7. Cuadro resumen de actividades de mantenimiento.....	13

## 1. Descripción del proceso de producción de aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas que por medio de su uso han recibido agentes contaminantes. Se pueden clasificar en aguas residuales ordinarias y especiales.



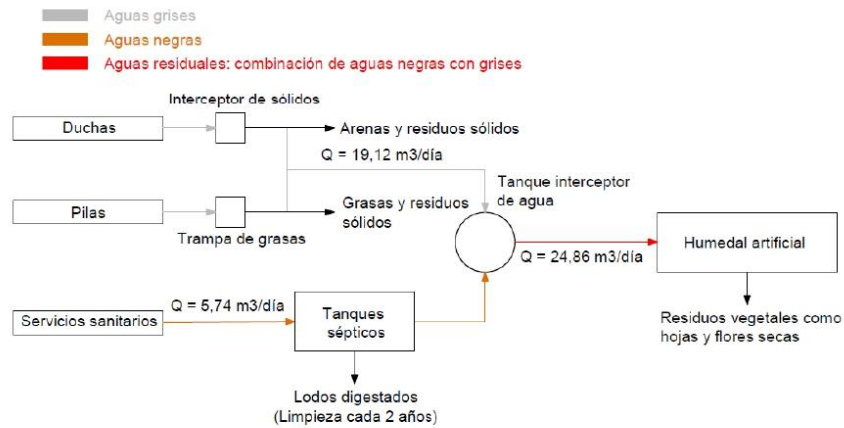
Las aguas residuales ordinarias son aquellas que provienen del uso doméstico como del lavado de utensilios, ropa, uso de duchas e inodoros.



En la siguiente figura se muestra un diagrama de las distintas fuentes de generación de aguas residuales, su naturaleza y los residuos que se generan en los distintos procesos. Tanto de las duchas como de las pilas se generan aguas grises, mientras que de los servicios sanitarios se generan aguas



Las aguas residuales especiales son aquellas que provienen de procesos industriales, comerciales u otra fuente que no sea doméstica.





## 2. Información básica de diseño

El sistema de tratamiento estará conformado por componentes como trampas de grasa, interceptores de sólidos, cajas de registro, tanques receptores de agua, un humedal artificial, tuberías para infiltración ya sea por drenaje o riego y un vertedor para medición de caudal. A continuación, se muestra información con respecto al diseño y operación del sistema de tratamiento.

### 2.1. Jornada de operación y jornada de trabajo

#### Jornada de operación

La operación está sujeta a la visitación de los turistas al refugio, el cual se encuentra abierto todos los días del año, inclusive en horario nocturno debido al camping. En vista de esto, el sistema de tratamiento deberá trabajar en un horario de 24 horas del día de lunes a viernes, en todo el año.

#### Jornada de trabajo

El sistema de tratamiento trabajará de forma continua sin intermitencias. El tratamiento inicia de forma inmediata cuando se realiza la descarga de aguas, grises o negras, y finaliza cuando el agua pasa a través del humedal artificial para su disposición final.

### 2.2. Volúmenes de diseño y capacidad del sistema

Cada una de las partes del sistema de tratamiento tiene distintos volúmenes, dimensiones y formas ya que algunas unidades son rectangulares y otras como los tanques plásticos circulares. En conjunto, se estima que el sistema tiene una capacidad para una caudal promedio de 24,86 m<sup>3</sup>/día y que recibirá un caudal máximo de 1,70 m<sup>3</sup>/hora. Por otra parte, se muestra una tabla resumen que contiene las dimensiones características de cada unidad en el sistema de tratamiento.

Componente	Volumen (m <sup>3</sup> )	Largo (m)	Ancho (m)	Profundidad (m)	Diámetro (m)
Trampa de grasa <sup>1</sup>	3,94	2,59	1,05	1,45	-
Interceptor de sólidos <sup>1</sup>	1,00	1,65	0,86	0,70	-
Registro sifónico <sup>1</sup>	0,034	-	-	0,45	0,31
Tanque séptico	17,33	5,35	1,80	1,80	-
Humedal artificial <sup>2</sup>	108,40	17,8	8,70	0,70	-
Tanque interceptor en entrada humedal <sup>3</sup>	2,50	-	-	1,54	1,61
Tanque de captación en salida de humedal <sup>3</sup>	5,00	-	-	1,82	2,17
Vertedor	1,27	2,32	0,84	0,65	-

1: datos según planos constructivos brindados por proveedor/Incluye volumen sin líquido

2: la profundidad incluye la profundidad total de grava, incluyendo aquella sin líquido

3: datos según ficha técnica del producto cotizado

### 3. Personal

Se necesitará de personal para realizar tareas de mantenimiento al humedal artificial, trampas de grasas e interceptores, sin embargo, estas son tareas que no se realizan todos los días y tampoco demandan de mucho tiempo, por lo que se considera que el mismo personal del refugio puede llevar a cabo dichas tareas. Las tareas de mantenimiento son básicas y no conllevan ningún tipo de complejidad, por lo que un personal con nivel de escolaridad básico será capaz de llevar a cabo el mantenimiento.

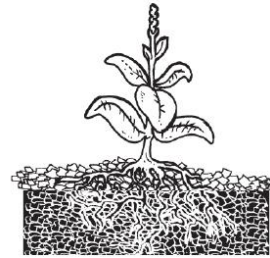
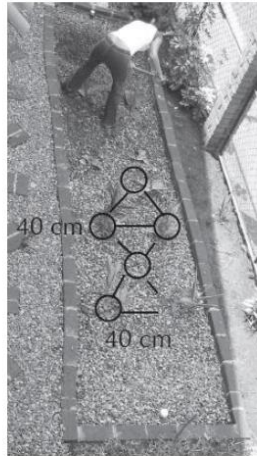
### 4. Puesta en marcha

Una vez terminada la construcción del humedal artificial y los distintos componentes del sistema de tratamiento, se puede dar el paso del agua residual por medio de las distintas tuberías. Es importante tener claro que la siembra de las plantas del humedal es lo último que debe hacerse, ya que hay que esperar que el humedal se llene parcialmente para evitar que las plantas se sequen por falta de agua.

Una vez que el sistema entre en funcionamiento, el humedal puede tardar desde dos días hasta una semana en llenarse por completo, esto dependiendo de si es una época con alta o baja visitación de turistas. Es posible verificar el nivel del agua a través de los tubos de registro colocados a lo largo del humedal.

En cuanto a la siembra de las plantas, se recomienda usar una configuración triangular (conocida como pata de gallo) en donde la separación entre plantas sea de 40 cm por lo que en cada metro cuadrado entra entre 5-6 plantas.

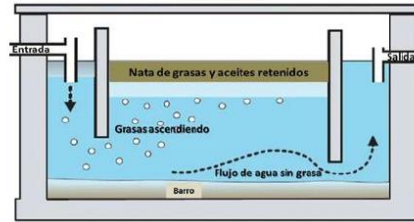
Una vez definido el punto de siembra, se debe realizar una excavación en la grava con un hueco de unos 15 cm, asegurando que las raíces queden cubiertas por agua.



## 5. Procesos del sistema de tratamiento y su mantenimiento

### 5.1. Trampa de grasa

Estas deben ser colocadas a la salida de las pilas para lavar. La finalidad de las trampas de grasa es remover las grasas, aceites y residuos sólidos que se pueden generar del lavado de platos y utensilios que se usan para comer y cocinar. También pueden atrapar arenas que se acumulan en las pilas.



En la capa superior del agua en la trampa de grasa se acumulará una nata de grasas y aceites. Esta capa debe ser removida con un colador o balde y ser dispuesta en una bolsa plástica para desecharla como un residuo sólido.

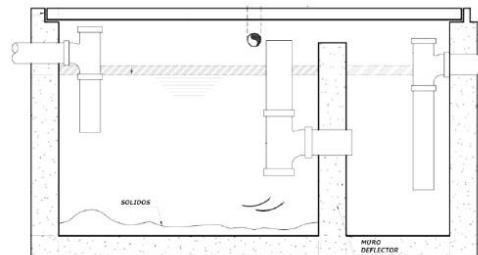
En la parte inferior de la trampa de grasa se acumulará sólidos de comida y arenas. Para removerlos deberá usarse un colador preferiblemente metálico o un palín para posteriormente ponerlos en una bolsa plástica y desecharla como un residuo sólido.



### 5.2. Interceptor de sólidos

Deben estar colocados a la salida de las duchas. Su funcionamiento es muy similar a la trampa de grasa. Tiene un muro deflector en su interior que impide que los sólidos como las arenas vayan a dar a las tuberías.

Su mantenimiento consiste en retirar con un palín las arenas y demás sólidos acumulados en el fondo y ponerlas en una bolsa plástica para desecharla como un residuo sólido.





### 5.3. Caja de registro sifónico

Se trata de un pequeño compartimento el cual contiene una tapa removible que sirve para revisar el estado de las aguas residuales en un punto determinado.



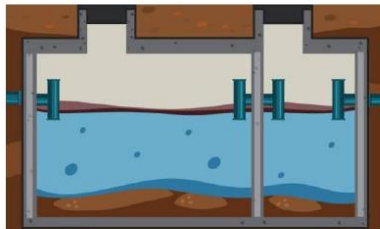
Al ser sifónico, tiene una curvatura en su salida que permite la generación de un sello hidráulico, esto con la finalidad de evitar malos olores que puedan venir del sistema de tratamiento en etapas posteriores.

A pesar de no estar diseñado para interceptar sólidos, puede atrapar residuos que se hayan escapado hacia las tuberías. Por esto se debe revisar periódicamente y limpiarlos al igual que la trampa de grasa.

### 5.4. Tanque séptico

Es un tanque utilizado principalmente para decantar los sólidos sedimentables de las aguas negras.

Los tanques sépticos deberán estar tapados en todo momento y deberán tener incorporado un tubo de al menos tres metros de altura para la evacuación de gases.



El mantenimiento del tanque séptico consiste en la limpieza de la capa de lodos que se acumula en el fondo del tanque, esta limpieza debe realizarse cada dos años. Para esto, se debe contratar una empresa que esté debidamente inscrita ante el Ministerio de Salud para que por medio de una bomba y un camión cisterna pueda realizar la limpieza del tanque séptico.

Cuando se realice la extracción de los lodos estos no deben extraerse en su 100%, sino que debe dejarse un restante del 20% que sirva como semilla para el desarrollo de las bacterias que degradan la materia orgánica de las aguas negras.



### 5.5. Tanque interceptor en entrada de humedal

El tanque interceptor a la entrada del humedal se trata de un tanque plástico de 2500 L el cual es comercializado como “fosa séptica”. Su función es recibir las aguas que provienen de las distintas fuentes para que salga un solo flujo hacia el humedal artificial, por lo que deberá tener aberturas adicionales (6 en total) con el diámetro de la tubería de la cual recibe el agua.



Para realizar los agujeros se debe usar un taladro con una broca de sierra circular con el diámetro correspondiente de la tubería.

Se deben usar adaptadores machos y hembras para cerrar el agujero y poder adaptar los tubos. Se recomienda usar un sellador de poliuretano como Duretán para asegurar que no haya ningún derrame por medio de los adaptadores.



En cuanto a las tareas de mantenimiento, estas consisten en realizar inspecciones rutinarias en donde se verifique que el tanque se encuentre completamente cerrado, ya que cualquier ingreso de basura podría terminar en el humedal artificial generando obstrucciones.

Se recomienda verificar de forma anual la acumulación de sólidos en el piso del tanque, en caso de haber una gran acumulación de sólidos se puede realizar su limpieza junto con la limpieza de los tanques sépticos, ya que este tanque contendrá aguas negras.

### 5.6. Tanque interceptor en salida de humedal

Consiste en un tanque plástico igual al de la entrada del humedal. Se encontrará a la salida del humedal y recibirá las aguas tratadas provenientes de este. Servirá como un registro para la toma de muestras y realizar análisis de calidad al agua para determinar el rendimiento del tratamiento. Por otra parte, podrá contener una bomba sumergible en caso de querer reutilizar las aguas tratadas para una aplicación específica.

Se recomienda realizar inspecciones rutinarias en donde se verifique que el tanque se encuentre completamente cerrado, ya que cualquier ingreso de basura podría terminar en los drenajes generando la obstrucción de estos.

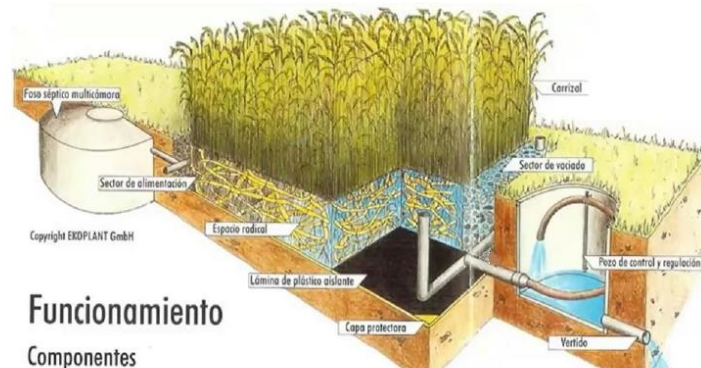
Dado que recibe aguas no se espera que se deba realizar tareas de mantenimiento frecuentes, sin embargo, se recomienda revisar de forma semanal que no haya acumulación de suciedad en las paredes del tanque. En caso de encontrar acumulación de suciedad, se deberá cepillar sin el uso de detergentes para removerla.



### 5.7. Humedal artificial

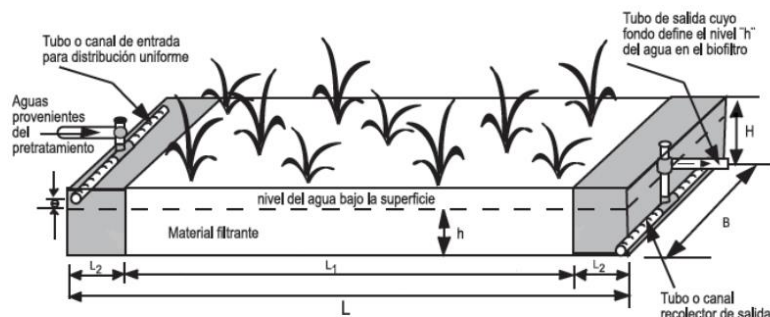
#### ¿Qué es un humedal artificial?

Esta es la parte del sistema de tratamiento en donde se da la mayor remoción de la materia orgánica. Generalmente en este punto la materia orgánica se encuentra disuelta en el agua, ya que la materia que no es soluble se habrá ido separando del agua en etapas previas. Una vez que el agua residual ingresa en el humedal artificial, interactúa con los microorganismos que se desarrollan en el medio filtrante y raíces de las plantas. La materia orgánica es transformada en componentes que no sean contaminantes y en nutrientes que son absorbidos por las plantas, purificando de esta forma el agua.



### Partes de un humedal artificial

- Tubo de entrada: es el tubo por el cual se distribuye el agua proveniente del tanque interceptor.
- Material filtrante o sustrato: es un cúmulo de piedra (generalmente piedra cuarta) con la cual se rellena el humedal artificial. Sirve como anclaje para las plantas, además de que el desarrollo de los microorganismos se da en la superficie de la piedra.
- Plantas: favorecen el crecimiento de los microorganismos por medio del desarrollo de sus raíces, además, absorben el exceso de nutrientes presentes en el agua.
- Tubo de salida: por medio de este tubo se recolectan las aguas tratadas que van a dar al tanque receptor a la salida del humedal.



### Mantenimiento de humedal artificial

No es necesario dar un mantenimiento diario al humedal, sin embargo, se recomienda realizar inspecciones diarias para verificar que no haya anomalías, por lo que se debe revisar de forma visual lo siguiente:

Se debe revisar que en los tubos de distribución el agua se reparta de forma uniforme a lo largo del tubo ya que si no se distribuye uniformemente podría indicar que hay una obstrucción la cual deberá retirarse de forma manual.

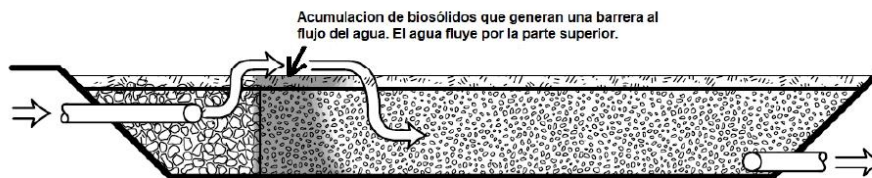
También se recomienda realizar limpieza de los tubos al menos dos veces al año, con una separación de seis meses entre limpieza con el fin de evitar obstrucciones por exceso de suciedad.



Caso extremo de obstrucción en tubería de entrada



Se debe verificar que no haya encharcamientos en la superficie de la entrada del humedal. En caso de encontrar encharcamientos podría ser un indicativo que hay obstrucciones en el sustrato. Estas obstrucciones no son frecuentes, por lo que se considera un inconveniente que podría no darse. En caso de encontrarse esta situación, proceder según se explica en la sección de inconvenientes.



Además de las revisiones rutinarias, hay un conjunto de tareas que se recomienda realizar de forma periódica las cuales se mencionan a continuación.



Se deberá podar y retirar las partes secas o muertas de las plantas, además de limpiar el suelo del humedal de cualquier residuo de ramas, hojas o flores marchitas ya que al no retirarse se degradarán ingresando al sustrato pudiendo generar obstrucciones. También es importante retirar toda maleza ajena a la vegetación del humedal.

En caso de que haya una acumulación excesiva de ramas y hojas de la vegetación externa al humedal como árboles que hay en los alrededores, se recomienda colocar una malla de sarán en la parte aérea para evitar el ingreso de estos residuos.

En ninguna circunstancia se deben usar agroquímicos como plaguicidas o herbicidas ya que pueden afectar negativamente la microbiología del humedal, disminuyendo el rendimiento del tratamiento de las aguas residuales.



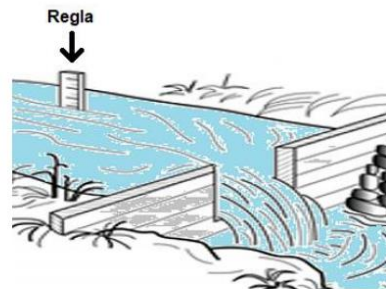
### 5.8. Vertedor

Es una parte del sistema que no forma parte activa en el tratamiento de aguas, sin embargo, es útil para poder tener control y conocimiento de lo que está pasando en el sistema de tratamiento. Consiste en un pequeño canal cuya función es la medición de caudales. El agua pasa a través de una cuchilla con una abertura de forma triangular en su parte superior, la cual nivela la altura del agua en el canal.



Para su uso agua se debe utilizar una regla o una cinta métrica e introducirla de forma vertical en la mitad del canal con el cero viendo hacia abajo. De esta forma se puede obtener el nivel del agua el cual se debe asociar con el caudal mostrado en la siguiente tabla.

H (cm)	Q (L/min)
30	0,00
31	0,23
32	1,42
33	4,26
34	8,63
35	14,48
36	22,44
37	32,50
38	44,69
39	59,34
40	76,87
41	97,24
42	119,74
43	145,33
44	173,80
45	205,86



## 6. Posibles problemas

### Obstrucción de tuberías

En ocasiones puede suceder que se obstruya alguna tubería de conducción. En estos casos se debe intentar localizar el punto específico de la obstrucción para retirarlo de forma manual.

Evitar en la medida de lo posible utilizar desatoradores químicos ya que pueden afectar negativamente la microbiología del humedal artificial, bajando el rendimiento en el tratamiento de las aguas residuales además de resultar tóxico para las plantas. En caso de no encontrar otra salida debido a las longitudes de las tuberías, se recomienda aplicar enzimas bacterianas comúnmente encontradas en ferreterías como el Colono, dentro del tanque interceptor antes del humedal, para reestablecer la microbiología afectada por el uso de químicos.

Cabe destacar e insistir que esto se debe usar como último recurso y en la medida de lo posible se debe evitar.



### Desbordamiento del agua por encima del sustrato

En ocasiones puede darse la acumulación excesiva de materia orgánica y microorganismos entre los espacios porosos de la grava del humedal artificial. Esta acumulación puede solidificarse a un punto que evite el paso del agua por a través de la grava, por lo que el agua va a fluir por encima de la superficie. Este fenómeno es conocido como colmatación, y cuando se presenta suele darse en la sección de entrada del humedal. Es posible identificar la colmatación al observar acumulaciones de agua o charcos encima de la superficie de la grava.

En caso de presentarse este problema, se recomienda retirar con una pala la zona obstruida y lavarla con una hidrolavadora para aplicar agua a presión. Una vez que se haya lavado la grava se puede volver a colocar de la zona en donde fue retirada.



### Problemas con la vegetación

Puede encontrarse situaciones con distintos factores que pongan en peligro el buen estado de la vegetación, tales como el calor o frío extremo, plagas como insectos, animales herbívoros, entre otros. En caso de encontrar plantas un muy mal estado se recomienda removerlas y reemplazarlas por una planta nueva. Por otra parte, en caso de volverse muy frecuente la invasión por parte de animales herbívoros, se recomienda poner una cerca con malla ciclón del humedal, que impida el paso de estos.

En caso de invasión de plagas de insectos, evitar el uso de insecticidas ya que son químicos que pueden afectar la microbiología del humedal.



## 7. Cuadro resumen de actividades de mantenimiento

Componente	Actividad	Frecuencia
Trampa de grasa	Remover capa de grasa acumulada. Limpiar y remover sólidos acumulados en parte inferior.	1-2 veces por semana
Interceptor de sólidos	Limpiar y remover sólidos acumulados en parte inferior.	1-2 veces por semana
Registro sifónico	Limpiar y remover sólidos acumulados en parte inferior.	1-2 veces por semana
Tanque séptico	Retirar lodos por medio de contratación de empresa especializada.	2 años
Humedal artificial	Inspección visual de tuberías y nivel del agua.	Diario
	Poda y retiro de partes marchitas de vegetación.	Semanal
	Limpieza de tubos de entrada y salida	6 meses
Tanque interceptor en entrada humedal	Inspección visual para verificar que esté cerrado.	Diario
	Remoción de sólidos acumulados en el fondo.	2 años
Tanque de captación en salida de humedal	Inspección visual para verificar que esté cerrado.	Diario
	Inspección del interior del tanque para verificar presencia de suciedad.	Semanal



***Anexo 9. Desglose de materiales y precios de cada escenario***

En documento Excel adjunto

***Anexo 10. Toma de datos con equipo topográfico***

En documento Excel adjunto.

***Anexo 11. Memoria de cálculo de todas las configuraciones de humedal artificial.***

En documento Excel adjunto.

***Anexo 12. Memoria de cálculo de tanque séptico***

En documento Excel adjunto.

***Anexo 13. Memoria de cálculo de drenajes***

En documento Excel adjunto.

***Anexo 14. Planos originales del sistema de tratamiento***

Documentos pdf adjuntos