

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA



**“PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE
AGUA RESIDUAL DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA 50106
HAPARQUILLA - ANTA - CUSCO”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÍCOLA**

ZENNHYA DELGADO BRICEÑO

LIMA – PERÚ

2024

PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE AGUA RESIDUAL DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA 50106 HAPARQUILLA - ANTA - CUSCO

INFORME DE ORIGINALIDAD

15%

INDICE DE SIMILITUD

10%

FUENTES DE INTERNET

13%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
2	repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	www.researchgate.net Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	1%
5	osc.dnp.gov.co Fuente de Internet	1%
6	Q'MIR S.R.L.. "DAA para la Planta de Manufactura de Pieles-IGA0011551", R.D. N° 086-2017-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2020 Publicación	<1%
7	Q'MIR S.R.L.. "Actualización del Plan de Manejo Ambiental del PAMA del Centro de	<1%

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**“PROPUESTA PARA EL TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE
AGUA RESIDUAL DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA 50106
HAPARQUILLA-ANTA-CUSCO”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERA AGRÍCOLA

Presentado por:

BACH. ZENNHYA DELGADO BRICEÑO

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Dr. JOSÉ LUIS CALLE MARAVÍ
Presidente

Mg. Sc. KENYI GLICERIO CAVALCANTI CÁRDENAS
Miembro

Blgo. JUAN GABRIEL JUSCAMAITA MORALES
Miembro

Mg. Sc. ROSA MARIA MIGLIO TOLEDO
Asesor

Mg. Sc. DIEGO SUERO SÁNCHEZ
Co-Asesor

LIMA – PERÚ

2024

DEDICATORIA

A mi Petete, mi abuelita Alejandrina, la que con su amor logró sanar mi alma, me inculcó el amor hacia el campo y la naturaleza; y que con su fortaleza, locura, dulzura y valentía logró enseñarme lo maravillosa que es la vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, porque aún con mis fallas jamás me dejó sola.

A la vida por cada una de sus enseñanzas en todo este tiempo.

A mis papás y hermanito, Rosa, Carlos y Franz que siempre han estado conmigo, en toda circunstancia, dándome su apoyo y amor sin condiciones, son mi fortaleza para no rendirme, y mi hogar.

A la ingeniera Rosa Miglio, por su paciencia, predisposición y ejemplo de profesionalismo.

A mi tío Mateo, por su tiempo, sus sugerencias y valiosos comentarios.

A mis tías: Vilma, Nidia, Carmen y Elvira por ser mis otras mamás, siempre amorosas y creyendo en mí.

A Diego Suero, Katia, Gabriela, Yajaira y Lena por su gran amistad y apoyo durante este proceso.

A mí misma, por no darme por vencida.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1. Objetivo general	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. AGUAS RESIDUALES	3
2.1.1. Clasificación de aguas residuales	3
2.2. EFLUENTES DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	4
2.2.1. Características de los efluentes	4
2.2.2. Contaminación por aguas residuales domésticas	5
2.3. SANEAMIENTO.....	6
2.4. SITUACIÓN ACTUAL DEL SANEAMIENTO EN EL PERÚ	6
2.5. SITUACIÓN ACTUAL DEL SANEAMIENTO RURAL EN EL PERÚ	7
2.6. EFECTOS DE LA FALTA DE SANEAMIENTO RURAL EN EL PERÚ	8
2.7. OPCIONES TECNOLÓGICAS EN SANEAMIENTO RURAL	9
2.7.1. Unidad Básica de Saneamiento sin Arrastre Hidráulico.....	9
2.7.2. Unidad Básica de Saneamiento con Arrastre Hidráulico (UBS-AH).....	11
2.8. TRATAMIENTOS COMPLEMENTARIOS DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN ZONAS RURALES.....	14
2.8.1. Zanjas de infiltración	14
2.8.2. Humedales Artificiales	15
2.8.3. Experiencias en el uso de biodigestores, tanques sépticos y humedales artificiales	17
2.9. SITUACIÓN DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ	21
2.9.1. Porcentaje de agua residual tratada en los ámbitos Urbano y Rural	21
2.10. REÚSO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS EN AGRICULTURA.....	22
2.10.1. Beneficios de la Reutilización de Aguas Residuales Tratadas.....	23
2.10.2. Riesgos de la Reutilización de Aguas Residuales sin tratamiento adecuado...25	
2.10.3. Mitigación del riesgo y medidas de control para la protección a la salud	26

2.11. RIEGO LOCALIZADO DE ALTA FRECUENCIA COMO TÉCNICA SEGURA DE RIEGO.....	38
2.11.1. Riego por goteo	38
2.11.2. Riego por aspersión	39
2.11.3. Componentes de un sistema de localizado de alta frecuencia.....	39
2.12. NORMATIVA NACIONAL PARA EL DESARROLLO DE PROYECTOS DE SANEAMIENTO EN ZONAS RURALES Y EL REÚSO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS PARA AGRICULTURA.....	41
III. METODOLOGÍA	43
3.1. UBICACIÓN	43
3.1.1. Características Físicas de la Zona.....	44
3.1.2. Levantamiento de información socioeconómica	45
3.2. DIAGNÓSTICO.....	45
3.2.1. Entrevistas:.....	46
3.2.2. Levantamiento de información socioeconómica:.....	46
3.3. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REÚSO DE LAS AGUAS RESIDUALES	46
3.3.1. Levantamiento Topográfico	47
3.3.2. Determinación del tipo de suelo	48
3.3.3. Ubicación del nivel freático	48
3.3.4. Prueba de percolación	48
3.3.5. Prueba de infiltración.....	48
3.3.6. Estimación de caudales	49
3.3.7. Caracterización de aguas residuales	49
3.4. ANÁLISIS DE OPCIONES DE TRATAMIENTO	50
3.4.1. Identificación de principales factores de selección	50
3.4.2. Análisis de opciones	52
3.5. PROPUESTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO	52
3.6. PROPUESTA DEL SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS	53
3.6.1. Uso de Barreras Múltiples.....	53
3.6.2. Cálculo de oferta o volumen generado de aguas residuales.....	53
3.6.3. Cálculo de demanda de agua para riego	54
3.6.4. Balance Hídrico	54
3.6.5. Diseño del sistema de riego para el reaprovechamiento de aguas residuales tratadas.....	54

3.6.6. Propuesta del sistema de riego	54
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	55
4.1. DIAGNÓSTICO.....	55
4.1.1. Diagnóstico del manejo de las aguas residuales en la Institución Educativa 50106 Haparquilla.....	55
4.2. CARACTERIZACIÓN DE LA ZONA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO Y REÚSO DE AGUAS RESIDUALES	60
4.2.1. Levantamiento topográfico	60
4.2.2. Determinación del tipo de suelo	61
4.2.3. Ubicación del nivel freático	61
4.2.4. Prueba de Percolación.....	62
4.2.5. Prueba de infiltración.....	62
4.2.6. Estimación de Caudales	62
4.2.7. Caracterización del agua residual.....	63
4.3. ANÁLISIS DE OPCIONES DE TRATAMIENTO Y SELECCIÓN DE LA MEJOR OPCIÓN.....	65
4.3.1. Identificación de principales factores de selección	65
4.3.2. Análisis de opciones de tratamiento primario	66
4.3.3. Análisis de opciones para el tratamiento complementario de las aguas residuales generadas en zonas rurales.....	70
4.4. PROPUESTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.	73
4.4.1. Consideraciones de diseño para las alternativas elegidas	75
4.4.2. Diseño de las unidades de tratamiento.....	75
4.4.3. Operación y mantenimiento de los componentes del sistema de tratamiento....	82
4.4.4. Tratamiento y disposición de lodos	83
4.4.5. Calidad del agua residual tratada.....	84
4.5. PROPUESTA DEL SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS	85
4.5.1. Uso de Barreras Múltiples.....	86
4.5.2. Cálculo de la oferta o volumen generado de aguas residuales	88
4.5.3. Cálculo de la demanda de agua del cultivo.....	89
4.5.4. Balance hídrico y frecuencia de riego	89
4.5.5. Diseño del sistema de riego	89
4.5.6. Propuesta del sistema de riego	92
4.5.7. Operación y mantenimiento del sistema de riego	92

V. CONCLUSIONES.....	93
VI. RECOMENDACIONES	95
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	96
VIII. ANEXOS.....	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Composición típica de una Agua Residual Doméstica	5
Tabla 2: Población peruana según formas de acceso a saneamiento básico: 2012-2019 (Porcentaje).....	7
Tabla 3: Población según formas de acceso a saneamiento, según área de residencia (Rural): 2012-2019 (Porcentaje)	8
Tabla 4: Soluciones para disposición de excretas.....	9
Tabla 5: Capacidad de abastecimiento.....	11
Tabla 6: Eficiencia de un biodigestor instalado para el tratamiento de agua residual	18
Tabla 7: Resultados del agua residual no tratada y tratada – Diciembre 2016	18
Tabla 8: Resultados de la calidad de efluente comparando con la eficiencia ofrecida por la empresa fabricante del biodigestor.	19
Tabla 9: Eficiencia de remoción del Humedal Artificial Horizontal de Flujo Subsuperficial	19
Tabla 10: Remoción de patógenos en unidades logarítmicas* en humedales artificiales ...	20
Tabla 11: Proyecciones en el incremento del tratamiento de aguas residuales en el Perú y servicio de alcantarillado 2022-2030	22
Tabla 12: Incremento de la producción agrícola por el uso de aguas residuales en Tacna Perú (Toneladas métricas por hectárea).	24
Tabla 13: Principales agentes infecciosos presentes en las aguas residuales domésticas usadas en el riego agrícola.....	25
Tabla 14: Grupos expuestos a riesgo y rutas de exposición.	26
Tabla 15: Clasificación de cultivos según la OMS	27
Tabla 16: Metas de salud para uso de aguas residuales tratadas en agricultura y calidades microbiológicas recomendadas por categoría	28
Tabla 17: Técnicas de aplicación de agua residual basadas en la protección a la salud	31
Tabla 18: Remoción de patógenos (Unidades logarítmicas) logradas por las medidas de control de protección a la salud	32
Tabla 19: Calidad de las aguas residuales tratadas sugeridas en base a parámetros químicos, físicos y biológicos	35

Tabla 20: Número de barreras necesarias según calidad de agua residual tratada según la experiencia práctica	36
Tabla 21: Coordenadas UTM de la Institución Educativa 50106 Haparquilla	43
Tabla 22: Ubicación de BM´s.....	47
Tabla 23: Parámetros para la caracterización inicial	50
Tabla 24: Resumen de resultados de las encuestas y entrevistas realizadas a los docentes y padres de familia de la I.E.	59
Tabla 25: Resumen de resultados de las encuestas y entrevistas realizadas a los alumnos de la I. E.	59
Tabla 26: Resumen de resultados de las encuestas realizadas a los pobladores de Haparquilla	60
Tabla 27: Resultados del análisis de caracterización y fertilidad del suelo	61
Tabla 28: Información de consumo de agua y producción de agua residual	63
Tabla 29: Resultados del muestreo de aguas residuales de la Institución Educativa Haparquilla	64
Tabla 30: Aplicabilidad, Ventajas y Desventajas de las Opciones Tecnológicas para Tratamiento Primario de Aguas Residuales	68
Tabla 31: Aplicabilidad Análisis de opciones para el tratamiento complementario de las Aguas Residuales generadas en Zonas Rurales	71
Tabla 32: Dimensiones de la caja de ingreso y del registro sanitario	75
Tabla 33: Características y dimensiones de los biodigestores de 1300 l y sus cajas de lodos de 200 l.....	76
Tabla 34: Características típicas del medio para humedales de flujo subsuperficial.....	78
Tabla 35: Parámetros de diseño según el medio granular	79
Tabla 36: Parámetros utilizados para el dimensionamiento del humedal horizontal de flujo subsuperficial.....	79
Tabla 37: Resumen de dimensiones del humedal artificial	81
Tabla 38: Cálculo del dimensionamiento del tanque de almacenamiento	82
Tabla 39: Dimensiones y características del tanque de recolección	82
Tabla 40: Valores aproximados obtenidos por parámetro según la eficiencia de remoción	85
Tabla 41: Cuantificación de la reducción de patógenos en Unidades logarítmicas de las barreras implementadas incluyendo al tratamiento	87
Tabla 42: Información General de la Institución Educativa 50106 Haparquilla	108

Tabla 43: Total de alumnos y docentes del 2010 al 2019	108
Tabla 44: Toma de datos medidos en campo	117
Tabla 45: Procesamiento de datos para la determinación de la Conductividad Hidráulica	117
Tabla 46: Infiltración Promedio (Ip).....	118
Tabla 47: Infiltración Básica (Ib)	120
Tabla 48: Humedad Relativa media diaria (%)	128
Tabla 49: Horas de sol (horas y décimas de horas)	128
Tabla 50: Precipitación Total Diaria (mm)	128
Tabla 51: Temperatura Máxima Diaria (°C)	129
Tabla 52: Temperatura Mínima Diaria (°C)	130
Tabla 53: Velocidad Media del Viento Diaria (m/s)	130
Tabla 54: Volumen diario de llenado en la caja de registro.....	131
Tabla 55: Valores de Evapotranspiración potencial del 2010 al 2020.....	132
Tabla 56: Valores de Kc para alfalfa	132
Tabla 57: Determinación de la demanda hídrica	133
Tabla 58: Balance hídrico diario.....	134
Tabla 59: Balance hídrico cada tres días.....	134
Tabla 60: Información para el cálculo de láminas de riego	135
Tabla 61: Parámetros de diseño agronómico y cálculos para el riego por goteo de alfalfa	136
Tabla 62: Parámetros para el diseño hidráulico.....	137
Tabla 63: Parámetros de operación del sistema de riego por goteo	137
Tabla 64: Pérdidas de carga, base para hallar la altura dinámica total	137
Tabla 65: Elección de la bomba.....	138
Tabla 66: Cálculos hidráulicos en la matriz	139
Tabla 67: Cálculos hidráulicos en los portlaterales.....	140
Tabla 68: Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR	142
Tabla 69 Dotación por persona.....	155
Tabla 70: Operación y mantenimiento de los componentes del sistema de tratamiento ...	175
Tabla 71: Operación y mantenimiento del sistema de riego	177
Tabla 72: Costo de actividades de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento	179

Tabla 73: Costo de actividades de operación y mantenimiento del sistema de riego.....	181
Tabla 74: Costos de operación y mantenimiento de ambos sistemas	183
Tabla 75: Listado de planos.....	183

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Funcionamiento de un biodigestor.....	12
Figura 2: Esquema de un tanque séptico.....	13
Figura 3: Campo o zanja de infiltración.....	15
Figura 4: Esquema general del humedal artificial de flujo superficial	16
Figura 5: Esquema general de un humedal artificial de flujo subsuperficial	17
Figura 6: Tipos de reúso de aguas residuales.	22
Figura 7: Comparación de los caudales tratados y de los efluentes utilizados para el riego en las regiones del Perú (sin Lima y Callo). Fuente: ANA (2016)	24
Figura 8: Barreras múltiples para el uso de las aguas residuales.....	34
Figura 9: Esquema de un sistema de riego por goteo	38
Figura 10: Riego por aspersión.....	39
Figura 11: Componentes de la instalación de un riego localizado	40
Figura 12: Mapa de ubicación de la provincia de Anta	44
Figura 13: Vista de instalación BM	47
Figura 14: Biodigestores a la salida del baño antiguo muy próximos a la acequia al lado de la Institución Educativa.....	56
Figura 15: Esquema de sistemas del manejo de aguas residuales de la Institución Educativa 50106 Haparquilla.....	58
Figura 16: Esquema simple del manejo de aguas residuales de la I. E.....	58
Figura 17: Muestreo de las aguas residuales provenientes del baño, lavatorio y cocina.....	64
Figura 18: Esquema de sistemas del sistema de tratamiento propuesto	74
Figura 19: Caja de lodos para biodigestores de 1300 l	76
Figura 20: Esquema del acomodo de los componentes	82
Figura 21: Esquemización del proceso de tratamiento lodo con cal.....	83
Figura 22: Barreras propuestas después del tratamiento para lograr el objetivo de 10^{-6} AVAD	88
Figura 23: Principales productos asociados a los sistemas de saneamiento y color con que son identificados	109
Figura 24: Grupos funcionales	110

Figura 25: Instalación de un baño con arrastre hidráulico en la población de Haparquilla	111
Figura 26: Vista general de las instalaciones de la Institución Educativa Haparquilla	111
Figura 27: Levantamiento topográfico de la Institución Educativa.....	112
Figura 28: Instalación del doble anillo para la prueba de infiltración	112
Figura 29: Realización de la calicata para determinar el nivel freático y extraer la muestra de suelo.....	113
Figura 30: Medición de la profundidad del nivel freático a través de calicata	113
Figura 31: Nivel freático en el mes más crítico lluvioso	114
Figura 32: Tanques de almacenamiento que abastecen al baño antiguo y su lavatorio (izquierda) y a la cocina (derecha).....	114
Figura 33: Vista del baño antiguo y su respectivo lavadero.....	115
Figura 34: Baño nuevo con su respectivo tanque de almacenamiento	115
Figura 35: Lavatorio de la cocina para el lavado de utensilios	116
Figura 36: Medición del caudal	116
Figura 37: Gráfico de infiltración promedio	119
Figura 38: Gráfico de Infiltración Básica.....	120
Figura 39: Resultado del muestreo de aguas residuales.....	121
Figura 40: Resultados de la caracterización del suelo	122
Figura 41: Cotización de materiales para riego	123
Figura 42: Cotización de accesorios para sistema de riego por goteo	124
Figura 43: Precio de filtro de anillas de 120 Mesh.....	125
Figura 44: Características del filtro	125
Figura 45: Cotización tuberías y accesorios	126
Figura 46: Determinación de la ETo.....	131
Figura 47: Determinación de la Precipitación Efectiva	132
Figura 48: Balance hídrico diario	134
Figura 49: Balance hídrico cada tres días.....	135
Figura 50: Criterios para la elección de la bomba	138
Figura 51: Interfaz de Rivulis para la elección de filtros “Encuentre su filtro”	141
Figura 52: Curvas para la determinación del tamaño de filtro	141

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Datos de la Institución Educativa Haparquilla	108
Anexo 2: Esquemas de sistemas	109
Anexo 3: Fotografías.....	111
Anexo 4: Resultados de los ensayos de la prueba de infiltración.....	117
Anexo 5: Resultados emitidos por el Laboratorio Louis Pasteur del muestreo de aguas residuales	121
Anexo 6: Resultados del muestreo de suelos emitidos por el Laboratorio de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco.....	122
Anexo 7: Cotizaciones	122
Anexo 8: Datos hidrometeorológicos proporcionados por SENAMHI	127
Anexo 9: Cálculos para el diseño del sistema de riego	131
Anexo 10: Parámetros según los LMP para los efluentes de PTAR	142
Anexo 11: Encuestas aplicadas a los pobladores de la comunidad de Haparquilla, a los padres de familia, docentes y alumnos de la Institución Educativa Haparquilla 50101	143
Anexo 12: Determinación de caudales de diseño del sistema de tratamiento a través de la dotación de diseño y la proyección de la población	155
Anexo 13: Costos y presupuestos del sistema de tratamiento	156
Anexo 14: Costos y presupuestos del sistema de riego por goteo	167
Anexo 15: Operación, mantenimiento y costos que conlleva de ambos sistemas.....	175
Anexo 16: Planos	183

RESUMEN

En la presente investigación se realizó un diagnóstico del manejo de las aguas residuales generadas en la Institución Educativa 50106 Haparquilla y una propuesta de sistema de tratamiento y reúso de dichas aguas residuales. A partir del diagnóstico se realizó un análisis de las opciones tecnológicas viables para el tratamiento de las aguas residuales basado en la literatura, así como el de un sistema de reúso del efluente, tomando en cuenta el concepto de “Barreras Múltiples” propuesto por la OMS (2006), de esta forma se determinó que la mejor opción era añadir un sistema de tratamiento compuesto por una caja de registro, dos biodigestores y un humedal subsuperficial de flujo horizontal, así como la instalación de un sistema de riego por goteo para cultivo de alfalfa dentro de las instalaciones de la Institución Educativa. Los criterios de selección tomados en cuenta para elegir estas tecnologías fueron de índole técnico, económico, social y ambiental. De esta manera se diseñaron las opciones tecnológicas elegidas, elaborándose planos y metrados; finalmente, se estimó que el costo del sistema de tratamiento sería de S/. 30,923.17, del sistema de reutilización, de S/. 5,516.10 y el costo anual de operación y mantenimiento de ambos sistemas, de S/. 1262.5.

Palabras clave: Saneamiento rural, aguas residuales, tratamiento, barreras múltiples, reutilización, riego por goteo.

ABSTRACT

In the present thesis a diagnosis of the management of the wastewater generated in the Educational Institution 50106 Haparquilla and a proposal of treatment system and reuse of said wastewater was made. From the diagnosis, an analysis of viable technological options for wastewater treatment based on the literature was carried out, as well as that of an effluent reuse system, taking into account the concept of “multiple barriers” proposed by the WHO (2006). In this way it was determined that the best option was to add a treatment system composed of a register box, two biodigesters and an artificial wetland, as well as the installation of a drip irrigation system for alfalfa cultivation within the facilities of the Educational Institution. The selection criteria taken into account for the selection of these technologies were of a technical, economic, social and environmental nature. In this way, the chosen technological options were designed, drawing and metering; finally, it was estimated that the cost of the treatment system would be S/. 30,923.17, of the reuse system, of S/. 5.516.10 and the annual cost of operating and maintaining both systems, S/. 600.

Keywords: Rural sanitation, wastewater, treatment, multiple barriers, reuse, drip irrigation.

I. INTRODUCCIÓN

En el Perú, existe un significativo déficit de cobertura de saneamiento en las zonas rurales y periurbanas; como indica el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) (2021), sólo el 30.2 por ciento de la población rural cuenta con la cobertura de este servicio, mientras que el 77.6 por ciento, cuenta con cobertura de agua. La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2013) y el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS, 2016b), señalan que el saneamiento inadecuado, junto a la falta de agua potable, son las causas principales para la aparición de enfermedades diarreicas, que a su vez contribuyen a la desnutrición crónica en los niños.

Una de las prácticas más comunes de disposición final de las aguas residuales domésticas en zonas rurales, es la disposición directa sin tratamiento en los cuerpos de agua superficiales, en el suelo y en riego de cultivos; sin embargo, la calidad de estas aguas puede generar problemas ambientales y de salud en los pobladores, en especial en los niños (Silva *et al.*, 2008).

Esta realidad se presenta también en la comunidad de Haparquilla, provincia de Anta, región Cusco; en donde la población carece de servicio de alcantarillado, y solo se dispone de biodigestores en las viviendas, cuya agua medianamente tratada se infiltra en el suelo. Tal situación se ve reflejada en la Institución Educativa 50106, que carece de red de alcantarillado y vierte sus aguas residuales en un par de biodigestores que no han tenido mantenimiento desde su instalación, generando la contaminación de la acequia contigua a la Institución Educativa, proliferación de insectos vectores y, por ende, poner en riesgo la salud de los alumnos y docentes.

La Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2016), manifiesta que la tecnología utilizada en el tratamiento de las aguas residuales define la calidad sanitaria del efluente y por tanto las posibilidades y tipo de reúso. Hoy en día existen tecnologías costosas y eficientes para tratamiento de aguas residuales, así como también, existen sistemas naturales de menor costo

y de igual o aún mayor eficiencia. Estos podrían adaptarse a distintos niveles de tratamiento dependiendo de los objetivos que persigan y de la calidad de los efluentes esperados.

Uno de estos sistemas son los humedales artificiales, considerados como una eco-tecnología para el tratamiento de aguas residuales, pues utilizan los mismos procesos físicos, químicos y biológicos que un humedal natural para mejorar la calidad del agua que fluye a través de ellos, además, son eficientes y poseen menores costos de operación y mantenimiento (Iagua, 2013).

Adicionalmente existen sistemas complementarios como el riego por goteo que, gracias a su naturaleza localizada, evita el contacto directo de plantas y personas con las aguas residuales tratadas, y su lenta infiltración permite la muerte de patógenos.

El presente proyecto propone el diseño de una opción tecnológica apropiada para el tratamiento de agua residual doméstica de la Institución Educativa 50106 de Haparquilla y un sistema de reutilización del efluente.

1.1 Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Elaborar una propuesta de tratamiento de agua residual de la Institución Educativa 50106 de Haparquilla y proponer un sistema de reutilización del agua residual tratada para riego.

1.1.2. Objetivos específicos

- Realizar el diagnóstico del manejo de las aguas residuales en la Institución Educativa 50106 de Haparquilla.
- Diseñar el sistema de tratamiento de las aguas residuales para la Institución Educativa 50106 de Haparquilla y evaluar sus costos.
- Diseñar el sistema de riego utilizando el agua residual tratada.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Aguas residuales

El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2014) las define como “aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado”.

2.1.1. Clasificación de aguas residuales

- Aguas residuales domésticas: Son aguas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana; suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas, por ello deben ser dispuestas adecuadamente (Espigares *et al.*, 1985; OEFA 2014).
- Aguas residuales industriales: Son aguas que resultan del desarrollo de un proceso productivo: actividad minera, energética, agrícola, agroindustrial, entre otras. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales (Espigares *et al.*, 1985; OEFA, 2014).
- Aguas residuales municipales: Estas aguas son colectadas en la red municipal y comprenden diversos tipos de desechos líquidos: aguas de drenaje fluvial, de origen doméstico y aguas de origen industrial previamente tratadas (Espigares *et al.*, 1985; OEFA, 2014).

2.2. Efluentes de aguas residuales domésticas

2.2.1. Características de los efluentes

Las aguas residuales domésticas contienen partículas sólidas, materia orgánica, inorgánica y microorganismos, cloruros, nitrógeno, carbonatos y sustancias tóxicas. Un agua residual puede caracterizarse por medio de sus constituyentes más comunes; entre los constituyentes convencionales están los sólidos totales que se clasifican en base a su tamaño en suspendidos, coloidales y disueltos, y según su composición, en orgánicos e inorgánicos. La materia orgánica, es considerada como el constituyente más importante de las aguas residuales domésticas, cuya característica principal es ser biodegradable; esta puede ser medida a través de parámetros como COT (Carbono Orgánico Total), DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno) (Rodríguez *et al.*, 2004).

Otros componentes importantes son el nitrógeno (amoniaco, orgánico, nitritos y nitratos), fósforo, bacterias, protozoarios y virus (Rodríguez *et al.*, 2004). La estimación de todos los componentes mencionados es un requisito necesario para determinar una estrategia de tratamiento viable técnica y económicamente, que garantice una adecuada calidad de agua para su uso posterior y para minimizar los riesgos potenciales en cuanto al ambiente y la salud pública (Silva *et al.*, 2008).

ANA (2018) señala que los rangos de concentración de los principales parámetros característicos de un agua residual doméstica cruda son:

- Coliformes Fecales o Termotolerantes (CF): 10⁶ -10⁹ NMP/100 mL
- Huevos de Nemátodos Intestinales o Helmintos (HH): 10 - 10⁴ Huevos/L
- Demanda Bioquímica de Oxígeno, 5 días, 20°C (DBO₅, 20°C): 110 - 400 mg/L
- Sólidos Suspendidos Totales (SST): 100 - 350 mg/L

En la Tabla 1, se muestra la composición típica del agua residual doméstica presentada por Rodríguez *et al.* (2004).

Tabla 1: Composición típica de una Agua Residual Doméstica

CONTAMINANTE O INDICADOR	CONCENTRACIÓN	UNIDADES
Sólidos Totales	350 - 1200	mg/L
Disueltos totales	250 - 850	mg/L
-Fijos	145 - 525	mg/L
-Volátiles	105 - 325	mg/L
Suspendidos Totales	100 - 350	mg/L
-Fijos	20 - 75	mg/L
-Volátiles	80 - 275	mg/L
Sólidos Sedimentables	5 - 20	mg/L
DBO₅ (a 20 °C)	110 - 400	mg/L
Carbono Orgánico Total (COT)	80 - 290	mg/L
DQO	250 - 1000	mg/L
Nitrógeno Total (como N)	20 - 85	mg/L
Orgánico	8 - 35	mg/L
Amonio Libre	80 - 290	mg/L
Nitritos	0	mg/L
Nitratos	0	mg/L
Fosforo Total (como P)	4 - 15	mg/L
Orgánico	1 - 5	mg/L
Inorgánico	3 - 10	mg/L
Aceites y Grasas	50 - 150	mg/L
Cloruros	30 - 100	mg/L
Alcalinidad (como CaCo₃)	50 - 200	mg/L
Coliformes Totales	10 ⁶ - 10 ⁹	NMP/100 mL
Coliformes Fecales o Termotolerantes	10 ⁵ - 10 ⁶	NMP/100 mL

Fuente: Rodríguez *et al.* (2004)

2.2.2. Contaminación por aguas residuales domésticas

Desde el punto de vista del Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (WWAP, 2017), la disponibilidad de recursos hídricos está intrínsecamente ligada a la calidad del agua. La contaminación de las fuentes de agua podría descartar diversos usos, es por esta razón que el aumento en los vertidos de aguas residuales sin tratar, ha llevado al deterioro de la calidad de agua en el mundo.

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2017), que tiene como fuente los datos de la Agencia Nacional de Aguas (ANA, 2012), la contaminación fecal en el Perú es uno de los problemas más serios

existentes en sus masas de agua superficial y es ocasionado directamente por los vertimientos de aguas residuales sin tratar.

Para detectar la presencia de material fecal en el agua se pueden emplear organismos indicadores, como los coliformes. Un ejemplo es el Río Rímac, que pertenece a la cuenca hidrográfica más importante del país y que suministra agua a más del 30 por ciento de la población. Se estima, además, que al menos 15 por ciento de este recurso se emplea en agricultura; no obstante, este es uno de los ríos más contaminados del país. Un examen de calidad de las aguas del río Rímac desarrollado en 2012 por la Agencia Nacional de Aguas (2012), citado en FAO (2017), determinó que en 11 de los 21 puntos de muestreo la concentración de coliformes termotolerantes era superior a la norma para el riego no restringido, coincidiendo en su mayoría con la parte baja de la cuenca.

Para Díaz *et al.* (2003), la determinación del tipo de organismos presentes en el agua residual, así como su concentración, provee herramientas que permiten conocer la calidad del agua y tomar decisiones en relación al control de vertidos, tratamiento de aguas y conservación de los ecosistemas.

2.3. Saneamiento

Es la provisión de servicios e instalaciones que hacen posible la eliminación de orina, heces y aguas residuales y así poder tener un ambiente limpio. Los sistemas de saneamiento adecuados tienen efectos favorables en la salud de los hogares y comunidades; mientras que, los inadecuados, constituyen una causa importante de morbilidad en el mundo (OMS, 2013, 2016).

En palabras de Tilley *et al.* (2018), saneamiento es un “proceso de varios pasos, en el cual las excretas humanas y las aguas residuales son gestionadas desde el punto de generación hasta el punto de uso o disposición final”.

2.4. Situación actual del saneamiento en el Perú

En la Tabla 2 se muestran los porcentajes de la población del Perú y sus formas de acceso a saneamiento: red pública, letrina, pozo séptico, pozo ciego o negro, río, acequia o canal y ninguno.

Tabla 2: Población peruana según formas de acceso a saneamiento básico: 2012-2019 (Porcentaje)

Área de residencia	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Nacional	100	100	100	100	100	100	100	100
Red pública de alcantarillado	64.1	66.3	66.8	70.1	71.8	72.8	74.5	74.9
Dentro de la vivienda	60.2	62.2	62.8	66.4	68.7	69	70.6	71
Fuera de la vivienda	3.9	4.2	4	3.7	3.1	3.9	3.9	3.9
Sin red de alcantarillado	35.9	33.7	33.2	29.9	28.2	27.2	25.5	25.1
Letrina	2.3	1.8	1.8	2.1	2.2	1.9	2.5	2.4
Pozo séptico	9.3	8.3	8	8	6.9	6.1	5.6	5.4
Pozo ciego o negro	11.2	11	11.2	8.5	9.3	9.6	8.7	8.8
Río, acequia o canal	1.3	1.2	1.3	1.3	1.1	1.2	1.1	1.3
No tiene	11.7	11.4	10.9	9.9	8.7	8.4	7.5	7.2

Nota: a/ Los resultados son considerados referenciales porque el número de casos en la muestra para este nivel no es suficiente y representan un nivel de variación mayor al 15%.

Fuente: INEI y ENAHO (2020)

2.5. Situación actual del saneamiento rural en el Perú

Como señala el artículo 164 del Texto Único Ordenado de la Ley N°26338, Ley General de Servicios de Saneamiento, se considera como centro poblado rural, a aquel que no sobrepase los dos mil (2000) habitantes.

En base a los datos obtenidos por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018), la población censada en los centros poblados urbanos del país es de 23 millones 311 mil 893 habitantes, la misma que representa el 79.3 por ciento de la población nacional y la población empadronada en los centros poblados rurales es de 6 millones 69 mil 991 personas que representa el 20.7 por ciento de la población censada del país.

De acuerdo con el MVCS (2016a), citado por el Programa Nacional de Saneamiento Rural (PNSR) (2016), apenas el 41 por ciento de hogares de ámbito rural en el Perú tiene acceso a saneamiento, asimismo la cobertura en saneamiento de la zona rural en la región Cusco es de 63.3 por ciento.

De acuerdo a la información de Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) y del Sistema de Administración Financiera (SIAF), citado por Huamán (2018), el gasto en saneamiento representa el 1 por ciento del gasto público total y de este, 34 por ciento es destinado al saneamiento rural, es decir, 0.48 por ciento del presupuesto total.

En la Tabla 3 se muestran los porcentajes de la población rural del Perú y sus formas de acceso a saneamiento: red pública, letrina, pozo séptico, pozo ciego o negro, río, acequia o canal y ninguno.

Tabla 3: Población según formas de acceso a saneamiento, según área de residencia (Rural): 2012-2019 (Porcentaje)

Área de residencia	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Rural	100	100	100	100	100	100	100	100
Red pública de alcantarillado	11.1	13.5	13.1	14.7	17	17.5	19.5	18.9
Dentro de la vivienda	10.6	13	12.8	14.3	16.5	16.8	19	18.2
Fuera de la vivienda *	0.5	0.5	0.3	0.4	0.5	0.7	0.5	0.7
Sin red de alcantarillado	88.9	86.5	86.9	85.3	83	82.5	80.5	81.1
Letrina	6.4	5.7	5.6	7.1	8	7.3	10	9.7
Pozo séptico	27.9	26.2	26.6	28.2	25.2	23.5	21.6	20.9
Pozo ciego o negro	23.6	23.8	25	20.3	23.1	25.7	24.9	27.1
Río, acequia o canal *	1.3	1.4	1.1	1.1	0.9	0.9	1.2	1.7
No tiene	29.7	29.4	28.5	28.6	25.8	25	22.8	21.7

Nota: * Los resultados son considerados referenciales porque el número de casos en la muestra para este nivel no es suficiente y representan un nivel de variación mayor al 15%.

Fuente: INEI y ENAHO (2020)

2.6. Efectos de la falta de saneamiento rural en el Perú

La OMS (2013) y el MVCS (2016b) declaran que la falta de acceso al agua potable y alcantarillado es uno de los principales factores que provocan la desnutrición crónica infantil y que esta realidad es más grave y más frecuente en las zonas rurales del país.

De acuerdo con el Programa Integral de Saneamiento y Agua Rural (PIASAR, 2017), en el Perú, 37 de cada 100 niños de las zonas rurales padecen de desnutrición crónica y existe una relación directa entre la ausencia de servicios de agua y saneamiento y el incremento de enfermedades diarreicas, además, es necesario resaltar que las poblaciones rurales mantienen en general prácticas poco saludables de higiene y uso del agua.

2.7. Opciones Tecnológicas en Saneamiento Rural

Tal como expresan la Guía de Opciones Técnicas para Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento para Centros Poblados del Ámbito Rural (MVCS, 2012) y la Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural, (MVCS, 2018), existen diversas tecnologías para solucionar los problemas existentes de saneamiento; no obstante, las tecnología empleadas deben ser concordantes con el entorno social, económico y ambiental de las poblaciones, pues estos constituyen los criterios básicos para a lograr la sostenibilidad de los sistemas de saneamiento.

Las opciones tecnológicas operan de dos maneras: unas con arrastre hidráulico y otras en un medio seco, sin arrastre hidráulico. En la Tabla 4 se muestran ambos tipos de soluciones:

Tabla 4: Soluciones para disposición de excretas

Tipo de Solución	Opción Tecnológica
UBS con arrastre hidráulico	UBS Tanque séptico
	UBS Biodigestor
UBS sin arrastre hidráulico	UBS Ecológica o Compostera
	UBS de Compostaje Continuo
	USB de Hoyo seco ventilado

Fuente: Adaptado de MVCS (2012, 2018).

2.7.1. Unidad Básica de Saneamiento sin Arrastre Hidráulico

Opciones tecnológicas que no requieren del uso de agua para el arrastre de las excretas. Se aplica para las Unidades Básicas de Saneamiento (UBS) tipo secas, tales como: compostera ecológica, la de compostaje continuo y la de hoyo seco ventilado.

a) Unidad Básica de Saneamiento Ecológica o Compostera (UBS-C)

La UBS-C, es una buena alternativa para disposición de excretas ante la presencia de suelo rocoso y nivel freático bajo, está compuesta por dos cámaras impermeables e independientes, que funcionan de manera alternada, donde se depositan las heces y se induce el proceso de secado por medio de la adición de tierra, cal o cenizas. Para tal efecto la orina debe ser separada de las heces y así facilitar su deshidratación. El control de humedad de las heces y su mezcla periódica con tierra, cal o cenizas, permite obtener cada doce meses un compuesto rico en materia orgánica con muy bajo contenido de microorganismos patógenos, así se puede utilizar como mejorador de suelos agrícolas (MVSC, 2018).

b) Unidad Básica de Saneamiento Compostaje Continuo (UBS-CC)

Cuando la zona sea inundable, de percolación lenta, o con nivel freático elevado, se utilizará la UBS-CC. Debido a que requieren poco o nada de agua, este tipo de sistemas puede proveer una solución a problemas ambientales y sanitarios en áreas inundables en zonas rurales. Su principio de funcionamiento es la descomposición biológica de la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas para producir compost, mientras se opere y mantenga el sistema adecuadamente. En este sistema no se requiere separar la orina de las heces. Cuenta con un tanque de polietileno de fondo inclinado, interiormente dividido por una mampara en dos cámaras conectadas entre sí, además dicho tanque recibe el excremento de la zona superior y permite la remoción del producto final desde el fondo (MVCS, 2012; PNSR, s. f.).

c) Unidad Básica de Saneamiento de Hoyo Seco Ventilado (UBS-HSV)

Cuando no sea técnicamente posible la implementación de las UBS de arrastre hidráulico o composteras, se usará la UBS-HSV siendo esta una solución sencilla para la disposición sanitaria de las excretas y una alternativa de saneamiento económica. Permite el confinamiento de excretas, orina y papel de limpieza anal en un hoyo ubicado bajo una losa y caseta. Una vez lleno el hoyo, la caseta sobre ella, debe trasladarse a otra ubicación. La taza especial que se utiliza permite que las excretas y orina caigan directamente dentro del hoyo. Este sistema cuenta con un conducto o tubo que conecta el hoyo con el exterior, cuya función es facilitar la expulsión de malos olores producto de la descomposición de excretas (MVCS, 2012; Tafur, 2019).

2.7.2. Unidad Básica de Saneamiento con Arrastre Hidráulico (UBS-AH)

Requieren del uso de agua para el arrastre de las excretas. La UBS-AH está compuesta por un baño completo (inodoro, lavatorio y ducha) con su propio sistema de tratamiento y disposición final de las aguas residuales. Para el tratamiento de las aguas residuales se deberá contar con un sistema de tratamiento primario: tanque séptico o biodigestor (MVCS, 2018).

a) Biodigestores

El MVCS (2012a), considera que el biodigestor es una estructura de forma cilíndrica, con dispositivo de entrada y salida, que permite el tratamiento de las aguas residuales.

Es un sistema que recibe las aguas residuales y estas son sometidas a un proceso denominado digestión anaeróbica, donde miles de microorganismos, en especial bacterias anaeróbicas, descomponen la materia orgánica a través de un filtro biológico. Tras la descomposición de los desechos sólidos generados por el biodigestor, en el contenedor se acumula un lodo no fétido que debe ser drenado y puede dejarse secar para ser usado como mejorador de suelo (Asociación Vivamos Mejor, 2017; MVCS, 2012a).

- **Tamaño elegido**

Dependiendo de la cantidad de habitantes de la vivienda se podrá decidir el tamaño del biodigestor a colocar (Rotoplas, 2015). En la Tabla 5 se muestran las capacidades de los biodigestores ofrecidos en el mercado.

Tabla 5: Capacidad de abastecimiento

Tipo de usuario	Aportación	600 L	1300 L	3000 L	7000 L
Zona Rural	130 L	5 personas	10 personas	25 personas	60 personas
Zona Urbana	260 L	2 personas	5 personas	10 personas	23 personas
Oficinas	30 L	20 personas	43 personas	100 personas	233 personas

Fuente: Rotoplas (2015)

- **Funcionamiento**

Rotoplas (2015), plantea que la depuración se realiza en tres simples etapas:

- Entrada de agua residual.
- Primera etapa: Separación de lodos y agua.
- Segunda etapa: Digestión anaerobia y paso a través de cama de lodos.
- Tercera etapa: Filtro anaerobio.
- Salida de agua tratada a pozo a tratamiento secundario

La esquematización del funcionamiento del biodigestor se visualiza en la Figura 1.

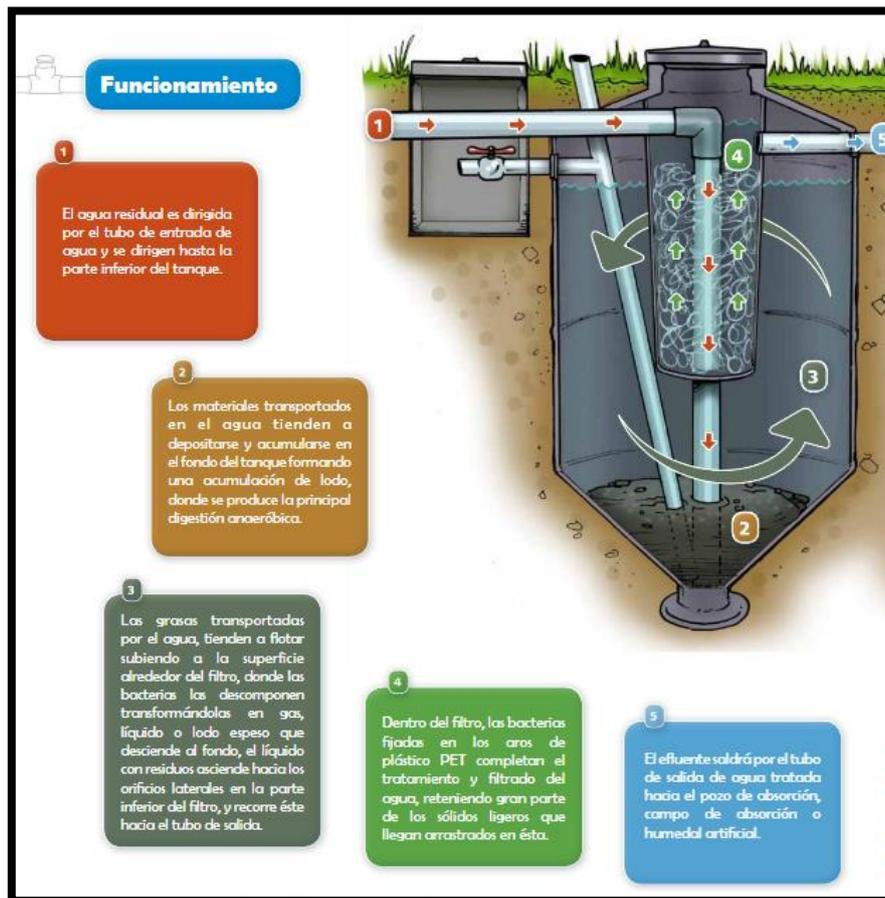


Figura 1: Funcionamiento de un biodigestor

Fuente: Adaptado de Asociación Vivamos Mejor (2017)

- **Beneficios.** Como indica Rotoplas (2015) tiene las siguientes ventajas:
 - Eficiente, su desempeño es superior al de un tanque séptico.
 - Es un sistema autolimpiable, se extraen los lodos con solo abrir una llave.
 - Sustentable, cuida el medio ambiente al prevenir la contaminación de mantos freáticos.
 - Es hermético e higiénico, ligero y fuerte, evita fugas, olores y agrietamientos, asimismo ofrece alta resistencia a impactos y a la corrosión.

b) Tanque Séptico

La Norma Técnica IS. 020, considera que el tanque séptico es una estructura o tanque de sedimentación simple, donde lodos sedimentados están en contacto con las aguas negras que entran al tanque, mientras los sólidos orgánicos se descomponen por acción bacteriana anaerobia (Figura 2).

• Funcionamiento

Las aguas residuales domésticas son dirigidas al tanque séptico mediante tuberías. El tanque séptico tiene dos zonas, en la primera llegan las aguas residuales y ocurre la sedimentación por gravedad de las partículas pesadas, estas van al fondo mientras que las partículas livianas y las grasas se acumulan en la parte superior. Dicho proceso requiere de un tiempo de retención mínimo de 6 horas y 72 horas como máximo, en este tiempo los sólidos sedimentables que se encuentren en el agua residual cruda forman una capa de lodo en el fondo del sistema. En esta misma unidad se da la etapa biológica de tratamiento por bacterias anaerobias, mecanismo importante para la remoción de la materia orgánica presente; el metabolismo bacteriano consiste en la utilización de la materia orgánica como fuente de energía y carbono para generar nueva biomasa, a partir de este proceso se forma un líquido con bajísima cantidad de sólidos que pasa por un tubo a la segunda unidad en la cual se da la sedimentación de la materia orgánica que no sedimentó en la primera unidad (Aguirre *et al.*, 2018).

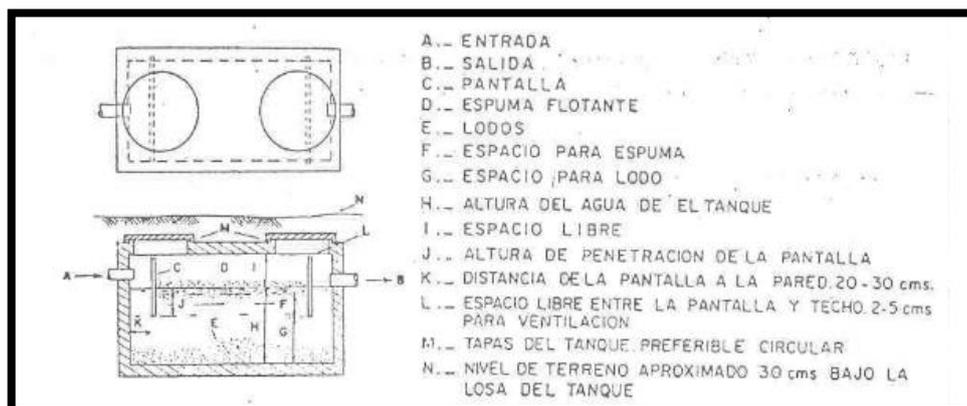


Figura 2: Esquema de un tanque séptico.

Fuente: MVCS (2012b)

2.8. Tratamientos Complementarios de las Aguas Residuales generadas en Zonas

Rurales

Como plantea el MVCS (2012a), tanto los biodigestores como los tanques sépticos constituyen unidades básicas de saneamiento, lo que significa que los efluentes de ambas tecnologías no poseen las cualidades físico-químicas u organolépticas adecuadas para ser descargados directamente a un cuerpo receptor de agua, o para ser reutilizados en riego, tal como lo indica en MVCS (2012b) en la Norma Técnica IS. 020. Por esta razón es necesario dar un tratamiento complementario al efluente, con el propósito de disminuir los riesgos de contaminación y de salud pública. Algunos de estos procesos complementarios son:

2.8.1. Zanjas de infiltración

Huffington (2018), explica que un campo de absorción o infiltración consiste en una serie de trincheras angostas, parcialmente superficiales rellenas habitualmente con grava u otro material poroso, con tuberías enterradas y agujereadas en la parte inferior, que reparten en el suelo el agua residual tratada, de manera homogénea, esto para complementar su tratamiento en el terreno, a través de los principios de geodepuración (Figura 3).

Como señala Contreras *et al.* (2013), pueden emplearse como un complemento del sistema para tratar efluentes de tanques sépticos, de reactores anaerobios, entre otros.

Para la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) (2003):

- Los campos de absorción deben tener mínimo dos líneas de distribución con la misma longitud y estar separados al menos 2.1m entre ellas.
- Para la instalación de zanjas de infiltración es necesario tener en cuenta ciertas especificaciones técnicas que permitan su adecuado funcionamiento y eviten impactos negativos en el terreno:
- El área de infiltración es determinada de acuerdo a la capacidad de absorción del suelo.
- La profundidad de la zanja depende de la topografía del terreno, y no puede ser menor que 0.5 m.
- El fondo de la zanja debe quedar por lo menos 2 m. por encima del nivel freático

- La pendiente de la tubería debe estar en un rango de 1.5 por ciento y 3 por ciento.
- La longitud de la zanja de infiltración se determina mediante la división del área de todo el campo de infiltración entre el ancho de la zanja

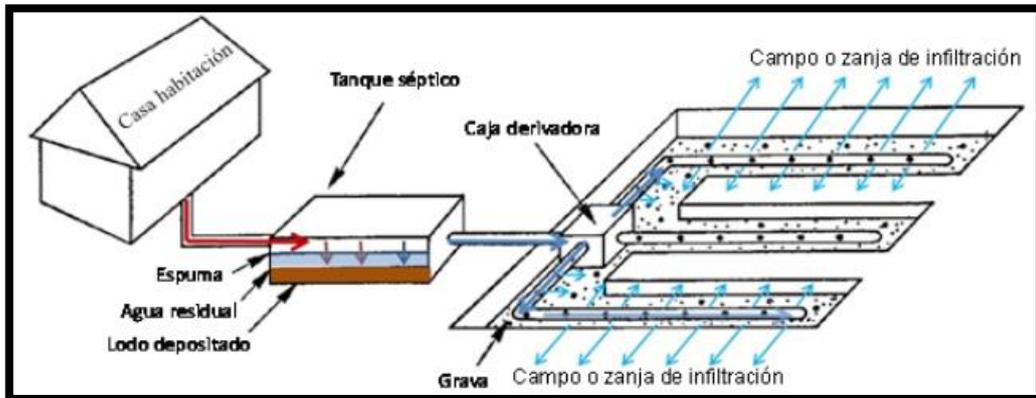


Figura 3: Campo o zanja de infiltración

Fuente: Contreras *et al.* (2013)

2.8.2. Humedales Artificiales

El Equipo de Humedales del Consejo Regulador de Tecnología Interestatal (ITRC, 2003), citado por Hoffman *et al.* (2011), define a los humedales artificiales como “sistemas de ingeniería, diseñados y artificiales para utilizar las funciones naturales de los humedales, de la vegetación, los suelos y de sus poblaciones microbianas para el tratamiento de contaminantes en aguas residuales”.

4.8.2.1. Componentes:

Para Iagua (2013) y Reija (2013), los componentes son:

- Agua a tratar: Es el afluente que circula a través del sustrato y la vegetación.
- Sustrato o material granular: Es el material que sirve de soporte a la vegetación y permite la fijación de la población microbiana que participa en los procesos de eliminación de contaminantes. Hoffmann (2011) afirma que la característica más importante en el diseño del HA FS es la permeabilidad del sustrato, pues esta debe ser suficiente para permitir el paso del agua a través de él.

- Vegetación: Son las plantas, principalmente macrófitas que contribuyen a la eliminación de nutrientes por fitoremediación y a la oxigenación del sustrato a nivel de la rizósfera. Desde el punto de vista de Münch (2009), “las plantas cumplen funciones importantes para el proceso de tratamiento, ya que proporcionan el ambiente apropiado para la fijación microbiana, el crecimiento y la transferencia de oxígeno a la zona de raíz, que es parte del lecho del filtro”.

4.8.2.2. Tipos de humedales artificiales

Se clasifican en función del régimen del agua en el humedal pudiendo ser de dos tipos:

a) Humedal artificial de flujo superficial (HA FS)

En estos humedales el nivel del agua se encuentra por encima de la superficie del lecho filtrante o sustrato y circula por encima de este continuamente. Al estar el agua directamente expuesta a la atmósfera, se favorecen las condiciones aerobias (Iagua, 2013).

La alimentación de estos humedales se realiza de forma continua y el tratamiento se da a través del paso del agua por las raíces, tallos y hojas. En la Figura 4 se presenta el esquema de un humedal de flujo superficial.

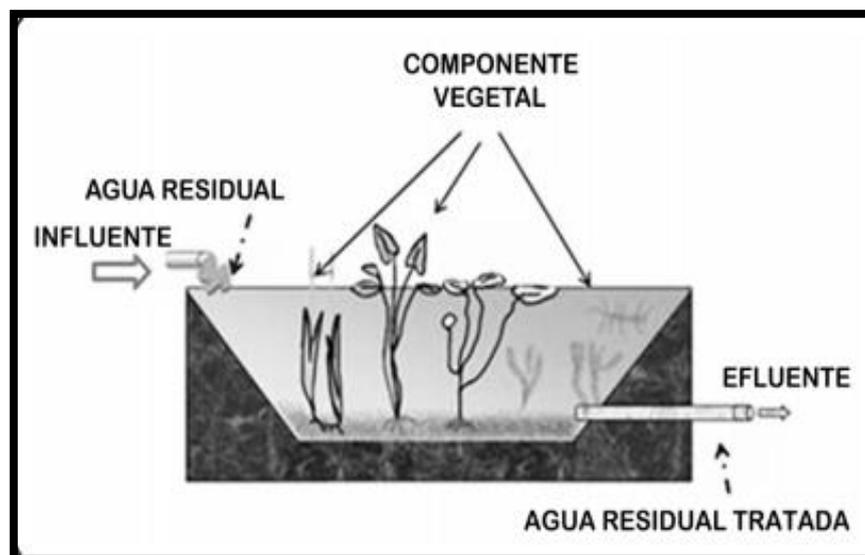


Figura 4: Esquema general del humedal artificial de flujo superficial

Fuente: Luna-Pavello y Aburto-Castañeda (2014)

b) Humedal artificial de flujo subsuperficial (HA FSS)

El nivel del agua se encuentra por debajo de la superficie del lecho filtrante, así el agua circula a través del sustrato. Este tipo de humedales presenta ciertas ventajas con respecto a los de flujo superficial, pues evita problemas de generación de malos olores y proliferación de insectos. En función del sentido del flujo, pueden ser de dos tipos: horizontales o verticales (Iagua, 2013; Reija, 2013).

Como plantea Vyzamal (2008), citado por Dotro *et al.* (2017), los humedales artificiales de flujo horizontal se utilizan para el tratamiento secundario y terciario de las aguas residuales domésticas.

En la Figura 5 se ilustra el esquema de un humedal artificial de flujo subsuperficial.

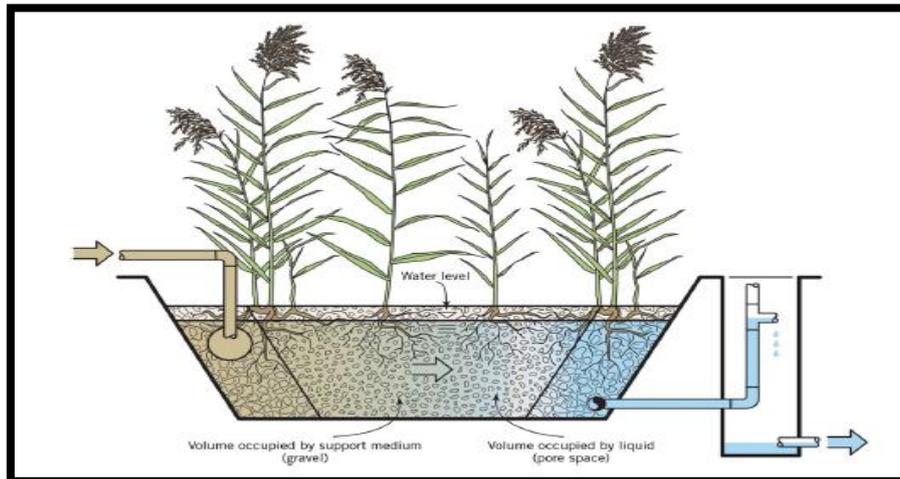


Figura 5: Esquema general de un humedal artificial de flujo subsuperficial

Fuente: Dotro *et al.* (2017).

2.8.3. Experiencias en el uso de biodigestores, tanques sépticos y humedales artificiales

En la literatura se ha podido identificar múltiples experiencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la utilización de diversas tecnologías, es de nuestro interés la utilización de biodigestores, tanques sépticos y humedales artificiales. A continuación, se presentan los resultados de algunas investigaciones:

- **Eficiencia de un Biodigestor en el Tratamiento de Agua Residual Domestica a nivel familiar en la Asociación “los Víquez” Carapongo - Lurigancho Chosica Lima – Ríos y Cisneros (2019).**

El objetivo de ambas investigaciones fue determinar la eficiencia de remoción de parámetros como DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales y coliformes termotolerantes. A continuación, en la Tabla 6 se muestran los resultados donde se observan eficiencias por encima del 82% en todos los parámetros:

Tabla 6: Eficiencia de un biodigestor instalado para el tratamiento de agua residual

Parámetros	Unidades	% de remoción
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	84.9
Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ /L	82
Sólidos Suspendidos totales	mg/L	89.5
Coliformes Termotolerantes	UFC/100 mL	97.3

Fuente: Ríos y Cisneros (2019).

- **Eficiencia del Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas mediante Biodigestor prefabricado en la subestación eléctrica Cotaruse – Apurímac – Mejía y Pérez (2016)**

El objetivo de esta investigación fue determinar la eficiencia de remoción de parámetros, entre ellos DBO y sólidos suspendidos totales. Además, se compararon los resultados con la eficiencia ofrecida por la empresa fabricante. A continuación, en las Tablas 7 y 8, se muestran los resultados de la misma:

Tabla 7: Resultados del agua residual no tratada y tratada – Diciembre 2016

Parámetros	Unidades	Entrada P-1	Salida P-2	% de remoción
Demanda bioquímica de Oxígeno	mg/L	204	113	44.60%
Sólidos suspendidos totales	mg/L	61.4	21.5	65%

Nota: *P-1: Punto de muestreo a la entrada del biodigestor (agua residual no tratada)

*P-2: Punto de muestreo a la salida del biodigestor (agua residual tratada)

Tabla 8: Resultados de la calidad de efluente comparando con la eficiencia ofrecida por la empresa fabricante del biodigestor.

Parámetro	Eficiencia ofrecida por la empresa	Eficiencia del biodigestor en Cotaruse	Cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno	40 - 60 %	44.60%	Sí
Sólidos Suspendidos Totales	60 - 80 %	65%	Sí

Fuente: Mejía y Pérez (2016)

- **Evaluación de la eficiencia de un sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HAFSSH), San Juan de Pasto – Colombia – Mena, 2014.**

El objetivo principal de este estudio fue evaluar la eficiencia de tratamiento de aguas residuales domésticas, implementando un sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal. Se llevó a cabo la evaluación del sistema mediante la medición y análisis de algunos parámetros de calidad como DBO₅, DQO, SST, nitrógeno total N, fósforo total P, grasas y aceites, coliformes totales y Escherichia Coli (Tabla 9).

Cabe señalar que la remoción de los contaminantes a través del sistema implementado en este estudio, garantizó un aprovechamiento óptimo y eficaz del recurso hídrico y la finalidad y uso de este recurso fue para riego de los cultivos y jardines presentes en el Colegio.

Tabla 9: Eficiencia de remoción del Humedal Artificial Horizontal de Flujo Subsuperficial

Parámetro	Eficiencia HAFSSH (%)
DBO₅	93.89
DQO	84.98
SST	84.35
P	96.9
Coliformes totales	99.99
Coliformes fecales o termotolerantes	99.90
E. Coli	99.97

Fuente: Adaptado de Mena (2014) y Lapa (2014)

La tabla 10 muestra la eficiencia de remoción de patógenos de los humedales artificiales según la OMS (2006).

Tabla 10: Remoción de patógenos en unidades logarítmicas* en humedales artificiales

Virus	Bacterias	Quistes Protozoarios	Huevos de helmintos
(1-2)	(0.5-3)	(0.5-2)	(1-3)

Nota: *Una unidad logarítmica de reducción está definida como \log (concentración inicial de patógenos/concentración final de patógenos). Entonces 1 unidad logarítmica de reducción = 90% de reducción, 2 unidades logarítmicas de reducción = 99% de reducción, 3 unidades logarítmicas de reducción = 99.9% de reducción y así sucesivamente

Fuente: OMS (2006).

Empleando las palabras de Feachem *et al.* (1981) e International reference centre for community water supply and sanitation [IRC] (1987), como se citó en Peña *et al.* (2003):

La información sobre remoción de patógenos en HFS (Humedales de flujo subsuperficial) es muy limitada. Los principales mecanismos de remoción son la filtración, sedimentación, predación, decaimiento y baja concentración de sustrato. Debido a que los HFS tienen una baja carga hidráulica y un tiempo de retención hidráulico relativamente grande, se pueden esperar remociones de hasta cuatro unidades logarítmicas (99.99%) para bacterias en sistemas adecuadamente operados. Así mismo, se reporta remoción completa de huevos de Helmintos

Uso de Wetlands para el tratamiento y reúso de aguas residuales domésticas Maldonado (2005).

En esta investigación se evaluó la eficiencia de tratamiento de aguas residuales domésticas, implementando un sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal. Los parámetros evaluados fueron los típicos: DBO₅, DQO SST, P, N, turbiedad, bacterias y parásitos. Los valores obtenidos son similares a los resultados de Mena (2014), por ello, para propósitos de esta tesis, se tomó mayor importancia a los resultados obtenidos con respecto a los parásitos, específicamente a los huevos de helmintos.

- **Remoción de helmintos**

En el ingreso al sistema, los huevos de ascaroideos presentan valores máximos de 36 huevos/L (abril 2004) y mínimo de 2,80 huevos/L (enero 2004); mientras que a la salida del sistema se reportaron valores máximos de 1 huevo/L (este valor predominó el 50 por ciento de los monitoreos realizados), mínimo de 0 huevos/L (este último valor predominó el 50 por ciento de los monitoreos realizados)

En el caso de huevos de *Hymenolepis nana* se encuentran valores en el ingreso al sistema máximos de 36 huevos/L (setiembre 2004) y mínimos de 1 huevo/L (enero 2004); mientras que a la salida del sistema se reportó un valor máximo de 1 huevo/L (este último valor predominó el 50 por ciento de los monitoreos realizados) y mínimo de 0 huevos/L (este último valor predominó el 50 por ciento de los monitoreos realizados).

Los huevos de *Trichuris trichiura*, presentan valores máximos de 12 huevos/L (mayo 2004) y mínimo de 4 huevos/L (enero 2004) en el ingreso al sistema; mientras que a la salida se reportó el valor máximo de 1 huevo/L (enero 2004) y mínimo de 0 huevos/L (este último valor predominó el 80 por ciento de los monitoreos realizados).

El monitoreo de huevos de *Áscaris lumbricoides* se realizó por única vez, encontrándose que en el ingreso al sistema existían 11 huevos/L (noviembre 2004), mientras que a la salida se encontraron 0 huevos/L.

2.9. Situación del tratamiento de aguas residuales en el Perú

El Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Ámbito de Operación de las Empresas Prestadoras de Servicio (EPS), publicado por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS, 2022), concluyó que en las plantas existentes hay fallas de diseño y construcción e inadecuada operación y mantenimiento de las mismas. Lo que requiere capacitación y dotación de personal especializado; no obstante, a pesar de la ineficiente calidad de tratamiento de aguas residuales presentes en el país, se observó un incremento del 11 por ciento en la cantidad de agua residual tratada entre 2016 y 2020.

La cobertura nacional de tratamiento de aguas residuales domésticas sería de 72 por ciento, valor que puede ser considerado relativamente alto debido a que en la costa llega al 95 por ciento. Sin embargo, esta cobertura es bastante baja en la sierra y selva en donde solo alcanzan 25 y 32 por ciento del agua residual generada en estas zonas (ANA, 2016).

2.9.1. Porcentaje de agua residual tratada en los ámbitos Urbano y Rural

La cobertura reportada por SUNASS (2016), como se citó en MVCS (2017) muestra que para el 2016, el tratamiento de aguas residuales en el ámbito urbano alcanzó un 68 por ciento, con una producción de aguas residuales de 1000 millones de metros cúbicos, mientras que,

para el mismo año para el ámbito rural, se estimaron 15.5 millones de metros cúbicos de aguas residuales, pero 0% en cuanto al tratamiento de las mismas. En la Tabla 11 se visualizan las proyecciones para el tratamiento de agua residual en el Perú tanto en el ámbito urbano como rural del 2022 al 2030.

Tabla 11: Proyecciones en el incremento del tratamiento de aguas residuales en el Perú y servicio de alcantarillado 2022-2030

Cobertura proyectada	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2030
Urbano	71%	74.4%	78.4%	79.3%	79.7%	80.3%	81.8%
Rural	68.1%	68.5%	69.2%	69.9%	70.6%	71.4%	73.8%
Total	69.7%	72.5%	75.9%	76.3%	76.5%	76.6%	77.1%

Fuente: SUNASS (2022)

2.10. Reúso de aguas residuales tratadas en agricultura

Se entiende por reúso al hecho de volver a utilizar directa o indirectamente las aguas residuales (Figura 6). El reúso directo ocurre cuando las aguas residuales tratadas o sin tratar son utilizadas directamente en el riego agrícola u otra actividad. En cambio, el uso indirecto ocurre cuando los desagües se descargan a los cuerpos receptores que luego son utilizados para las diferentes actividades (ANA, 2016).

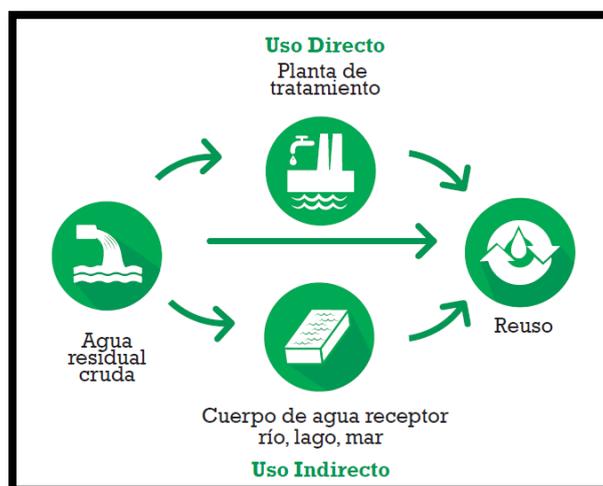


Figura 6: Tipos de reúso de aguas residuales.

Fuente: ANA (2016)

El reúso directo o indirecto posee ventajas y desventajas, por un lado, supone una fuente adicional para la irrigación; no obstante, por otro lado, un inadecuado manejo podría conllevar a riesgos sanitarios debido a la presencia de gérmenes, patógenos y otros. En

América Latina y en el resto del mundo, la reutilización indirecta es mucho mayor que la reutilización directa y planificada (FAO, 2017; Pizarro, 1996).

La FAO y el International Water Management Institute (IWMI), revelan que apoyar la reutilización de aguas para una agricultura sostenible, productiva y saludable es una importante contribución a la Agenda 2030. Sin embargo, su puesta en marcha, requiere de medidas para evitar riesgos para la salud humana y el medio ambiente (FAO, 2017).

En este contexto la OMS publicó las Guías para el Uso Seguro de Aguas Residuales, Excretas y Aguas Grises (OMS, 2006), cuyo objetivo es maximizar la protección a la salud humana. En el volumen 2: “Uso Seguro de Aguas Residuales en Agricultura” aborda el conocimiento actual respecto al uso de aguas residuales en el contexto agrícola, se identifican los riesgos que su uso conlleva y el impacto en la salud de los grupos expuestos, a partir de estos se discuten las medidas de protección para mitigar estos riesgos.

2.10.1. Beneficios de la Reutilización de Aguas Residuales Tratadas

a) En agricultura

Desde el punto de vista de la FAO (2017), la reutilización de estas aguas ofrece múltiples beneficios para la agricultura, entre ellos que constituye una fuente constante de agua todo el año y, además, que incluye valiosos nutrientes aprovechables por las plantas para su desarrollo, siempre y cuando se adopten medidas de mitigación de riesgo para la salud y el medio ambiente.

Sobre el uso directo en el Perú, ANA (2016) sostiene que el 43 por ciento de las PTAR existentes entregan sus efluentes para el riego agrícola y otro 4 por ciento al riego de áreas verdes urbanas, mientras que el 26 por ciento de las aguas residuales sin tratar son descargadas directamente a los ríos. En la Figura 7 se visualiza la comparación de los caudales tratados y de los efluentes utilizados para el riego en las regiones del Perú.

En el Perú existen experiencias que demuestran que el riego con aguas residuales tratadas logra mayor productividad agrícola que el riego con aguas convencionales, es el caso de Tacna, cuyos agricultores que regaban con aguas residuales tratadas lograban hasta 250 por ciento más de cosechas que cuando regaban con aguas de pozo ocasionalmente mezcladas con fertilizantes (Tabla 12).

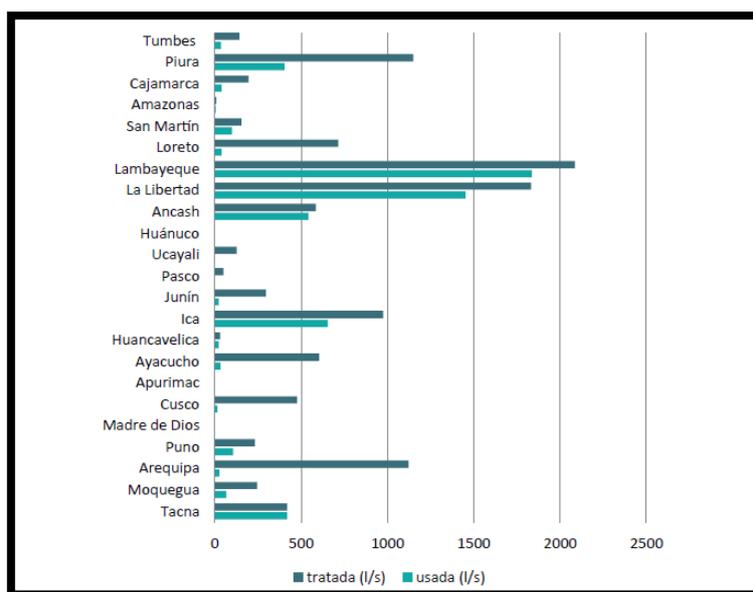


Figura 7: Comparación de los caudales tratados y de los efluentes utilizados para el riego en las regiones del Perú (sin Lima y Calló). Fuente: ANA (2016)

Tabla 12: Incremento de la producción agrícola por el uso de aguas residuales en Tacna Perú (Toneladas métricas por hectárea).

Cultivo	Aguas residuales tratadas	Agua de pozo + Fertilizantes
Alfalfa	12	10
Maíz	5	2
Trigo	3	2
Cebada	4	2
Avena forraje	22	12
Tomate	35	18
Ají	12	7
Papa	30	12

Fuente: ANA (2016), citado por FAO (2017)

b) En el medio ambiente

El medio ambiente en su conjunto, y principalmente los ecosistemas acuáticos, pueden ser beneficiados con el tratamiento y reutilización segura de las aguas residuales, pues estos pueden mejorar la calidad del agua y aumentar su disponibilidad para posteriores usos ambientales, además, los sistemas de reutilización asociados a la agricultura y agro-silvicultura tienen un alto potencial de secuestro de carbono y, por ende, de mitigación del cambio climático (FAO, 2017).

2.10.2. Riesgos de la Reutilización de Aguas Residuales sin tratamiento adecuado

A pesar de todos los beneficios del reúso de aguas residuales en agricultura, un manejo inadecuado podría generar riesgos para el ambiente, la salud de las personas en contacto directo con el agua y para los consumidores de los productos regados con esta (FAO, 2017).

Desde la posición de Asano y Levine (1998), citado por Díaz *et al.* (2003), en los lugares donde el agua es reutilizada, el factor de riesgo más importante está asociado con la exposición a los agentes biológicos existentes que incluyen bacterias patógenas, helmintos, protozoos y virus entéricos. La Tabla 13 muestra una relación de los principales agentes patógenos potencialmente presentes en las aguas residuales utilizadas en el riego agrícola y que son causantes de las principales enfermedades entéricas de la población.

Tabla 13: Principales agentes infecciosos presentes en las aguas residuales domésticas usadas en el riego agrícola.

AGENTE PATÓGENO	ENFERMEDAD
Bacterias	
Shiguella spp.	Shigelosis (disentería bacilar)
Salmonella typhi	Fiebre tifoidea
Vibro cholerae	Cólera
Escherichia coli (entero patógeno)	Gastroenteritis y septicemia, síndrome urémico hemótico
Yersenia enterocolítica	Yersiniosis (enterocolitis)
Campylobacter jejune	Gastroenteritis, artritis reactiva
Protozoos	
Entamoeba histolytica	Amebiasis (disentería amebiana)
Giardia liamblia	Gardiasis (gastroenteritis)
Cryptosporidium	Criptosporidiosis, diarrea, fiebre
Microsporidia	Diarrea
Helmintos	
Ascaris lumbricoides	Ascariasis (infección por lombrices)
Ancylostoma (spp.)	Larva migrans cutáneo (infección por anquiostomas)
Strongloides stercoralis	Estrongiloidiasis (infección por nemátodos)
Tenia (spp.)	Teniasis (infección por tenia)
Virus	
Enterovirus	Gastroenteritis, anomalías cardíacas, meningitis, otras
Virus de hepatitis A y E	Hepatitis infecciosa
Adenovirus	Enfermedad respiratoria, infecciones oculares, gastroenteritis
Rotavirus	Gastroenteritis
Parvovirus	Gastroenteritis

Fuente: ANA (2016)

Según Díaz *et al.* (2003) es difícil identificar todos los microorganismos existentes en un agua residual, por ello se trabaja con organismos indicadores, estos tienen un comportamiento similar a los patógenos, pero son más económicos y fáciles de identificar. Así, los coliformes fecales (o coliformes termotolerantes), se han seleccionado como indicadores de contaminación fecal debido a su alta concentración en las muestras.

2.10.3. Mitigación del riesgo y medidas de control para la protección a la salud

ANA (2016) manifiesta que el tratamiento y reúso de aguas residuales en el riego agrícola y de áreas verdes podría constituir un riesgo potencial para la salud de algunos grupos expuestos a través de ciertas rutas de exposición (Tabla 14).

Tabla 14: Grupos expuestos a riesgo y rutas de exposición.

Grupo expuesto	Rutas de exposición
Consumidores	Ingestión de alimentos contaminados regados con aguas residuales tratadas.
Trabajadores que operan las plantas de tratamiento y trabajadores agrícolas	Contacto dérmico con aguas residuales. Ingestión por contacto directo con aguas residuales que luego se introducen a la boca.
Usuarios que realizan actividades recreativas en áreas regadas con aguas residuales tratadas	Ingestión por contacto directo de manos con césped regado con aguas residuales que luego se introducen a la boca.
Comunidades vecinas	Inhalación de gases y olores desagradables.

Fuente: Adaptado de OMS (2006)

De acuerdo con ANA (2016) y Silva (s. f.), existen metas basadas en la salud planteadas por la OMS que definen el nivel de protección a la salud ante cada peligro relacionado al reúso de aguas residuales tratadas (Bacterias, protozoos, helmintos, virus). La meta de salud se basa en una medida estándar de enfermedad, el AVAD (Año de Vida Ajustado por Discapacidad, Año de Vida Vivido con Discapacidad) o AVISA (Año de Vida Saludable Perdido), el cual es un indicador cuantitativo de “carga de enfermedad” que se ve reflejado en la reducción de la calidad de vida o en la cantidad de vida saludable que se pierde, a causa de alguna discapacidad o mortalidad prematura. Se utiliza una meta de 10^{-6} AVAD, esta es definida como la carga estimada de enfermedad asociada con una diarrea leve (con una tasa de mortalidad de 1×10^{-5}), a un riesgo de enfermedad de 1 en 1000 (siendo 1 en 10 el riesgo

de enfermedad a lo largo de la vida), esta meta es mucho menor que la incidencia actual de diarrea a nivel mundial que es 0.7×10^{-1} .

a. Restricción de cultivos

ANA (2016) señala que la restricción de los cultivos es otra medida muy utilizada para la aplicación de riego con aguas residuales tratadas. Para ello la OMS (1989) clasificó el riego en tres categorías. En la Tabla 15 se observan dichas categorías y en la Tabla 16, los grupos expuestos y las calidades requeridas en cuanto al contenido de nematodos y coliformes fecales o termotolerantes, así como las metas de salud para cada categoría propuesta por la OMS.

Tabla 15: Clasificación de cultivos según la OMS

CATEGORÍA	CARACTERÍSTICAS	CULTIVOS
A: Riego irrestricto	Si el agua residual tratada logra alcanzar las calidades exigidas, para no generar daños a la salud, se puede utilizar estas aguas para todo tipo de cultivo.	Cultivos de consumo crudo Piscicultura Campos deportivos Parques públicos
B: Riego restringido	Cuando se trata de efluentes con calidad más baja, para cultivos menos exigentes porque se consumen cocidos o procesados o no se consumen.	Forestación Cereales industriales Frutales Forrajes
C: Riego localizado de cultivos de categoría B	Que vendría a ser el riego localizado en cultivos de categoría B.	Cultivos de tallo bajo Cultivos de tallo alto

Fuente: Adaptado de OMS (1989)

Tabla 16: Metas de salud para uso de aguas residuales tratadas en agricultura y calidades microbiológicas recomendadas por categoría

Categoría	Condiciones de aprovechamiento	Grupo expuesto	Meta de salud (AVAD per cápita por año)	Reducción Log 10 de patógenos requerida ^a	Coliformes fecales (media geométrica n° por 100 mL) ^e	Número de huevos de Helminto por litro)
A	Riego de cultivos que comúnmente se consumen crudos, campos de deporte, parques públicos.	Trabajadores, consumidores públicos	$\leq 10^{-6}$	De 6 a 7	≤ 1000	$\leq 1^{b,c}$
B ^a	Riego de cultivos de cereales industriales y forrajeros, praderas y árboles	Trabajadores	$\leq 10^{-6}$	De 3 a 4	Sin recomendación	$\leq 1^{b,c}$
C	Riego localizado de cultivos de categoría B tallo alto	Ninguno	$\leq 10^{-6}$	2	No es aplicable	Sin recomendación
	Riego localizado de cultivos de categoría B tallo bajo	Ninguno	$\leq 10^{-6}$	4	No es aplicable	$\leq 1^c$

Notas:

a: Reducción de rotavirus. Para el riego por goteo y no restringido, la meta de salud puede ser alcanzada por una reducción de patógenos de 6 a 7 unidades logarítmicas (obtenida por una combinación de tratamiento de aguas residuales y otras medidas de protección para la salud, incluyendo una reducción estimada de patógenos de 3 – 4 unidades logarítmicas como resultado de la tasa de mortalidad natural de patógenos bajo condiciones de campo y la remoción de patógenos del cultivo por lavado y enjuague normal doméstico; por riego restringido, se alcanza por una reducción de patógenos de 2 – 3 unidades logarítmicas.

b: Cuando están expuestos niños menores de 15 años, se debe de usar medidas de protección de salud adicional (por ejemplo, tratamiento a menos o igual de 0.1 huevos por litro, equipo protector como guantes o zapatos/botas o quimioterapia).

c: Se debe de determinar, a través del período de riego, la media aritmética. El valor medio de menor o igual a 1 huevos por litro debe ser obtenido para al menos el 90 % de las muestras, para permitir valores ocasionalmente altos (por ejemplo < 10 huevos por litro). El tiempo de retención puede ser utilizado como un sustituto, con algunos procesos de tratamiento de aguas residuales (lagunas de estabilización), para asegurar su cumplimiento.

d: No se debe de recoger los cultivos del suelo.

e: Durante el periodo de riego.

Tal como lo menciona la OMS (2006), existen diferentes medidas llamadas a proteger la salud de los grupos expuestos y así poder lograr estas metas, las medidas recomendadas por la OMS son:

- Tratamiento de las aguas residuales y los lodos.
- Control del uso de las aguas residuales, mediante la restricción de cultivos y el uso de métodos de riego más seguros.
- Muerte de patógenos entre la última irrigación y el consumo: El intervalo entre el último riego y el consumo reduce los patógenos en aproximadamente 1 unidad logarítmica por día; no obstante, esta reducción depende de las condiciones climáticas: 2 unidades logarítmicas por día en climas calientes y secos y 0.5 unidades logarítmicas por día en climas fríos o húmedos sin mucha exposición de luz solar directa. Esta situación debería ser tomada en cuenta cuando se realiza la selección de la combinación de tratamientos de agua residual y otras medidas de protección.
- Medidas de preparación de alimentos (lavado, desinfectado, pelado, cocido).
- Control de la exposición humana.
- Fomento de la higiene.

b. Medidas de preparación de alimentos (lavado, pelado, desinfectado, cocción)

Un adecuado lavado con agua de grifo en superficies rugosas de cultivos y vegetales consumidos sin cocinar, reduce las bacterias en al menos 1 unidad logarítmica y en los cultivos de superficie lisa, la reducción es de aproximadamente 2 unidades logarítmicas, asimismo un lavado con una solución desinfectante y enjuagado con agua de grifo puede reducir de 1 a 2 unidades logarítmicas de patógenos. Adicional a ello, el pelado de frutas y vegetales de raíz reduce al menos 2 unidades logarítmicas de patógenos, y la cocción logra una completa reducción (de 5 a 6 unidades logarítmicas) de patógenos.

c. Control de exposición humana

Para ANA (2016), el agua residual inadecuadamente tratada además de poner en riesgo a los consumidores de los productos regados, también podría poner en riesgo a los agricultores y operadores de los sistemas de tratamiento. De esta manera es posible evitar el contacto directo con los agentes patógenos que podrían estar presentes en aguas residuales, a través de las siguientes medidas preventivas:

- Prohibir el contacto directo con las aguas residuales, especialmente las crudas.
- Usar ropa protectora: botas, guantes y ropa de trabajo.
- Prácticas de higiene: ducha luego de la faena, lavado de manos antes de comer.
- Usar productos desinfectantes, especialmente en manos.
- Vacunación contra determinadas enfermedades locales.

d. Técnicas de aplicación de agua residual basadas en la protección a la salud

Existen algunos métodos de aplicación de riego con aguas residuales tratadas (anegamiento, surcos, goteo, aspersión). La elección del método de aplicación puede impactar en el estado de salud de los grupos expuestos.

Desde el punto de vista del MVCS (2006a), en la Norma OS. 090, Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, la aplicación del agua residual sobre el terreno y reúso agrícola está incluida entre "otros tipos de tratamiento existentes". La aplicación en el terreno de aguas residuales pre tratadas es un tipo de tratamiento que puede o no producir un efluente final. Si existe reúso agrícola se deberá cumplir con los requisitos de la legislación vigente, en este caso la normativa dictada en las guías OMS del 2006.

Las Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura de la OMS (1989) y el volumen II de las guías de la Organización Mundial de la Salud: Uso Seguro del Agua Residual en Agricultura (OMS, 2006) ratifican que la elección del método de aplicación de riego puede impactar el estado de salud de los agricultores y comunidades cercanas. Por lo tanto, el agua de riego que incluye las aguas residuales tratadas o no, puede utilizarse en la tierra de las formas generales indicadas líneas abajo (Tabla 17).

Tabla 17: Técnicas de aplicación de agua residual basadas en la protección a la salud

Técnica de Irrigación	Detalle	Factores de selección	Medidas especiales para aguas residuales
Inundación	Se humedece casi toda la superficie del terreno.	Bajo costo No requiere nivelación exacta	Protección exhaustiva para trabajadores del campo, manipuladores de cultivo y consumidores.
Surcos	Sólo se humedece parte de la superficie del suelo.	Bajo costo Nivelación puede ser necesitada	Protección exhaustiva para trabajadores del campo, manipuladores de cultivo y consumidores. Uso de prendas protectoras
Aspersión	El riego se da de la misma forma que con la lluvia. Tiene el mayor potencial para propagar la contaminación en las superficies de los cultivos y afectar a las comunidades cercanas.	Eficiencia media (70-80%) Nivelación no requerida Producción de olores molestos	Algunos cultivos como frutales son propensos a contaminación. Mínima de distancia de 50 a 100 m de casas y pistas para prevenir impactos adversos en la salud de las comunidades locales
Goteo	Se humedece gradualmente la zona de la raíz de cada planta, por ello ofrece a los agricultores la más alta protección	Altos costos Alta eficiencia de uso de agua (80-90%) Reducción de patógenos 2 a 6 unid log Potencial para reducción significativa de contaminación de cultivos	Es recomendable usar tratamientos de filtración para prevenir el atascamiento de los emisores. Norma OS. 090, para este tipo de riego se requiere una profundidad del nivel freático mínima de 1,5 m.

Fuente: Adaptado de OMS (2006)

En la Tabla 18 se observan las medidas de control de protección a la salud sugeridas por la OMS, así como la remoción de patógenos en unidades logarítmicas logradas por cada una de estas.

Tabla 18: Remoción de patógenos (Unidades logarítmicas) logradas por las medidas de control de protección a la salud

Medida de Control	Remoción de patógenos (unidades log)	Comentarios
Tratamiento	1 – 5	La remoción de patógenos requerida depende de la combinación selectiva de medidas de control para la protección para la salud
Riego por goteo en cultivos de bajo crecimiento	2	Tubérculos y hortalizas, como lechuga, que crecen justo sobre el suelo con contacto parcial
Riego por goteo en cultivos de alto crecimiento	4	Cultivos en los que las partes a cosechar no están en contacto con el suelo
Control de emisores de aspersores	1	Uso de micro aspersores, aspersores controlados por anemómetros, aspersores de flujo hacia adentro
Zona de amortiguamiento del rocío de los aspersores	1	Protección de residentes cerca del área de influencia del rocío emanado por la aspersión. La zona de amortiguamiento debe ser de 50 a 100 m.
Muerte natural de patógenos	0.5 – 2	Muerte natural en la superficie del cultivo que ocurre entre el último riego y el consumo. La reducción logarítmica depende del clima (temperatura, intensidad solar, tipo de cultivo, etc).
Lavado de producto	1	Lavado con agua limpia de cultivos para ensalada, vegetales y frutas
Desinfección de producto	2	Lavado con un desinfectante ligero y agua limpia de cultivos para ensalada.
Remoción de cáscara	2	Cultivos de frutas o de raíz.
Cocimiento	5 – 6	Se asegura la destrucción de patógenos por la inmersión del cultivo en agua hirviendo hasta que esté cocinado.

RIEGO DE FORRAJES Y CULTIVOS PARA SEMILLAS

Control de acceso	0.5 - 2	Restringir la entrada en el campo de regadío durante 24 horas o más después del riego, por ejemplo, los animales que entran en los pastos o los trabajadores que acceden a los campos.
	2 - 4	Restricción de la entrada en el campo de regadío cinco días y más después del riesgo
Secado al sol de cultivos forrajeros	2 - 4	Cultivos forrajeros y otros cultivos secados al sol y cosechados antes de su consumo

Fuente: Modificado de Comisión Europea (2022), adaptado del cuadro 2 de la norma ISO 16075:2020 y OMS (2006)

Asano *et al.* (2007), citado por Jaramillo (2014), manifiesta que: “para alcanzar los objetivos de tratamiento para reúso en agricultura, es necesario implementar sistemas de tratamiento que sean técnica y socioeconómicamente factibles en el contexto local”.

2.10.3.1. Barreras múltiples

Considerando los riesgos que conlleva la reutilización del agua residual tratada en riego, existen lineamientos que se deben seguir para asegurar que el reúso de aguas residuales tratadas sea higiénicamente seguro para los consumidores de los cultivos, así como para los trabajadores que están en contacto permanente con estas aguas. Las normas internacionales para la reutilización y una explicación del concepto de “Barreras múltiples” se pueden encontrar en la OMS (1989), OMS (2006) y norma ISO 16075 citadas por la Comisión Europea (2022). Este consiste en habilitar una serie de medidas para proteger la salud, a través de la cadena de reúso de las aguas residuales tratadas o parcialmente tratadas, pues no solo se centra en la calidad de las aguas residuales. De esta manera, ANA (2016) sostiene que un tratamiento parcial de las aguas residuales podría ser suficiente si se combina con otras medidas de control para la protección a la salud y lograr el objetivo de 10^{-6} AVAD (Figura 8).

Como mencionó ANA (2016), estas barreras son instauradas a lo largo de la cadena de reúso, por ejemplo, podrían ser colocadas en los siguientes puntos:

- Puntos de generación de aguas residuales: plantas de tratamiento o de vertimiento
- Parcelas agrícolas: técnicas seguras de riego, restricción de cultivos y uso de reservorios de sedimentación.
- Mercados: prácticas higiénicas como lavado de los productos
- A nivel del consumidor: lavado, desinfección, pelado, cocinado.

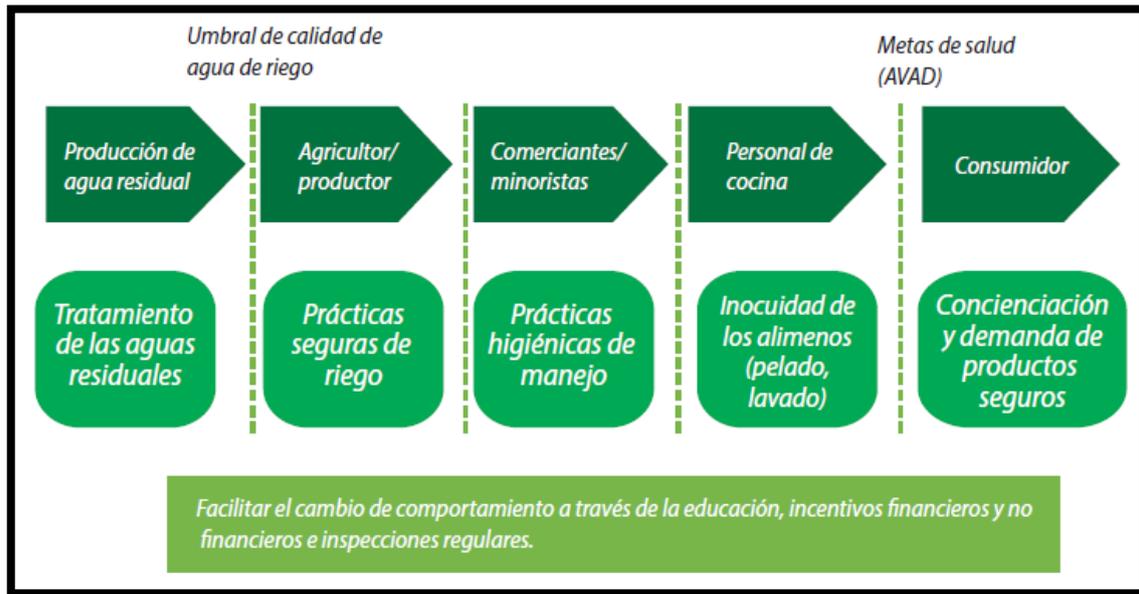


Figura 8: Barreras múltiples para el uso de las aguas residuales

Fuente: ANA (2016)

Como expresa ANA (2016), el uso y combinación de estas medidas de mitigación depende del contexto en el cual se llevaría a cabo la reutilización del agua residual tratada y una combinación adecuada debería ser suficiente para lograr un nivel de riesgo aceptable. Sin embargo, tal como indica Tarchitzky (2020), cuyas notas se basan en la OMS (2006) y en la USEPA (2012), existe una clasificación del agua residual tratada en base a su calidad (Tabla 19).

Tabla 19: Calidad de las aguas residuales tratadas sugeridas en base a parámetros químicos, físicos y biológicos

Tipo de agua residual tratada	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	Turbiedad (NTU)	Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	Nemátodos intestinales (Huevos/L)
Muy alta calidad	≤ 5	≤ 5	≤ 2	≤ 10	-
Alta calidad	≤ 10	≤ 10	-	≤ 200	-
Buena calidad	≤ 20	≤ 30	-	≤ 1000	≤ 1
Calidad media	≤ 60	≤ 90	-	-	≤ 1
Tratada en instalaciones extensivas	≤ 20	-	-	-	≤ 1

Fuente: Tarchitzky (2020)

Asimismo, según el mismo autor, existe un número recomendado de barreras necesarias según la calidad de agua residual tratada, en la Tabla 20 puede observarse que el número de barreras necesarias depende tanto de la calidad como del destino final del reúso.

Tabla 20: Número de barreras necesarias según calidad de agua residual tratada según la experiencia práctica

Tipo de agua residual tratada	Parques y jardines con acceso público sin restricciones	Vegetales consumidos crudos	Verduras a ser procesadas y pasturas	Cultivos alimenticios que no sean vegetales (huertos, viñedos) y horticultura	Parques y jardines con acceso público restringido	Forraje y cultivos para semilla	Cultivos industriales y energéticos
Muy alta	0	0	0	0	0	0	0
Alta	1	1	0	0	0	0	0
Buena	Uso prohibido	3	2	1	1	0	0
Media	Uso prohibido	Uso prohibido	Uso prohibido	3	2	1	0
Tratamiento extensivo	Uso prohibido	Prohibido usar	2	2	2	0	0
No tratadas	Uso prohibido	Uso prohibido	Uso prohibido	Uso prohibido	Uso prohibido	Uso prohibido	Uso prohibido

Fuente: Tarchitzky (2020)

2.10.3.2 Tratamiento y disposición de lodos

El lodo residual es el subproducto de un tratamiento primario como tanque séptico y biodigestor, es un material que puede ser aprovechado como abono de plantas y hasta mejorador de suelo si se lo maneja adecuadamente (Rotoplas, 2015).

Un proceso efectivo para el tratamiento de lodos es la estabilización con cal, que consiste en la adición de una cantidad suficiente de cal para elevar el pH a más de 12, por un mínimo de 2 horas, esto consigue una gran reducción de patógenos y de esta manera puede hacerse uso directo del lodo estabilizado (Miglio, 2022).

La estabilización con cal es un proceso muy simple y de bajo costo de operación, cuya ventaja es la destrucción de patógenos como salmonela y coliformes en la torta del lodo, conforme con los estudios realizados por la planta de aguas residuales de Carolina del Sur en 1967 citados en García (2003), los resultados obtenidos fueron: desinfección de la torta de lodos con un pH alto, desecación de la torta, eliminación de malos olores, destrucción de parásitos y utilización del producto con fines agrícolas. La RM N°015-2017 Vivienda: Reglamento para reaprovechamiento de lodos generados en PTAR, plantea que a este lodo estabilizado se le conoce con el nombre de biosólido.

En base a la información de Rotoplas (2015), los criterios de seguridad que deben tomarse en cuenta son:

- Utilización de cal suficiente para su desinfección, cantidad encontrada en la tabla de dicha ficha técnica.
- El lodo a reutilizar debe estar seco.
- No usar el lodo para hortalizas.
- Utilizar protección personal al momento de usarlo y evitar el contacto con los niños.

Teniendo en cuenta estos criterios de seguridad, García (2003) y Miglio (2022) sostienen:

- Los biosólidos son productos reciclados y su aplicación evita la reducción de recursos no renovables como el fósforo y escasos como el nitrógeno.
- El contenido de nitrógeno total, materia orgánica y fósforo presentes en los biosólidos mejoran las características del terreno de modo que favorecen el crecimiento de las plantas.

2.11. Riego localizado de alta frecuencia como técnica segura de riego

Consiste en la aplicación de agua sobre la superficie del suelo o bajo este de tal manera que se moje solo la parte más próxima a la planta, estas áreas son llamadas bulbos húmedos. Para este propósito se hace uso de tuberías a presión y emisores (Fernández *et al.*, 2010).

2.11.1. Riego por goteo

En este tipo de riego localizado el agua se aplica sobre el suelo gota a gota a través de elementos de plástico llamados goteros, los cuales necesitan presión para su funcionamiento, se caracteriza por tener una baja descarga, entre 1 y 10 litros/hora. La forma del “bulbo húmedo” está condicionada por la textura del suelo y es en esta área donde se desarrolla un sistema radicular muy denso y relativamente superficial (Edmundo, 2013; Tarchitzky, 2002). En la Figura 9 se visualiza el esquema de un sistema de riego por goteo.

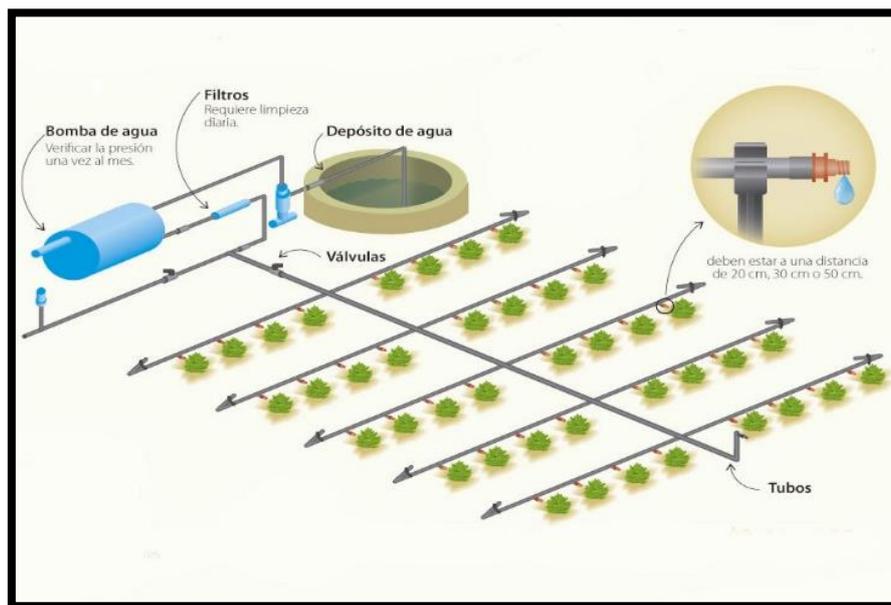


Figura 9: Esquema de un sistema de riego por goteo

Fuente: Gestirriego (2016)

Una de sus más grandes ventajas es su alta eficiencia de aplicación, la cual oscila entre 80% y 90% (Prado, 2016).

2.11.2. Riego por aspersión

En esta técnica de aplicación, el suelo y los cultivos se riegan de la misma forma que con lluvia (Figura 10). Es un método de riego mecanizado o presurizado, pues necesita de mecanismos que generan presión para mover el agua, y mientras se use la presión y el aspersor adecuados, este tipo de riego no causa problemas de erosión (OMS, 2006).

Su eficiencia oscila entre 70% y 80% por lo que también constituye un método que contribuye al ahorro de agua (Prado, 2016).



Figura 10: Riego por aspersión.

Fuente: Monge (s. f.)

2.11.3. Componentes de un sistema de localizado de alta frecuencia

Cabezal de riego. Es un conjunto de elementos destinados a filtrar, medir y suministrar el agua a la red de distribución, para ello está dotado de sistemas de bombeo, filtrado y en algunos casos, con equipos de fertirriego (Fernández *et al.*, 2010).

Sistema de bombeo. Permite la captación y elevación del agua desde una fuente de abastecimiento y su conducción hasta el punto de descarga. El principal rol que cumplen las bombas es suministrar el agua de manera eficiente a los cultivos, para ello es muy importante una selección adecuada de las mismas (García *et al.*, 2003).

Sistema de filtrado. Su función es eliminar las partículas que lleva el agua pues estas podrían generar obturaciones en los emisores o en cualquier parte de la red de riego. Existen diversos tipos de filtros, entre los más usados están los filtros de arena, los de mallas y los de anillas (Fernández *et al.*, 2010).

Red de distribución. Es el conjunto de tuberías que llevan el agua filtrada desde el cabezal hasta la parcela a regar. Dependiendo de su función, existen tuberías primarias, secundarias, terciarias y laterales (Fernández *et al.*, 2010).

En la Figura 11 se muestran los componentes de un sistema de riego localizado

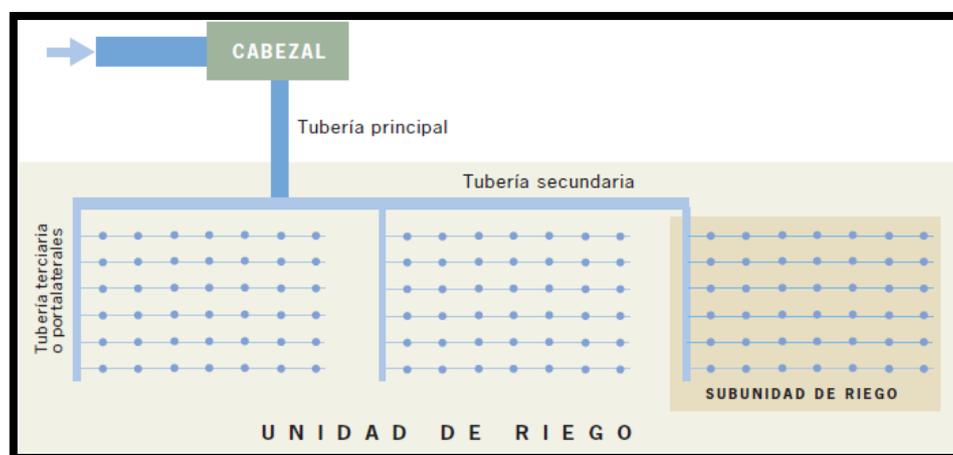


Figura 11: Componentes de la instalación de un riego localizado

Fuente: Fernández *et al.* (2010)

Tuberías. Las tuberías normalmente usadas son de plástico, siendo los más frecuentemente usados PVC (Policloruro de vinilo) y PE (Polietileno), la calidad de estas es un factor indispensable para el adecuado funcionamiento del sistema de riego (Fernández *et al.*, 2010).

Emisores. Son los elementos de la red que hacen posible la salida de agua desde los portarregantes. Se clasifican en base a la forma que aplican el agua en el suelo: Goteros y tuberías emisoras y microaspersores y difusores (Fernández *et al.*, 2010).

Goteros. Dispositivos de plástico que se instalan en los laterales o portarregantes y por los cuales el agua sale goteando gracias a su interior tipo laberinto que disipa la presión. Estos elementos se clasifican en base a la forma en que van colocados en los portarregantes: insertados, pinchados e integrados y dependiendo de la curva de gasto existen: autocompensados y no autocompensados (Fernández *et al.*, 2010).

2.12. Normativa nacional para el desarrollo de proyectos de saneamiento en zonas rurales y el reúso de aguas residuales tratadas para agricultura

- Resolución Ministerial N°184 – 2012 – Vivienda, aprueba la “Guía de opciones técnicas para abastecimiento de agua potable y saneamiento para los centros poblados del ámbito rural”, el cual forma parte integrante de la presente Resolución.

- Resolución Ministerial N° 192 – 2018 - Vivienda. Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural”

- Decreto Supremo N° 011 – 2006 - Vivienda. Norma Técnica OS. 090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del Reglamento Nacional de Edificaciones. El objetivo principal es normar el desarrollo de proyectos de tratamiento de aguas residuales tanto en los niveles preliminar, básico como definitivo.

- Decreto Supremo N° 003 - 1010 - MINAM. Aprueba Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. El objetivo principal es normar las concentraciones de los parámetros principales de los efluentes de las PTAR de tal manera que no se produzca daños a la salud humana ni al ambiente.

- Ley N° 29338 - Ley de Recursos Hídricos, siendo la Autoridad Nacional del Agua - ANA, la responsable de la protección del agua como recurso natural, autoriza el reúso del agua residual tratada con opinión del Consejo de Cuenca y señala que para el reúso de aguas residuales tratadas se deberán cumplir con ciertas condiciones:

- Las aguas residuales deben ser sometidas a tratamientos previos y cumplir con los parámetros de calidad establecidos para los usos sectoriales, cuando corresponda.
- Contar con la certificación ambiental otorgada por la autoridad ambiental sectorial competente, que considere específicamente la evaluación ambiental de reúso de las aguas.
- En ningún caso se autorizará cuando ponga en peligro la salud humana y el normal desarrollo de la flora y fauna o afecte otros usos.

- D.S. N° 001 – 2010 - AG, Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos

Artículo 150°.- Criterios para evaluar la calidad del agua para reúso. Se evaluarán las solicitudes de autorización de reúso de aguas residuales tratadas tomando en cuenta los valores que establezca el sector correspondiente a la actividad a la cual se destinará el reúso, o en su defecto, las guías de la Organización Mundial de la Salud.

- Resolución Ministerial 128 - 2017 - Vivienda. Aprueban condiciones mínimas de manejo de lodos y las instalaciones para su disposición final.

III. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación

Se delimitó la ubicación política y geográfica de la Institución Educativa, así como las características físicas y socioeconómicas de la zona para una adecuada contextualización.

La Institución Educativa 50106 Haparquilla se encuentra en:

- Lugar: Comunidad Campesina de Haparquilla
- Distrito: Anta
- Provincia: Anta
- Región: Cusco

En la Figura 12 puede visualizarse el mapa del Perú abarcando el departamento de Cusco y dentro de este, la provincia de Anta.

La altitud promedio de la zona es de 3340 msnm y las coordenadas de la ubicación de la Institución Educativa en mención en el sistema UTM son presentadas en la Tabla 21:

Tabla 21: Coordenadas UTM de la Institución Educativa 50106 Haparquilla

Sistema de coordenadas	Zona	Este	Norte
UTM	18L	809752.19 m E	8509793.22 m N

La Institución Educativa Haparquilla se encuentra contigua a la plaza de la comunidad de Haparquilla, con un tiempo de recorrido de 8 minutos desde la Municipalidad Provincial de Anta. La provincia de Anta se encuentra a una distancia de 40 km de la ciudad de Cusco.

3.1.2. Levantamiento de información socioeconómica

- **Aspectos Sociales**

Con base en las investigaciones de Ferro (2021), la comunidad campesina Haparquilla cuenta con aproximadamente 1800 habitantes (482 familias no muy numerosas, de aproximadamente 4 personas por familia), la gran mayoría de escasos recursos económicos. Se evidencia buena cantidad de niños en dicha población (MVCS, 2016a).

- **Servicios básicos**

Esta comunidad actualmente cuenta solo con una Institución Educativa Inicial y con la Institución Educativa Haparquilla de nivel primario. No cuenta actualmente con ninguna posta ni centro de salud y sus pobladores generalmente recurren al centro de salud de Conchacalla – Anta, y en casos más graves, al Hospital Regional del Cusco.

La comunidad de Haparquilla cuenta con servicios básicos como energía eléctrica, abastecimiento de agua potable (95.3 por ciento de la población) y servicio de recolección domiciliaria de residuos sólidos. No cuenta con sistema de alcantarillado; sin embargo, el 69.33% de sus hogares cuentan con sistema de disposición de excretas, estos generalmente constituidos por un baño, un biodigestor y un pozo de infiltración o por letrinas de hoyo seco (MVCS, s.f.).

La mayoría de los pobladores de la zona consideran al agua como fuente de vida y son conscientes de su cuidado; sin embargo, en cuanto a las tecnologías instaladas en sus hogares para descargar sus aguas residuales, muy pocos conocen su uso, mantenimiento y los beneficios de sus subproductos como fertilizantes, pero sí tienen interés en conocer su utilización.

Cabe señalar que toda esta información fue recabada a través de las encuestas y entrevistas realizadas tanto a la población como a los docentes, padres de familia y alumnos de la Institución Educativa (Anexo 11).

3.2. Diagnóstico

Se realizaron visitas a la Institución Educativa Haparquilla ubicada en la comunidad del mismo nombre, en la provincia de Anta con la finalidad de identificar el área de terreno, las

condiciones de sus instalaciones sanitarias, problemática; levantamiento de datos como población estudiantil. También se realizaron encuestas a la población, entrevistas a la plana docente, director, padres de familia y alumnado y se tomaron fotografías de las instalaciones.

Se levantó información de la I. E en mención, tipo de institución, número de estudiantes, etc. La información estadística abarcó la población estudiantil desde el año 2010 hasta el 2019. Para diagnosticar el manejo de las aguas residuales en I.E. se identificaron los procesos de generación, captación y destino de las aguas residuales. También se realizaron entrevistas a los alumnos y docentes y se tomaron fotografías de las distintas áreas que generan agua residual.

3.2.1. Entrevistas: Se realizaron preguntas puntuales al director, docentes, alumnos y padres de familia, con el objetivo de levantar información de la situación de saneamiento de la escuela, el manejo de sus aguas residuales y el nivel de conocimiento de los mismos en cuanto a estos temas; asimismo, se realizaron preguntas acerca de los cultivos y árboles producidos y plantados dentro de la parcela y perímetro de la escuela, respectivamente; el agua utilizada y el nivel de aceptación de las tecnologías de saneamiento propuestas y del uso de agua residual tratada. Los resultados de las entrevistas se muestran en el Anexo 11.

3.2.2. Levantamiento de información socioeconómica: Se realizaron 44 encuestas, que corresponden al 10% del número total de viviendas que existen en la Comunidad Campesina de Haparquilla. Ésta encuesta fue aplicada por familia. Su finalidad fue recoger información sobre el estado situacional del sistema de saneamiento de la comunidad donde está ubicada la Institución Educativa, así como algunas otras características del medio. El resumen de los resultados de las encuestas se muestra en las tablas 24, 25 y 26 del capítulo de resultados y con mayor detalle, en el Anexo 11.

3.3. Caracterización de la zona para la implementación del sistema de tratamiento y reúso de las aguas residuales

Se realizaron las visitas pertinentes a la Institución Educativa con el fin de caracterizar el área donde se propone implementar los sistemas de tratamiento y reutilización de aguas residuales, para ello se efectuaron actividades como levantamiento topográfico, determinación del tipo de suelo, ubicación del nivel freático, pruebas de percolación e

infiltración, así como la estimación de caudales y la caracterización de las aguas residuales generadas.

3.3.1. Levantamiento Topográfico

El levantamiento topográfico se realizó con el fin de conocer la ubicación exacta de la Institución Educativa, la distribución de sus instalaciones, extensión del terreno y la obtención de sus niveles altimétrico. Para dicho fin se hizo uso de una estación total de alta precisión marca TOPCON modelo ES 105, con alcance de hasta 4 km con prisma, velocidad de lectura de 1 segundo, los estudios se orientaron a la ubicación de los actuales niveles topográficos, georreferenciados con las coordenadas UTM. Se instalaron los BM's. (Figura 13 y Tabla 22).

Tabla 22: Ubicación de BM's

DESCRIPCIÓN	COORDENADAS		COTA
	UTM		
	E	N	
PTO-1. BM	805505	8509914	3332
PTO-2. BM	805489	8509918	3332



Figura 13: Vista de instalación BM

Fuente: Google Earth

3.3.2. Determinación del tipo de suelo

Se seleccionaron muestras representativas del suelo, utilizando barrenos para su extracción. Las muestras fueron llevadas al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco para los ensayos de identificación y clasificación de suelos.

3.3.3. Ubicación del nivel freático

Este fue determinado través de encuestas y entrevistas con los pobladores de la zona y mediante calicatas en el mes más seco y en el mes más crítico lluvioso.

3.3.4. Prueba de percolación

El MVCS (2012b), en la norma técnica IS. 020, indica los procedimientos para realizar el test de percolación, esta se utiliza para obtener un estimado cuantitativo de la capacidad de absorción de un área de suelo determinado. No obstante, no se llevó a cabo la prueba dado que el nivel freático hallado era demasiado alto para su aplicación, menor a 2 metros. La norma señala que para realizar esta prueba es necesario que el nivel freático se encuentre como mínimo a 2 metros por debajo de la base del sistema de tratamiento planteado.

3.3.5. Prueba de infiltración

El propósito de esta prueba fue hallar la velocidad a la que el agua se absorbe en el suelo pues esto proporciona información sobre la capacidad de drenaje del suelo. Para la medición de la velocidad de infiltración se utilizó el equipo experimental denominado infiltrómetro de doble anillo, procedimiento de ensayo conocido como método de Müntz, método que consiste en saturar una porción de suelo limitada por dos anillos concéntricos para a continuación medir la variación del nivel del agua en el cilindro interior. La tasa o velocidad de infiltración es la velocidad con la que el agua penetra en el suelo a través de su superficie y se expresa en mm/h. Para la obtención de estos resultados se realizaron paso a paso los procedimientos indicados en el método mencionado.

3.3.6. Estimación de caudales

3.3.6.1. Caudal de diseño del sistema de tratamiento de agua residual

- **Determinación de la población con fines de diseño**

Para ello se consultó la población histórica estudiantil de la institución educativa de 10 años (2010 - 2019) y se realizó una estimación para el tiempo de diseño establecido, tomando en cuenta criterios como crecimiento de la población de Haparquilla y Anta.

- **Dotación de diseño y volumen generado de aguas residuales**

Conforme con las normas técnicas del Ministerio de Educación, citadas en el anexo 2 de la Guía de Opciones Técnicas para Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento para Centros Poblados del Ámbito Rural, las dotaciones de agua se estimaron en función del nivel de la institución educativa:

- Inicial: 20 L/hab.día
- Primaria: 20 L/hab.día
- Secundaria: 25 L/hab.día

Se eligió como dotación mínima o base, a la dotación correspondiente a nivel primaria (20 L/hab.día. Además, para una mayor precisión en el diseño, se utilizó como referencia el gasto de agua por persona en la comunidad de Haparquilla, información obtenida de las encuestas realizadas a la población (Anexo 11). Con esta información se realizaron los cálculos pertinentes para la determinación de caudales de diseño.

3.3.6.2. Caudal de diseño del sistema de reutilización del agua residual tratada

Para ello se utilizó el volumen del registro sanitario del baño antiguo y se realizaron las mediciones diarias durante una semana para poder obtener los caudales generados de aguas residuales.

3.3.7. Caracterización de aguas residuales

Se utilizó la caja de registro ubicada a la salida del baño antiguo para la toma de muestras de agua residual. Para el diseño, se tomaron los valores típicos de agua residual presentados

por Rodríguez *et al.* (2004), y para corroborarlos se tomó una muestra puntual incluyendo los 6 parámetros más relevantes para el diseño (DBO5, DQO, SST, Coliformes termotolerantes, pH y temperatura), se tomaron estos parámetros por ser los más representativos de un agua residual según el MINAM.

El análisis de aguas residuales se realizó en laboratorio “Louis Pasteur” de Cusco. Cabe resaltar que el pH y la temperatura fueron tomados en campo. La lista de parámetros se presenta en la Tabla 23.

Tabla 23: Parámetros para la caracterización inicial

Nro.	Parámetros	Unidad
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L
2	Demanda Química de Oxígeno	mg/L
3	Sólidos Totales en Suspensión	mg/L
4	Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 mL
5	pH	Unidad
6	Temperatura	°C

3.4. Análisis de opciones de tratamiento

Se utilizó como base metodológica la Guía de Opciones Técnicas para Abastecimiento de Agua Potable y Saneamiento para los Centros Poblados del Ámbito Rural (Resolución Ministerial N°065-2013-Vivienda) aprobada en el 2013 por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; la Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural” (Resolución Ministerial N° 192-2018-Vivienda), el Manual de Buenas Prácticas Para el Uso Seguro y Productivo de las Aguas Residuales Domésticas (ANA, 2016) y la Guía de referencia para el reúso de las aguas residuales en riego agrícola del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA, 2013).

3.4.1. Identificación de principales factores de selección

Se consideraron factores de selección técnicos, económicos y culturales para seleccionar una tecnología que provea sostenibilidad al sistema.

3.5.1.1. Factores Técnicos

- **Disponibilidad de agua:** Importante para saber qué tipo de tecnología utilizar. Se levantó información de la situación de la I.E. respecto a su abastecimiento de agua potable.
- **Disponibilidad del terreno:** Para la aplicación de sistemas de saneamiento el usuario debe disponer de un área adecuada en el interior de su predio. Para ello se realizó el levantamiento topográfico con la finalidad de conocer el área de terreno disponible para instalar el sistema de tratamiento.
- **Nivel freático:** Sirve para decidir qué tipo de tecnología usar. Se determinó el nivel freático con ayuda de las encuestas realizadas a los pobladores de la zona y gracias a las calicatas realizadas en el mes más crítico lluvioso.
- **Permeabilidad del suelo:** Los suelos permeables con suficiente capacidad de absorción, permiten viabilizar las soluciones técnicas de saneamiento que requieran efectuar la disposición del agua residual tratada en el suelo, a través de sistemas de infiltración. Para determinarla se requirió el test de percolación.
- **Calidad de agua requerida a la salida del tratamiento:** Se elegirá una opción tecnológica dependiendo del destino del agua residual tratada. Para ello se revisó información bibliográfica acerca de las eficiencias de remoción de los diversos sistemas de tratamiento y la calidad requerida para fines de reúso en riego.

5.5.1.2. Factores Culturales y Sociales

- **Aceptación de la tecnología propuesta.** Se entrevistó a docentes y padres de familia y se encuestó a los pobladores de la zona para evaluar el nivel de aceptación de la tecnología propuesta.
- **Aprovechamiento del agua residual tratada:** Se entrevistó a docentes y padres de familia y se encuestó a los pobladores de la zona para evaluar el nivel de aceptación del aprovechamiento del agua residual tratada.
- **Disponibilidad del material para su construcción:** Dicho criterio de selección es crucial, para que el proyecto pueda realizarse o no. Se realizaron cotizaciones en las ferreterías existentes en la provincia de Anta, ubicada a 8 minutos de la I.E de la comunidad de Haparquilla.

- **Adecuación paisajística:** Este factor importante en la selección de un tratamiento pues está íntimamente ligado con la sostenibilidad socio-ambiental. Se entrevistó a docentes, alumnos y padres de familia para conocer su opinión en cuanto a la importancia que le dan al paisaje rural.

3.4.2. Análisis de opciones

3.5.2.1. Análisis de opciones de tratamiento primario

La elección de las soluciones técnicas propuestas por las guías en mención, dependió de los factores definidos, aplicabilidad, ventajas y desventajas de cada una de ellas. Esta información se organizó en cuadros que sirvieron para realizar el respectivo análisis comparativo.

3.5.2.2. Análisis de opciones para el tratamiento complementario de las Aguas

Residuales generadas en Zonas Rurales

La elección de las soluciones técnicas propuestas por las guías en mención para tratamiento complementario, dependió de los factores definidos, aplicabilidad, ventajas y desventajas de cada una de ellas. Esta información se organizó en cuadros que sirvieron para realizar el respectivo análisis comparativo.

3.5. Propuesta del sistema de tratamiento

Una vez seleccionadas las tecnologías más viables, se elaboró la propuesta del sistema de tratamiento, para lo cual se realizaron las siguientes actividades:

- 1) Dimensionamiento de unidades del sistema: el diseño y dimensionamiento del sistema se realizó tomando como referencia la normatividad exigida por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y la Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural. El dimensionamiento del humedal tomó como referencia esta última Norma técnica, así como la Guía para diseño y construcción de un humedal construido con flujos subsuperficiales de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U. S. EPA, 1993).

- 2) **Metrados y costos unitarios:** Los metrados fueron determinados teniendo en cuenta los planos y dimensiones de las estructuras proyectadas. Se realizó el análisis de costos unitarios para el modelo seleccionado a partir de los precios de mano de obra, material y equipos existentes en la zona del proyecto.
- 3) **Generación de planos:** vista en corte y vista en planta a escalas y detalles adecuados.

3.6. Propuesta del sistema de reutilización de aguas residuales tratadas

3.6.1. Uso de Barreras Múltiples

Se plantearon las barreras recomendadas por la OMS (2006) para lograr los objetivos de salud y se tomaron en consideración las siguientes medidas de control:

- Tratamiento de aguas residuales.
- Restricción de cultivos.
- Técnicas de aplicación de aguas residuales tratadas.
- Control de exposición humana.

De acuerdo a los factores de selección y medidas especiales a tomar en cuenta en el uso de aguas residuales tratadas en riego, propuestos por la OMS (1989, 2006) y con el objetivo de proteger la salud, se decidió la técnica de aplicación de riego más conveniente. Para ello se hizo uso de la Tabla 17.

Además, en el análisis se incluyeron las notas de Tarchitzky (2020) sobre calidad de agua y sus tipos en base a parámetros mostrados en la Tabla 19, la remoción de patógenos en Unidades logarítmicas logradas por las medidas de control de protección a la salud propuestos por la OMS (2006) y las directrices de la Comisión Europea (2022) (Tabla 18), asimismo las notas de Tarchitzky (2020) que muestran el número sugerido de barreras necesarias para el riego con agua residual tratada según su calidad después del tratamiento (Tabla 20). De esta manera se realizó un esquema de barreras múltiples adaptado a la realidad de la Institución Educativa, tipo de cultivo y grupos expuestos.

3.6.2. Cálculo de oferta o volumen generado de aguas residuales

Para la determinación de la oferta, se realizó la medición del caudal de las aguas residuales durante una semana (lunes a viernes laborables y sábado de reunión comunal o alguna faena

programada), para ello cada día durante una semana se llenó la caja de registro desde las 8:00 AM hasta las 4:00 PM en intervalos de una hora, finalizando estos tiempos se midieron los niveles de agua para determinar el volumen.

3.6.3. Cálculo de demanda de agua para riego

Con ayuda del software Cropwat y de los datos provistos por SENAMHI (2021) se calculó el valor de ETo (Evapotranspiración potencial), luego con base en la metodología usada por Figueroa (2019), para este análisis se completó una serie de pasos cuyos cálculos y resultados se plasmaron en un cuadro de Excel donde pudo obtenerse el Q dem (caudal de demanda).

3.6.4. Balance Hídrico

Es la comparación entre la oferta y la demanda. Para ello, los cálculos previamente hallados fueron plasmados en un cuadro comparativo en Excel.

3.6.5. Diseño del sistema de riego para el reaprovechamiento de aguas residuales

tratadas

– **Diseño Agronómico:** Aquí se definió la lámina de diseño, caudal de diseño, tiempo de riego, frecuencia de riego, selección del emisor, turnos de riego y el dimensionamiento, así como la superficie máxima de cada unidad teniendo en cuenta el espaciamiento entre plantas.

– **Diseño Hidráulico:** Para garantizar una óptima distribución del caudal, se dimensionó la red de tuberías, previo cálculo de pérdidas de carga y requerimiento de presiones.

3.6.6. Propuesta del sistema de riego

Una vez seleccionadas las tecnologías más viables, se elaboró la propuesta del sistema de riego, para lo cual se realizaron las siguientes actividades:

- 1) Dimensionamiento del sistema de riego
- 2) Metrados y estimación de costos de implementación del sistema
- 3) Generación de planos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Diagnóstico

La Institución Educativa 50106 Haparquilla es una entidad del estado que ofrece la enseñanza de educación primaria en un ámbito rural, contando con 71 alumnos y 6 docentes, según el registro tomado en el 2019. En el Anexo 1, en la Tabla 42 y Tabla 43 se presenta información general y relevante de la Institución Educativa 50106 Haparquilla, así como el número de alumnos desde el 2010 al 2019, respectivamente.

4.1.1. Diagnóstico del manejo de las aguas residuales en la Institución Educativa

50106 Haparquilla.

Teniendo en cuenta las encuestas realizadas, la comunidad de Haparquilla cuenta con servicio de agua potable, el funcionamiento de este se da de lunes a domingo solo en el horario de 6:00 AM a 9:00 AM, tiempo en el que cada hogar, incluida la Institución Educativa, se ven obligados a almacenar agua para abastecerse por el resto del día. Cabe mencionar que todos están sujetos a una tarifa plana de S/. 7.00 mensuales. Las encuestas aplicadas se muestran en el Anexo 11.

Es así como en este lapso se almacena el agua en dos de tres tanques existentes marca Rotoplas de 1100 L, uno de ellos ubicado en el techo del baño nuevo y los otros dos juntos en el patio. Por el momento solo están en uso los dos tanques que abastecen al baño antiguo y la cocina, mientras que el del baño nuevo está pendiente su funcionamiento hasta que se haya instalado el sistema de disposición de aguas residuales (Figura 32).

Tanto la población como la Institución Educativa no cuentan con servicio de alcantarillado. A continuación, se hace una descripción detallada del manejo de sus aguas residuales:

- **Agua residual de los baños**

La Institución Educativa cuenta con dos baños: uno grande, el nuevo, y uno pequeño, el antiguo (Figuras 33 y 34). Solo el baño antiguo se encuentra en funcionamiento al contar con un sistema de disposición de aguas residuales; sin embargo, su funcionamiento es deficiente ya que casi siempre se encuentra sucio, no siempre se le abastece de agua, e incluso pudo observarse que algunos niños prefieren hacer sus necesidades al aire libre. Así que, las veces que se abastece de agua a este baño, sus aguas residuales son dispuestas en una caja de registro que las conduce a un par de biodigestores instalados detrás del baño (Figura 14), estos a su vez son descargados a un pequeño pozo de absorción muy cercano a la acequia ubicada al lado de la I. E. El esquema del manejo de aguas residuales se muestra en el Anexo 16, P-02.

El MVCS (2012b), manifiesta que, para la instalación de un pozo de absorción, es necesario que el nivel freático se encuentre mínimo a dos metros de profundidad a partir de su base, y a 15 metros de distancia, como mínimo, de los cursos de agua superficial; no obstante, este no es el caso, ya que, al hallar el nivel freático, se observó que este se encuentra a 1.52 m por debajo de la superficie del suelo. Además, tanto los biodigestores como el pozo de absorción se encuentran muy próximos a la acequia ubicada al costado de la Institución Educativa (menos de 5 metros). Esta inadecuada instalación sumada a la ausencia de mantenimiento (desde su instalación en 2011), contaminan la acequia, contaminación que perjudica tanto a estudiantes y docentes como a los cultivos que son regados con estas aguas.



Figura 14: Biodigestores a la salida del baño antiguo muy próximos a la acequia al lado de la Institución Educativa

- **Agua residual de la cocina**

A través de las visitas realizadas a la Institución Educativa se observó que cuenta con una cocina en la cual se preparan los alimentos, asimismo, con un pequeño lavatorio construido en el patio donde se realiza el lavado de alimentos y utensilios (Figura 35). Las aguas residuales generadas son descargadas a una tubería que los conduce hacia la caja de registro unida a los biodigestores ubicados detrás del baño antiguo.

Cabe mencionar que, las encuestas y entrevistas realizadas al director, docentes y padres de familia, reflejaron que los biodigestores no habían recibido mantenimiento desde su instalación, esto por falta de asesoramiento de parte de la municipalidad, lo que podría generar en cualquier momento un colapso del sistema, en especial de sus cajas de lodos, generando un riesgo para la salud de los niños, docentes y trabajadores.

Se realizó una representación del actual manejo de las aguas residuales a través de un “Esquema de sistemas”, adaptación de la metodología de representación de tecnologías de saneamiento con las que se puede formar un sistema propuesto por Tilley *et al.* (2018). En este se muestra, a través de esquemas, las tecnologías que componen el sistema de saneamiento actualmente utilizado en la Institución Educativa, así como los procesos y los productos generados en cada etapa del tratamiento. En el Anexo 2 se desarrollan de manera más detallada los conceptos de este tipo de representación de sistemas de tratamiento, en la Figura 15 se muestra el “Esquema de sistemas” del manejo de aguas residuales de la Institución Educativa, en la figura 16, un esquema simple del mencionado manejo y en el Anexo 16, se detalla el plano de Generación, Conducción y Almacenamiento de aguas residuales de la Institución Educativa (P-02).

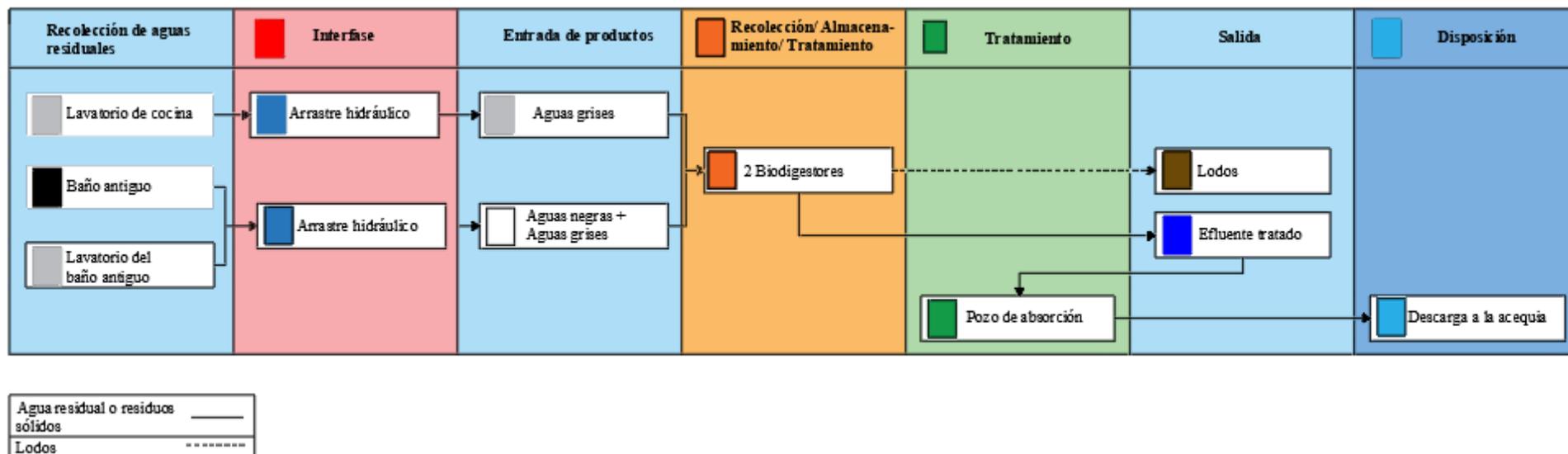


Figura 15: Esquema de sistemas del manejo de aguas residuales de la Institución Educativa 50106 Haparquilla

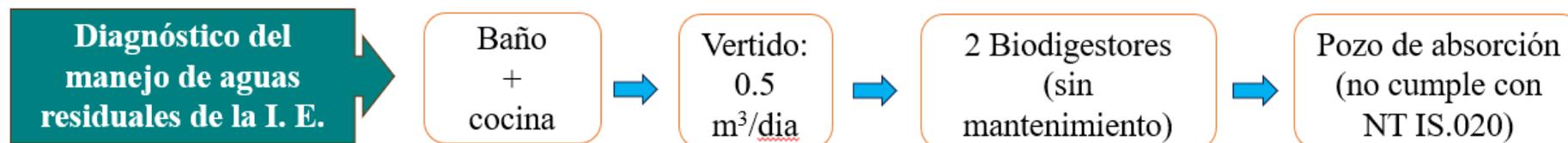


Figura 16: Esquema simple del manejo de aguas residuales de la I. E.

Asimismo, en las tablas 24, 25 y 26 se muestra el resumen del resultado de las encuestas y con mayor detalle, en el Anexo 11.

Tabla 24: Resumen de resultados de las encuestas y entrevistas realizadas a los docentes y padres de familia de la I.E.

ENCUESTAS Y ENTREVISTAS A DOCENTES Y PADRES DE FAMILIA	
Agua y Saneamiento	Poseen abastecimiento de agua potable que almacenan diariamente en tanques. No cuentan con alcantarillado y su sistema de saneamiento es atendido mediante el uso de biodigestores y pozos de absorción que no han tenido mantenimiento por falta de capacitación.
Energía	Cuentan con energía eléctrica las 24 h del día, pagando una tarifa plana de 15 soles mensuales.
Cultivos	Hacen uso del terreno libre en la escuela para cultivos de maíz, habas y alfalfa.
Agua de Riego	Sólo dependen de la lluvia para regar sus cultivos. Se observa buen grado de aceptación de reúso de aguas residuales en riego de forrajes.
Tratamiento de Agua Residual	No conocen mucho sobre el tema.
Utilización de Lodos Residuales	No conocen mucho sobre lodos residuales ni para qué sirven, pero estarían dispuestos a saber sobre ello para su uso.
Paisaje	Reconocen la importancia de un bonito paisaje y su cuidado.
Acceso a la Institución Educativa	Se realizan faenas los fines de semana para llevar a cabo reuniones y el mantenimiento de los cultivos.

Tabla 25: Resumen de resultados de las encuestas y entrevistas realizadas a los alumnos de la I. E.

ENCUESTA Y ENTREVISTA A ALUMNOS	
Agua y Medio Ambiente	Poseen conciencia del cuidado del agua y medio ambiente.
Saneamiento e Higiene	No tienen buenas costumbres de higiene y no conocen el sistema de saneamiento que posee la I. E.
Paisaje	Les gusta el paisaje natural de su I. E. y desean conservarlo.
Tratamiento de Agua	No tienen conocimientos sobre tratamiento del agua, pero tienen toda la predisposición para aprender.
Riego	Tienen interés en aprender acerca de la reutilización del agua en riego.

Tabla 26: Resumen de resultados de las encuestas realizadas a los pobladores de Haparquilla

ENCUESTA POBLADORES DE HAPARQUILLA	
Información básica de la localidad	Zona rural de menos de 2000 habitantes, dedicada a agricultura y ganadería.
Vivienda	Mayor parte de las viviendas de abobe, cuentan con energía eléctrica y tarifa plana en sus servicios básicos
Familia	Familias no numerosas con ingresos menores a un sueldo básico por familia, mayormente personas quechuablantes.
Abastecimiento de agua potable	Poseen servicio de abastecimiento de agua potable de 2 a 3 horas diarias, pagan una tarifa plana de 7 soles mensuales. Almacenan agua en recipientes como tanques, bidones y valdes. Consumen aproximadamente 30 litros por persona al día.
Saneamiento	No cuentan con sistema de alcantarillado, pero si con un baño y un biodigestor por vivienda con pozo de absorción.
Salud	En su mayoría sufren de diarreas y no cuentan con posta médica en la comunidad.
Conciencia ambiental	Conocimientos pobres en cuanto a contaminación del agua y los suelos, pero con predisposición para aprender.

4.2. Caracterización de la zona para la implementación del sistema de tratamiento y reúso de aguas residuales

4.2.1. Levantamiento topográfico

Se hizo levantamiento de toda la superficie del terreno e instalaciones de la Institución Educativa (Figura 27), hallándose un área total de 23126.91 m², también se tomaron puntos dentro del terreno para determinar las curvas de nivel, revelándose un terreno prácticamente plano que posibilitaría la instalación de sistemas que se adecúen a dicha pendiente. Se elaboró el plano P-01 (Anexo 16) donde se muestra lo mencionado líneas arriba, así como la disponibilidad de terreno (300 m²), área disponible para la implementación de un sistema de tratamiento y reutilización de aguas residuales.

4.2.2. Determinación del tipo de suelo

Tabla 27: Resultados del análisis de caracterización y fertilidad del suelo

Clase textural	CC (%)	PM (%)	Da (g/cm³)	MO (%)	pH	Porosidad (%)	CE (mmhos/cm)
Franco-limoso	37.6	11.8	1.13	7.06	7.5	55.51	0.89

Donde:

CC: Capacidad de Campo

PM: Punto de Marchitez

Da: Densidad Aparente

MO: Materia Orgánica

CE: Conductividad Eléctrica

Teniendo en cuenta los resultados mostrados en la Tabla 27, se puede observar que el suelo presenta una textura franco-limosa, ideal para uso agrícola, además posee 7.06 por ciento de materia orgánica, lo que representa una cantidad alta muy beneficiosa para el crecimiento de las plantas. Este suelo es ligeramente alcalino y muy ligeramente salino, por lo que es adecuado para la mayoría de plantas. La capacidad de campo (C.C.) es 37.6 por ciento, el punto de marchitez (P.M.) 11.8 por ciento, la densidad aparente (da) 1.13 g/cm³, y la porosidad 55.51% estos valores dan luz de una adecuada retención de agua en el suelo e ideal para el crecimiento de raíces, pues sugieren un suelo poroso con buena circulación de agua y aire. Estos resultados nos permiten elegir tecnologías de tratamiento cuyos efluentes podrían ser reutilizados en agricultura. Todos estos análisis fueron determinados en laboratorio y se muestran en el Anexo 6, Figura 40.

4.2.3. Ubicación del nivel freático

A través de la calicata se halló el nivel del agua subterránea a 1.52 metros de profundidad, esta calicata fue excavada en el mes más lluvioso (febrero) y se hizo otra en el mes más seco (agosto), cuya profundidad fue de 2.4 metros. Estos resultados impedirían la instalación de sistemas de tratamiento con infiltración en el terreno de acuerdo a lo señalado en la norma IS.020. En la Figura 30 se puede observar la foto con el nivel freático hallado.

4.2.4. Prueba de Percolación

El MVCS (2012b), en la norma técnica IS. 020, indica los procedimientos para realizar este test; dada la profundidad hallada del nivel freático (1.52 metros), no fue posible realizar la prueba de percolación, pues como señala la norma mencionada, para realizar esta prueba es necesario que el nivel freático se encuentre como mínimo a 2 metros por debajo de la base del sistema de tratamiento planteado (zanjas o pozos de infiltración).

4.2.5. Prueba de infiltración

Al procesar los datos obtenidos con el método de Müntz se obtuvo una velocidad de infiltración de 9.78 mm/h, cuyo rango de variación para suelos Franco limosos es de 2 a 15 mm/h (Programa de Servicios Agrícolas Provinciales [PROSAP], s. f.). Conforme al valor obtenido, el suelo es considerado poco permeable (Duque, 2009). La relación entre la velocidad de infiltración del suelo y la elección del sistema de riego está relacionada con la eficiencia del riego y la capacidad del suelo para absorber agua. Así, este valor coadyuvó a la elección del sistema de riego por goteo (90 por ciento eficiente), ya que al tener el suelo una moderadamente lenta velocidad de infiltración (FAO, 2016), le favorece ser regado de manera más eficiente. En el Anexo 4 pueden observarse los cálculos respectivos y en la Figura 28, la instalación en campo de los anillos infiltrómetros.

4.2.6. Estimación de Caudales

Se realizó el cálculo del caudal de diseño para el sistema de tratamiento proyectado a 20 años, así como la determinación de los caudales generados para el diseño del sistema de reutilización.

4.2.8.1. Caudal de diseño del sistema de tratamiento de agua residual

- **Determinación de la población con fines de diseño del sistema de tratamiento**

Para el cálculo del consumo de agua (Anexo 12), se proyectó la población con la fórmula aritmética tomando como referencia la cantidad de alumnos y docentes de 10 años (2010-2019), luego de los respectivos cálculos, se determinó que habría 91 personas proyectadas

para 20 años; sin embargo, dada la cantidad de horas que funciona la Institución Educativa, se hizo uso del concepto de Habitante Equivalente (Miglio, 2016), según este para 91 personas en 8 horas de funcionamiento, correspondería a 31 habitantes equivalentes que pasan 24 horas en la Institución Educativa.

- **Dotación de diseño del sistema de tratamiento**

En el apartado 3.3.6. se decidió utilizar una dotación mínima de 20 l/hab.día; no obstante, de acuerdo a las encuestas realizadas a los pobladores de Haparquilla, se estimó que cada persona consume un promedio de 30 l/hab.día. Con fines de seguridad, se eligió una dotación de 35 l/hab.día. A partir de esta y de la población de diseño se utilizaron las ecuaciones pertinentes para la determinación de caudales de diseño (Miglio, 2016), así se determinó un caudal de consumo máximo horario de 1.63 m³/día (Anexo 12).

Para estimar la cantidad de agua residual producida se consideró que el 80% del total de agua potable consumida sería transformada en agua residual (MVCS, 2018), por lo que el caudal máximo horario de agua residual sería 1.3 m³/día (Tabla 28).

Tabla 28: Información de consumo de agua y producción de agua residual

Parámetro	Unidad	Valor
Población proyectada	hab	91
Habitantes equivalentes	hab	31
Consumo de agua por persona	l/hab	35
Consumo de agua diario	m ³ /día	1.63
Caudal de agua residual diario	m ³ /día	1.3
DBO ₅	mg/L	717.7

4.2.8.2. Caudal de diseño del sistema de reutilización del agua residual tratada

Luego de las mediciones realizadas descritas en la metodología, se determinó un promedio diario de 0.5 m³/día. En el apartado 4.5.2. Cálculo de la oferta o volumen generado de aguas residuales, se explican de mejor manera los cálculos realizados.

4.2.7. Caracterización del agua residual

Los resultados del análisis se muestran en la Tabla 29, asimismo se visualiza el muestreo realizado en la figura 17.

Tabla 29: Resultados del muestreo de aguas residuales de la Institución Educativa Haparquilla

Nro.	Parámetro	Unidad	Valor
1	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	717.7
2	Demanda Química de Oxígeno	mg/L	1552
3	Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 mL	3.5×10^7
4	Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	1445
5	Temperatura	°C	11.5
6	PH	unidad	7.38

Puede observarse que el valor de DBO₅ (717.7 mg/L), el DQO (1552.00 mg/L), los SST (1445.00) y los coliformes termotolerantes (3.5×10^7 NMP/100mL) se encuentran encima del rango de valores mencionados en la Tabla 1 de la composición típica de un agua residual doméstica. Por otro lado, los parámetros de pH y temperatura tomados en campo resultaron con valores de 7.38 (ligeramente alcalino) y 11.5 °C, respectivamente. El documento con los resultados de laboratorio del muestreo de aguas residuales se presenta en el Anexo 5, en la Figura 39.



Figura 17: Muestreo de las aguas residuales provenientes del baño, lavatorio y cocina

4.3. Análisis de opciones de tratamiento y selección de la mejor opción

4.3.1. Identificación de principales factores de selección

Factores Técnicos

- **Disponibilidad de agua:** En base a las visitas realizadas y a las encuestas realizadas a docentes y padres de familia, se confirmó la existencia de abastecimiento de agua potable y su almacenamiento. Se encontraron 3 tanques de almacenamiento de 1100 L cada uno (descripción detallada en el apartado 4.1.1.), lo que posibilitaría el arrastre hidráulico, es así que se decidió utilizar las opciones tecnológicas con este requisito.
- **Disponibilidad del terreno:** Al realizar el levantamiento topográfico de la Institución Educativa se halló un área total de 2.31 hectáreas y un espacio estratégicamente ubicado dentro de la misma para poder instalar un sistema de tratamiento, con una extensión aproximada de 150 m², tamaño suficiente para instalar un sistema que requiere de un área considerable.
- **Nivel freático:** Se determinó el nivel freático a través de las calicatas realizadas para dicho fin, siendo este de 1.52 m, en el mes de febrero (época más crítica lluviosa, niveles suficientes para poder instalar un sistema de tratamiento con arrastre hidráulico impermeable. Estos resultados impedirían la instalación de sistemas de infiltración en el terreno
- **Permeabilidad del suelo:** No fue factible realizar el test de percolación, pues el nivel freático hallado (1.52 m), imposibilitó su aplicación (Información detallada en el apartado 4.2.4.)
- **Calidad de agua requerida a la salida del tratamiento:** Al ser nuestro propósito la reutilización del agua tratada en riego, se revisó información bibliográfica de la eficiencia de los tratamientos primario y secundario propuestos y se determinó que los más eficientes poseen aproximadamente 50 y 90 por ciento de eficiencia en remoción de DBO₅, respectivamente, eficiencias que posiblemente garantizarían la calidad esperada para poder reutilizar el agua residual tratada en riego.

Factores Culturales y Sociales

- **Aceptación de la tecnología propuesta.** Al realizar las encuestas y entrevistas a los pobladores, docentes y padres de familia, se verificó la aceptación de este tipo de tecnologías pues la mayoría cuenta con un biodigestor en sus hogares.
- **Aceptación de la reutilización del agua residual tratada en riego.** De igual forma, se llegó a conocer el grado de aceptación de las personas en cuanto a la reutilización del agua residual tratada en el riego, la mayoría aceptaba la reutilización de esta en el riego de los árboles y forrajes, mas no así en hortalizas ni otros cultivos comestibles.
- **Disponibilidad del material para su construcción:** Una vez realizadas las visitas a la población de Anta, se encontró numerosas ferreterías con el material necesario para la construcción del sistema, sin embargo, los costos eran demasiado altos, lo que generó la indagación de costos en la ciudad de Cusco, en la que se hallaron mejores precios, a excepción del sustrato, que es lo que más abunda en Anta, por la cercanía a las canteras (Anexo 7).
- **Adecuación paisajística:** A través de las encuestas y entrevistas se preguntó a la población sobre la importancia del paisaje, cómo sentían que se vería afectada la Institución Educativa Haparquilla por la presencia del sistema de tratamiento, a lo cual la mayoría respondió que desconocía cuánto podría afectar la presencia del mismo, pero que para ellos era importante que se siga viendo natural y estético.

4.3.2. Análisis de opciones de tratamiento primario

Dada la disponibilidad de agua potable, la existencia de un baño construido y la inexistencia de sistema de alcantarillado, se eligió evaluar las opciones técnicas con arrastre hidráulico: biodigestor comercial y tanque séptico.

Analizando el contenido de la Tabla 30, para el tratamiento primario se observa que tanto biodigestor como tanque séptico son aplicables en zonas rurales que no cuentan con sistema de alcantarillado y ambos pueden instalarse en suelos permeables.

Seguidamente, al comparar las ventajas de ambos tratamientos, se observó que comparten algunas como la no exposición de excretas al ambiente, la no contaminación de aguas subterráneas y la mínima generación de olores. No obstante, se identificaron algunas ventajas

determinantes de un biodigestor frente a un tanque séptico: menores costos de instalación, mayor facilidad de operación y mantenimiento, así como mayor rapidez de instalación, adicional a ello y muy importante, es la existencia de experiencia previo en la zona de la utilización de esta tecnología.

De esta manera, una vez comparados, se rechazó la opción de tanque séptico y se eligió el biodigestor como opción tecnológica para el tratamiento primario del agua residual.

Tabla 30: Aplicabilidad, Ventajas y Desventajas de las Opciones Tecnológicas para Tratamiento Primario de Aguas Residuales

OPCIÓN	APLICABILIDAD	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Unidad Básica de Saneamiento de Arrastre Hidráulico (UBS-AH) Biodigestor prefabricado</p>	<p>-Aplicable en suelos permeables</p> <p>-Requieren servicio de agua para asegurar la dotación para el arrastre hidráulico.</p> <p>-Pueden ser utilizados en viviendas unifamiliares, zonas urbanas, suburbanas, rurales y barrios cerrados sin conexión a red cloacal.</p>	<p>-No contaminan las aguas superficiales o subterráneas.</p> <p>-Excretas no expuestas directamente al ambiente.</p> <p>-Mínima generación de olores.</p> <p>-Nivel de remoción de virus y bacterias en aguas residuales de zonas rurales.</p> <p>-Autolimpiable y de mantenimiento económico ya que solo necesita abrir una llave.</p> <p>-Hermético, construido en una sola pieza, sin infiltraciones.</p> <p>-Ligero y fuerte.</p> <p>-El lodo producido, con tratamiento adecuado, puede ser utilizado como mejorador de suelo.</p> <p>-Alta resistencia a impactos y corrosión.</p> <p>-Larga vida útil de 35 años.</p> <p>-Fácil instalación en comparación al proceso constructivo de un tanque séptico.</p>	<p>-Altos costos de inversión inicial.</p> <p>-No recomendable para zonas con napa freática alta.</p> <p>-No recomendable en zonas con alta incidencias de lluvias.</p> <p>-No recomendable en zonas con suelos rocosos o impermeable.</p> <p>-Requieren de un operador técnico capacitado para el mantenimiento.</p>

Continuación:

Unidad Básica de Saneamiento de Arrastre Hidráulico (UBS-AH) Tanque séptico	- Aplicable en suelos permeables.	-No contaminan las aguas superficiales o subterráneas.	-Altos costos de inversión inicial.
	-Requieren servicio de agua para asegurar la dotación para el arrastre hidráulico. -Aplicable en zonas rurales que no cuentan con alcantarillado.	-Excretas no expuestas directamente al ambiente. -Mínima generación de olores. -Permite la separación de sólidos y líquidos de las aguas residuales generadas. -Acondiciona las aguas residuales para una buena infiltración.	-No recomendable para zonas con napa freática alta. -No recomendable en zonas con alta incidencias de lluvias. -No recomendable en zonas con suelos rocosos o impermeable. -Requieren de un operador técnico capacitado para el mantenimiento. - Se requiere de un maestro de obra capacitado para la construcción del tanque séptico.

Fuente: MVCS (2012a, 2012b, 2018) y Rotoplas (2015, 2016)

4.3.3. Análisis de opciones para el tratamiento complementario de las aguas residuales generadas en zonas rurales

Se analizaron dos opciones de tratamiento complementarias: Humedales artificiales y zanjas de infiltración.

Con ayuda de la revisión bibliográfica plasmada en la Tabla 31 que muestra la aplicabilidad, ventajas y desventajas de ambas tecnologías, en cuanto al primer ítem, pudo observarse que ambas tecnologías requieren de servicio de agua para asegurar el arrastre hidráulico, el humedal puede utilizarse en todo tipo de climas, mientras que las zanjas de infiltración no son recomendables en zonas lluviosas y con alta napa freática.

Por otro lado, al analizar las ventajas de cada propuesta, se visualizan muchas más ventajas del humedal frente a las zanjas de infiltración, entre las principales estarían: alto potencial biológico y paisajístico, ideales para zonas rurales, bajos costos de operación y mantenimiento, nulo consumo energético, nula producción de lodos residuales, no hay proliferación de insectos, alta eficiencia de remoción de contaminantes como materia orgánica, microorganismos patógenos, metales pesados, entre otros, lo que facilitaría la reutilización o reciclaje del agua para riego (Tabla 9), y como valor agregado resultante de todas las ventajas anteriormente descritas, la posibilidad de ser utilizados para concientización ambiental.

Al revisar las desventajas de ambas tecnologías, una de las principales es que ambos requieren de áreas relativamente grandes áreas para su instalación, situación que no constituiría un problema dado que la Institución Educativa cuenta con un área bastante extensa; no obstante, las zanjas de infiltración resultan no recomendables en zonas con nivel freático elevado y requieren de un mantenimiento periódico para evitar la colmatación rápida del lecho filtrante. Por otro lado, las desventajas que presentan los humedales son mucho más llevaderas como por ejemplo que requieren terrenos planos para su instalación y tienen un tiempo de adaptación.

De esta manera se rechazó la opción de zanjas de infiltración y se optó por el humedal artificial para el tratamiento complementario del agua residual.

Tabla 31: Aplicabilidad Análisis de opciones para el tratamiento complementario de las Aguas Residuales generadas en Zonas Rurales

OPCIÓN	APLICABILIDAD	VENTAJAS	DESVENTAJAS
	<p>-Pueden ser utilizados en todos los tipos de clima.</p> <p>-Requieren de servicio de agua para asegurar el arrastre hidráulico.</p> <p>-Ideal para zonas rurales pues se acopla al paisaje.</p>	<p>-Sistema natural integrado con el medio ambiente.</p> <p>-Alto potencial ecológico y estético, beneficios sociales y paisajísticos.</p> <p>-Considerado como unidad de tratamiento secundario y terciario.</p> <p>-No genera malos olores, por ende no hay proliferación de insectos vectores.</p>	<p>-Su uso puede limitarse por la necesidad de disponer de áreas relativamente grandes.</p> <p>-Tarda un tiempo en lograr el régimen óptimo de funcionamiento. Dado que se basa en un sistema natural necesita que las plantas adquieran un grado de madurez.</p> <p>-No son convenientes en sitios con pendiente.</p>
Humedal artificial		<p>-Proporciona un tratamiento eficaz, eliminando de las aguas residuales un amplio espectro de contaminantes: materia orgánica, nutrientes, microorganismos patógenos, metales pesados, etc.</p> <p>-Bajos costos de operación y mantenimiento.</p> <p>-Alta eficiencia en remoción de patógenos que facilita la reutilización y reciclaje del agua para riego.</p> <p>-Consumo energético reducido o nulo.</p>	

Continuación:

		<ul style="list-style-type: none">-Tienen la posibilidad de ser utilizados para la concientización y educación medioambiental.-Fácil operación y mantenimiento.-Coste de instalación muy inferiores al de una depuradora convencional.-Alta eficiencia de eliminación de patógenos.-No existe producción de lodos.-Evita proliferación de insectos.	
Zanjas de infiltración	<ul style="list-style-type: none">-Aplicable en suelos permeables.-Requieren de servicio de agua para asegurar el arrastre hidráulico.-No es aplicable en zonas de elevada pluviometría, lo que limita enormemente las cantidades que se pueden aplicar de aguas residuales para su tratamiento.	<ul style="list-style-type: none">-Bajos costos de instalación.-Estabilidad frente a variación de temperatura.-Reducida producción de fangos.-Contribuye a la recarga de manantiales.-Sencillez operativa.	<ul style="list-style-type: none">-Colmatación rápida del lecho filtrante si no hay un buen tratamiento previo.-No recomendable en suelos con niveles freáticos altos-Requieren de un área considerable.-Mantenimiento periódico de la superficie de aplicación.

Fuente: MVCS (2012, 2018), Hoffmann (2011) y Mena (2014)

Una vez seleccionada la tecnología de humedal construido, quedó por escoger entre flujo superficial o subsuperficial, dadas las ventajas del segundo con respecto al primero, como la prevención de aparición de insectos vectores, ausencia de generación de malos olores y mayores eficiencias, se escogió el humedal construido de flujo subsuperficial. A continuación, se analizó si usar humedales subsuperficiales de flujo vertical y de flujo horizontal y se escogió la segunda opción, pues tal como lo manifiesta ANA (2016), esta última alternativa tiene como ventaja ampliar el periodo de exposición de los contaminantes en el interior del sustrato, pues el agua se desplaza lentamente a través del humedal, pasando por el sustrato y las raíces de la vegetación escogida, por lo que la calidad del efluente puede resultar mejor. Es así que se eligió utilizar un humedal artificial horizontal de flujo subsuperficial.

4.4. Propuesta del sistema de tratamiento.

El principal objetivo del tratamiento fue la reutilización de las aguas residuales de la Institución Educativa Haparquilla. Teniendo en cuenta la escasez de fuentes de agua para riego, se planteó que el uso final del agua tratada fuese en riego. Para ello se estimó la carga orgánica a la salida del sistema de tratamiento propuesto y se compararon los valores con los Límites Máximos Permisibles (LMP) fijados en las normas nacionales, así como en las directrices de la OMS y de la Comisión Europea (Ver Tabla 40).

Para el diseño de la propuesta se estimó la clausura del baño antiguo y la redirección de aguas residuales de la cocina hacia el nuevo tratamiento propuesto.

Es así que tanto las aguas residuales del baño nuevo y su lavatorio, así como las de la cocina se direccionaron hacia el nuevo tratamiento.

Usando la metodología “Esquema de sistemas”, se esquematizaron las tecnologías escogidas en la figura 18, y en Anexo 16, el Plano de Generación Conducción y Almacenamiento de aguas residuales propuesto.

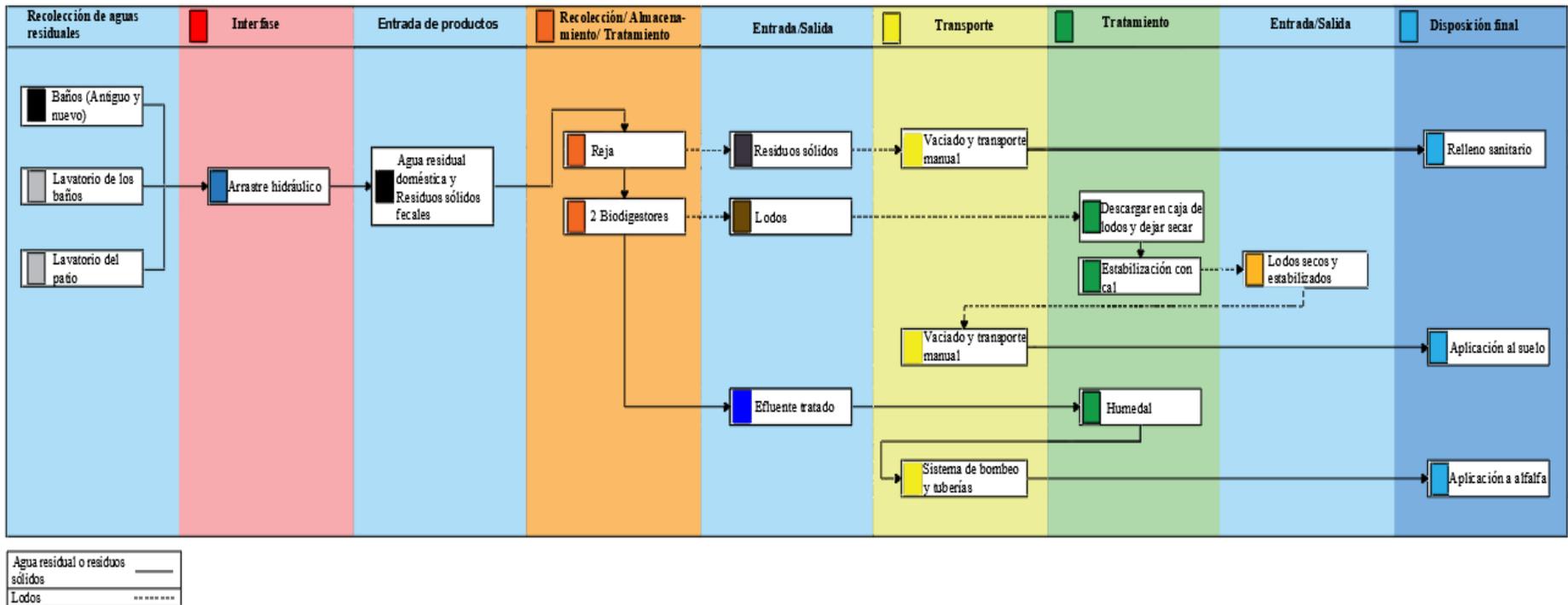


Figura 18: Esquema de sistemas del sistema de tratamiento propuesto

4.4.1. Consideraciones de diseño para las alternativas elegidas

Las unidades del sistema de tratamiento estarán ubicadas dentro de la Institución Educativa. Exactamente al lado del último baño construido y frente a la parcela de la Institución. Esta ubicación cumple con las recomendaciones dadas por Yocum (2013), quien sostiene que un sistema de tratamiento de aguas residuales debe ser ubicado de manera que reciba directamente el efluente y también debe estar expuesto al sol para facilitar sus procesos químicos.

4.4.2. Diseño de las unidades de tratamiento

Caja de ingreso al sistema

Se dispuso que sea construida en concreto con su respectiva tapa y que reciba las tuberías de recolección de aguas residuales de los inodoros, del urinario y de la cocina. Contendría rejas metálicas constituida por 7 varillas de 1 cm de espesor cada una, separadas a 2.54 cm y con 45° de inclinación que permitan retener los sólidos de gran tamaño, facilitando un mantenimiento manual y evitando así la obstrucción de las tuberías del sistema. Las dimensiones de la caja de ingreso se observan en la Tabla 32.

Caja de registro

El MVCS (2012b) señala que las cajas de registro reciben las aguas residuales con lo que se facilita su limpieza y mantenimiento, permiten la conexión con los biodigestores y sus dimensiones pueden ser de 0.3 x 0.6 m. Por fines prácticos se dispuso que la caja de registro contara con las mismas medidas que la caja de ingreso.

Las cajas de ingreso y registro se observan en el Anexo 16 en el Plano P – 04 y sus dimensiones en la Tabla 32.

Tabla 32: Dimensiones de la caja de ingreso y del registro sanitario

Variable	Unid	Valor
Largo total	m.	0.8
Ancho total	m.	0.5
Alto total	m.	0.5
Espesor de pared	m.	0.1
Volumen	L	160
Diámetro de tubería	pulg.	4"
Pendiente de tubería	%	2

Biodigestor prefabricado

Unidad de tratamiento primario está proyectada para tratar 50 por ciento de la carga orgánica de las aguas residuales (Mejía y Pérez, 2016) y (Ríos y Cisneros, 2016) y recibirá estas provenientes del registro sanitario a través de una tubería de 4". Se optó por dos biodigestores de 1300 litros de capacidad cada uno (Tabla 5).

Registro de lodos o cámara de extracción de lodos

Para el dimensionamiento del registro de lodos se consideró los diseños tomados de Rotoplas (2016), por lo que para dos biodigestores de 1300 litros se tendrá que implementar dos cajas de lodos de aproximadamente 184 litros cada una, de material impermeable y con tapa no hermética para ayudar en el secado de los lodos (Figura 19). En la Tabla 33 se puede visualizar las dimensiones y todas las características de los biodigestores elegidos y sus cajas de lodos.

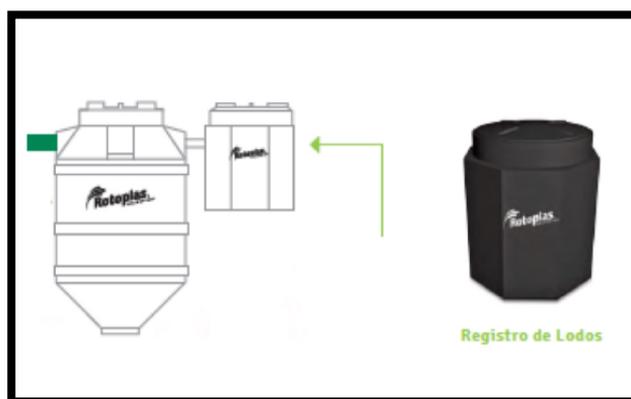


Figura 19: Caja de lodos para biodigestores de 1300 l

Fuente: Cartego (s. f.)

Tabla 33: Características y dimensiones de los biodigestores de 1300 l y sus cajas de lodos de 200 l

Parámetros	Unid	Valor
Cantidad de biodigestores	unid.	2
Volumen de biodigestores	litros	1300
Diámetro	m.	1.2
Altura	m.	2
Diámetro de accesorios de entrada	pulg.	4"
Diámetro de accesorios de salida	pulg.	3"
Cantidad de cajas de lodos	unid.	2
Evacuación de lodos por caja	litros	184
Diámetro de caja de lodos	m.	0.6

Alto de caja de lodos	m.	0.72
DBO ₅ de efluente sin tratar	mg/L	717.7
Eficiencia de remoción esperada	%	50
DBO ₅ de efluente esperado	mg/L	359

Caja de ingreso al humedal

Recibe las aguas de los biodigestores y las dirige hacia el humedal artificial a través de una tubería de 2" de diámetro, su propósito es permitir posteriores muestreos de agua para medir la eficiencia de tratamiento del biodigestor. Sus dimensiones fueron 0.5 m de alto, 0.5 m de ancho y 0.4 m de altura con un espesor de 0.1 m.

Humedal artificial

Recibirá las aguas de los biodigestores que previamente pasarán a través de la caja de ingreso al humedal. Constituirá el tratamiento complementario de las aguas residuales. Tendrá una eficiencia de 90 por ciento en la remoción de la DBO₅ del agua residual, este valor fue aproximado al de la información revisada (Mena, 2014) dada la alta eficiencia del tratamiento primario (50 por ciento), una eficiencia adicional del sistema de tratamiento complementario de 90 por ciento mejoraría en gran medida la calidad, tomando algunas otras medidas adecuadas, para poder reutilizar el efluente en riego.

- **Vegetación:** Hoffmann (2011) recomienda el uso de plantas locales que crecen naturalmente en humedales o riberas de ríos de preferencia con raíces extensas y con capacidad de soportar altas cargas. Para Yocum (2013), una de las especies estudiadas y que soportan altas cargas, son las Totoras (del quechua t'utura) o Juncos (*Schoenoplectus californicus*) estos crecen en agua y en grupos, a profundidades de 5 cm a 3 m. y logran una eliminación alta de contaminantes. Yocum recomienda utilizar plantas encontradas en lugares cercanos al humedal artificial, ya que estas están adaptadas al clima del lugar. Se identificó la presencia de *Schoenoplectus californicus* en los riachuelos y humedales naturales cercanos a la Institución Educativa Haparquilla, por lo que se escogió dicha macrófita para su plantación en el humedal artificial.

- **Impermeabilizante:** Para garantizar un correcto tratamiento de las aguas residuales dentro del humedal y para evitar posibles filtraciones, se propuso una impermeabilización con geomembrana HDPE de 1 mm. Este material se caracteriza por tener tiempos de vida largos, resistencia a las condiciones ambientales, facilidad de instalación y bajos costos en comparación con alternativas como el concreto armado.
- **Sustrato:** Para escoger la granulometría del sustrato, nos basamos en las investigaciones de Lapa (2014), en cuyo caso escogió sustrato de 8 mm de tamaño efectivo, es decir confitillo y arena gruesa, tamaño suficiente para lograr una adecuada eficiencia de remoción de contaminantes de las aguas residuales, tal que puedan ser reutilizados en riego. Los diámetros y características relevantes del medio para el diseño, se presentan la Tabla 34. Asimismo, para nuestro diseño se eligió un espesor de 70 cm, dimensión que se encuentra en el rango mencionado en Espinoza (2014), de 0.45 a 1 m.

Tabla 34: Características típicas del medio para humedales de flujo subsuperficial

Medio	Tamaño efectivo, mm	Porosidad (n)	Conductividad Hidráulica (Ks), m/d
Arena media	1	0.3	500
Arena gruesa	2	0.32	1000
Arena y grava	8	0.35	5000
Grava media	32	0.4	10000
Grava gruesa	128	0.45	100000

Fuente: Espinoza (2014).

Hoffmann (2011), sugiere que la entrada y salida del humedal subsuperficial de flujo horizontal deben llenarse con grava o piedra de mayor tamaño que la del lecho, con una longitud de 60 cm en todo el ancho. Esta capa de grava tiene la función de evitar taponamientos y de proteger el área de entrada y salida, distribuyendo efectivamente el agua que entra en el humedal y evitando su acumulación en la superficie, mientras que en la salida la grava asegura que la arena del lecho filtrante se mantenga dentro del humedal y que no se pierda con el efluente. Por ello se decidió usar 60 cm de grava en ambas partes del humedal.

Asimismo, el humedal contará con tuberías de 2” a la entrada y salida perforadas cada 20 cm con agujeros circulares de 8 mm de diámetro, dimensiones recomendadas por Günter *et al.* (2007) para evitar el bloqueo de estas a causa de los sólidos. Esto

con el objetivo de lograr condiciones de flujo uniforme y así alcanzar rendimientos esperados.

- **Dimensionamiento:** El diseño utilizado fue el desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (U. S. EPA, 1993), la cual utiliza ecuaciones similares a las sugeridas en la Norma Técnica de Diseño: Opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural elaborado por el MVCS (2018). La única diferencia estriba en la determinación de la constante de primer orden a 20°C (K20), pues para ello EPA toma en cuenta las características del medio. Así para un medio granular de 8 mm de diámetro, K20 es 0.86. Algunos valores de K20 según el medio se muestran en la tabla 35.

Tabla 35: Parámetros de diseño según el medio granular

Medio	Tamaño del grano (mm)	Porosidad (n)	Conductividad Hidráulica (Ks), m/d	Constante de primer orden a 20°C (K20)
Arena media	1	0.3	500	1.84
Arena gruesa	2	0.32	1000	1.35
Gravilla arenosa	8	0.35	5000	0.86

Fuente: Hoffman (2011)

- **Diseño del humedal de flujo subsuperficial**

Para el dimensionamiento del humedal construido se consideró un afluente de 359 mg/L de DBO₅, resultado de la remoción del biodigestor (50 por ciento) de 717.7 a 359 mg/L y un caudal de 1.3 m³/día, entre otras características requeridas.

Tabla 36: Parámetros utilizados para el dimensionamiento del humedal horizontal de flujo subsuperficial

Parámetro	Unidad	Valor
Caudal (Q)	m ³ /día	1.3
Concentración del afluente (Co)	mg/L	359
Eficiencia (Ef)	%	90
Concentración del efluente (Ce)	mg/L	36
Porosidad (n)	decimal	0.35
Conductividad hidráulica (Ks)	m/d	5000
Pendiente (S)	decimal	0.005
Temperatura (T)	°C	11.3
Altura efectiva del humedal (h)	m	0.7
Ancho disponible (a)	m	4

Los cálculos realizados al detalle se muestran a continuación:

Constante de velocidad de reacción (Kt)

$$K_t = 0.86 \cdot (1.1^{(T-20)})$$

$$K_t = 0.86 \cdot (1.1^{(11.3-20)})$$

$$K_t = 0.375$$

Área de sedimentación (As)

$$A_s = Q \cdot \ln(C_o/C_e) / (K_t \cdot h \cdot n)$$

$$A_s = 1.3 \cdot \ln(359/36) / (0.375 \cdot 0.7 \cdot 0.35)$$

$$A_s = 32.6 \text{ m}^2$$

Tiempo de retención hidráulico (Tr)

$$T_r = (A_s \cdot h \cdot n) / Q$$

$$T_r = (32.6 \cdot 0.7 \cdot 0.35) / 1.3$$

$$T_r = 6.14 \text{ días}$$

Longitud (L)

$$A_s = L \cdot a$$

$$a = A_s / L$$

Asumiendo $a = 4.04$ para cumplir la relación 2:1 (Günter *et al.*, 2017):

$$\text{Entonces } L = 8.08$$

Por fines prácticos se elegirá 4 y 8 de ancho y largo, respectivamente.

Determinación de cargas del afluente que ingresa al humedal

Carga orgánica (C)

$$C = Q * DBO_5/1000$$

$$C = 1.3 * 359 / 1000$$

$$C = 467.2 \text{ g DBO}_5/\text{dia}$$

Carga Superficial (CS)

$$CS = C/As$$

$$CS = 467.2/32.6$$

$$CS = 143.3 \text{ Kg DBO}_5/ \text{ m}^2.\text{dia}$$

$$CS = 14.3 \text{ g DBO}_5/ \text{ m}^2.\text{dia}$$

En la siguiente tabla se resumen las dimensiones del humedal artificial.

Tabla 37: Resumen de dimensiones del humedal artificial

Parámetro	Unidad	Valor
Número de unidades	Unid	1
Largo útil	m	8
Ancho útil	m	4
Área	m ²	32
Profundidad útil	m	0.7
Borde libre	m	0.1
Profundidad total	m	0.8
Talud	°	60

Tanque de recolección

Será ubicado a la salida del humedal, recolectará el efluente tratado y permitirá su almacenamiento para su uso posterior. Desde este tanque se bombeará las aguas residuales hacia el sistema de reutilización planteado. Este será un tanque de polietileno Rotoplas de 2000 litros de capacidad. En la Tabla 38 se visualiza el cálculo del dimensionamiento de la capacidad de almacenamiento del tanque y en la Tabla 39, sus dimensiones.

Tabla 38: Cálculo del dimensionamiento del tanque de almacenamiento

CÁLCULO DEL RESERVORIO		
Necesidad de riego	3.78	mm/día
Superficie Irrigada	0.0105	Ha
Demanda Diaria	0.40	m ³ /día
Oferta Diaria Agua residual tratada	0.50	m ³ /día
Intervalo de riego	3.00	Día
Volumen requerido	1.50	m ³
Factor de seguridad	10.00	%
Volumen de diseño	1.70	m ³
Volumen del tanque	2.00	m³

Tabla 39: Dimensiones y características del tanque de recolección

Variable	Unidad	Valor
Diámetro	m	1.26
Altura	m	1.84
Capacidad	L	2000
Diámetro de tubería y accesorios	Pulg	2

Acomodo de los componentes

Para las opciones elegidas los componentes del sistema son: caja de ingreso, caja de registro, biodigestor prefabricado, caja de ingreso al humedal y humedal artificial. En la Figura 20, se muestra un esquema del acomodo de los componentes:

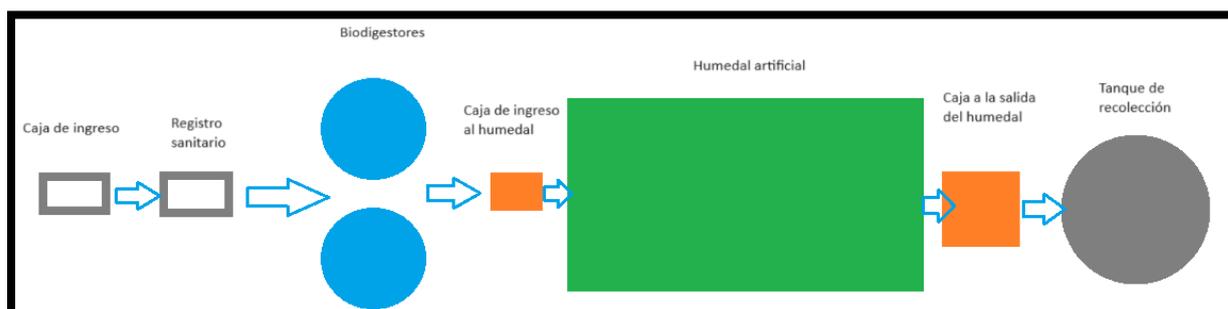


Figura 20: Esquema del acomodo de los componentes

4.4.3. Operación y mantenimiento de los componentes del sistema de tratamiento

La operación y mantenimiento de cada uno de los componentes del sistema de tratamiento, así como los costos que conlleva, se presenta en el Anexo 15, Tabla 70.

4.4.4. Tratamiento y disposición de lodos

Para la disposición de los lodos, primero deberá realizarse su extracción seguida de su estabilización, para ello, una vez al año se procederá a abrir la válvula de lodos de cada biodigestor para que estos sean descargados en sus respectivas cajas de lodos, como expresa Rotoplas (2015) al final de la descarga se debe echar encima una cantidad de cal para lograr la estabilización.

Huanca *et al.* (2021) plantea que para lograr la estabilización se requiere un 8 por ciento de cal viva y un 92 por ciento de lodo expuesto a la primera durante 13 días, logrando elevar a 12 el pH por un periodo de al menos 72 horas, lo que garantiza una eficiente reducción de microorganismos. Teniendo en cuenta que cada caja de lodos tiene una capacidad de aproximadamente 184 L, por cada 150 Kg de lodo se requerirían 13 Kg de cal viva para lograr su estabilización y la obtención de biosólido, después de ello podrá hacerse uso directo del biosólido con fines agrícolas.

En la Figura 21 se esquematiza el proceso de estabilización de lodos con cal.

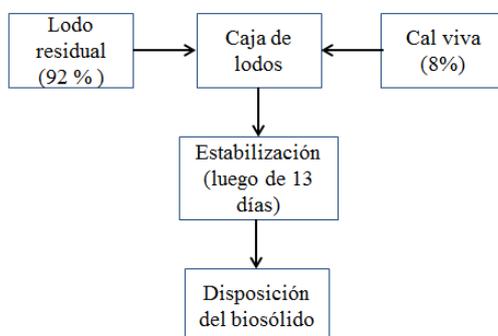


Figura 21: Esquematización del proceso de tratamiento lodo con cal

Fuente: Elaboración propia

Los criterios de seguridad que se tomarán en cuenta al reusar los lodos serán:

- Uso de la cantidad establecida líneas arriba.
- El lodo a reutilizar deberá estar seco.
- El lodo no será utilizado en hortalizas.
- Se utilizará protección personal al momento de usarlo, como guantes y botas de jebe y se evitará el contacto con los estudiantes.

4.4.5. Calidad del agua residual tratada

Según los resultados de la caracterización del agua residual (Anexo 5), los valores de los parámetros representativos analizados en laboratorio fueron: DBO₅ (717.7 mg/L), DQO (1552.00 mg/L), SST (1445.00 mg/L), coliformes fecales (3.5×10^7).

De acuerdo a la eficiencia del sistema de tratamiento planteado, se tendrían rendimientos de remoción de los biodigestores: DBO₅ (50%), SST (75%), estos dos deducidos de las investigaciones de Mejía y Pérez (2016) y Ríos y Cisneros (2019), eficiencia de remoción de DQO (82%), y coliformes fecales (97.3%), valores extraídos de las investigaciones de Ríos y Cisneros (2019) y para el tratamiento secundario: DBO₅ (90%), DQO (84.98%), SST (84.35%) y coliformes fecales (99.9%), valores obtenidos de las investigaciones de Mena (2014). En la Tabla 40 se muestra una aproximación de los valores de los parámetros de las aguas residuales ya tratadas, según las eficiencias de remoción en cada etapa.

Conforme con los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR (Anexo 10), los valores demandados de DBO son de 100 mg/L, los de DQO, de 200 mg/L y los de SST, de 150 mg/L. En base a ello, los valores de estos parámetros obtenidos después del tratamiento del agua residual, DBO₅ (36 mg/L), DQO (42 g/L) y SST (56.5 mg/L), sí cumplirían con estos requerimientos.

Por otro lado, los valores demandados de Coliformes Termotolerantes según los LMP es de 10000 NMP/100 mL, y de 1000 NMP/100, según la OMS, y al revisar el valor proyectado obtenido de este parámetro después del tratamiento que resulta 945 NMP/100 mL, se deduce que cumpliría ambas normativas.

Finalmente, los valores exigidos de huevos de helmintos por cada litro, planteados por la OMS, son de menos de 1 huevo/L, puede observarse que, al proyectar la remoción del sistema en este parámetro, sí se cumpliría dicha normativa.

Tabla 40: Valores aproximados obtenidos por parámetro según la eficiencia de remoción

AFLUENTE		BIODIGESTOR		HUMEDAL		EFLUENTE	
Parámetro	Afluente	Salida Biodigestor	% Remoción	Salida del Humedal	% Remoción	Valor OMS	Valor LMP
DBO₅ (mg/L)	717.7	359	50	36	90	-	100
DQO (mg/L)	1552	279.4	82	42	84.9	-	200
SST (mg/L)	1445	361	75	56.5	84.4	-	150
CF (NMP/100mL)	3.50E+07	945000	97.3	945	99.9	-	10000
Huevos /L	≥ 1				≤ 1	SI	-

4.5. Propuesta del sistema de reutilización de las aguas residuales tratadas

En la Institución Educativa Haparquilla, existe un déficit de agua para riego de cultivos y áreas verdes en los meses de estiaje. La reutilización de las aguas tratadas permitirá cubrir dicho déficit, adicionalmente estas aguas tratadas aportarán con nutrientes que favorecerán el desarrollo y productividad de la alfalfa, así como se demostró en la Tabla 12 de ANA (2016).

En cuanto a la incertidumbre de una posible contaminación microbiológica del suelo por el uso de aguas residuales tratadas, las investigaciones de Gonzales-Fragoso *et al.* (2020) concluyeron que no había diferencias significativas de contaminación microbiológica en el riego con agua residual tratada y el riego con agua subterránea. Más aún, el riego con agua residual tratada minimizará las posibilidades de contaminación microbiológica que si no se tratara el agua y se vertiera cruda al ambiente o que los estudiantes siguieran defecando al aire libre.

4.5.1. Uso de Barreras Múltiples

Teniendo en cuenta a ANA (2016), quien manifiesta que una combinación adecuada de barreras debería ser suficiente para lograr un nivel de riesgo aceptable (un AVAD de 10^{-6}) y considerando que, en la medida que la calidad del agua residual tratada disminuye, la cantidad de barreras necesarias es mayor. Observamos que la calidad proyectada de agua residual tratada para nuestro caso sería de mediana calidad (Tabla 19), entonces se requeriría tan solo una barrera (a partir del agua residual ya tratada) para lograr la meta y poder regar un cultivo forrajero (Tabla 20); no obstante, dada la existencia de niños menores de 15 años, por cuestiones de seguridad, se decidió implementar una barrera adicional, es decir que se implementarían en total dos barreras después del tratamiento para asegurar la meta deseada, tal como lo sugiere la OMS (2006):

- 1. Riego localizado de cultivos de tallo alto (Categoría C).** Se eligió el riego por goteo por ser el más seguro, más eficiente (90 por ciento) y con capacidad de remoción de patógenos (hasta 4 unidades logarítmicas), considerado como “Otro tipo de tratamiento” y el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa L.*), por su nivel de exigencia en cuanto calidad (≤ 1 huevo/L de nemátodos), que sí se cumpliría con el tratamiento propuesto, su gran capacidad productiva y sus beneficios en cuanto a la conservación del suelo gracias a su capacidad fijadora de nitrógeno.

Además, por ser compatible con el riego localizado por goteo, pues a través de este se obtienen diversos beneficios como mayor rendimiento, aprovechamiento más eficiente del agua, menores costos de cosecha, menores costos de mano de obra, menor consumo de energía y menor presencia de malezas que otras especies (Farms, 2012).

Adicionalmente estas aguas tratadas aportarán con nutrientes que favorecerán el desarrollo y productividad de la alfalfa, así como lo señaló ANA (2016) en la Tabla

12. Es importante considerar la aceptación de la población ante el reúso de aguas residuales tratadas en forrajes, según los resultados de las encuestas realizadas a la población y a los padres de familia de la I. E.

En cuanto a la rentabilidad, tener en cuenta que en este cultivo se realizan varios cortes al año y que, según las encuestas realizadas en la población, es común sembrarlo en la zona para la alimentación de animales menores como cuyes y conejos, entre otros. Así que el mercado estaría asegurado. En este sentido la inversión realizada en la instalación del sistema de riego podría recuperarse en muy poco tiempo, generando incluso ganancias a la I. E., haciendo de esta opción, muy rentable.

2. **Control de acceso y exposición.** A través del fomento de lavado de manos de los agricultores después de cada jornada (obligatorio) y la restricción de entrada al campo del regadío de los estudiantes de la Institución Educativa, niños menores de 15 años, durante 24 horas o más después del riego, esta última acción es opcional.

Así la implementación de estas barreras serían más que suficientes para lograr la meta propuesta para su inocua reutilización. En la Tabla 41 se muestra de manera resumida la reducción de patógenos en unidades logarítmicas de cada una de las barreras incluyendo el tratamiento como medida de protección a la salud inicial:

Tabla 41: Cuantificación de la reducción de patógenos en Unidades logarítmicas de las barreras implementadas incluyendo al tratamiento

Medida o barrera	Reducción de patógenos (Unidades logarítmicas)	Fuente
Tratamiento	3	OMS (2006)
Riego por goteo en cultivos de tallo alto	4	OMS (2006)
Control de acceso y exposición	1	Comisión Europea (2022)
Total	8	

Teniendo en cuenta que la cantidad de coliformes fecales o termotolerantes (indicadores de contaminación fecal según Díaz *et al.* (2003)) que ingresa al sistema es 3.5×10^7 CT/100 mL, se espera que la remoción total de patógenos, producto de la combinación del tratamiento y las barreras sea más que suficiente (remoción mínima de 7 unidades

logarítmicas de patógenos), lo que garantizaría un reúso inocuo de las aguas residuales tratadas.

Las Guías OMS (2006) sugieren establecer esta serie de barreras a lo largo de la cadena de reúso de las aguas residuales tratadas en lugar de centrarse sólo en la calidad de las aguas residuales disponibles. Así en la Figura 22 se visualiza de manera esquemática el número de barreras propuestas después del tratamiento para lograr el reúso inocuo de las aguas residuales conforme a la calidad proyectada después del tratamiento.

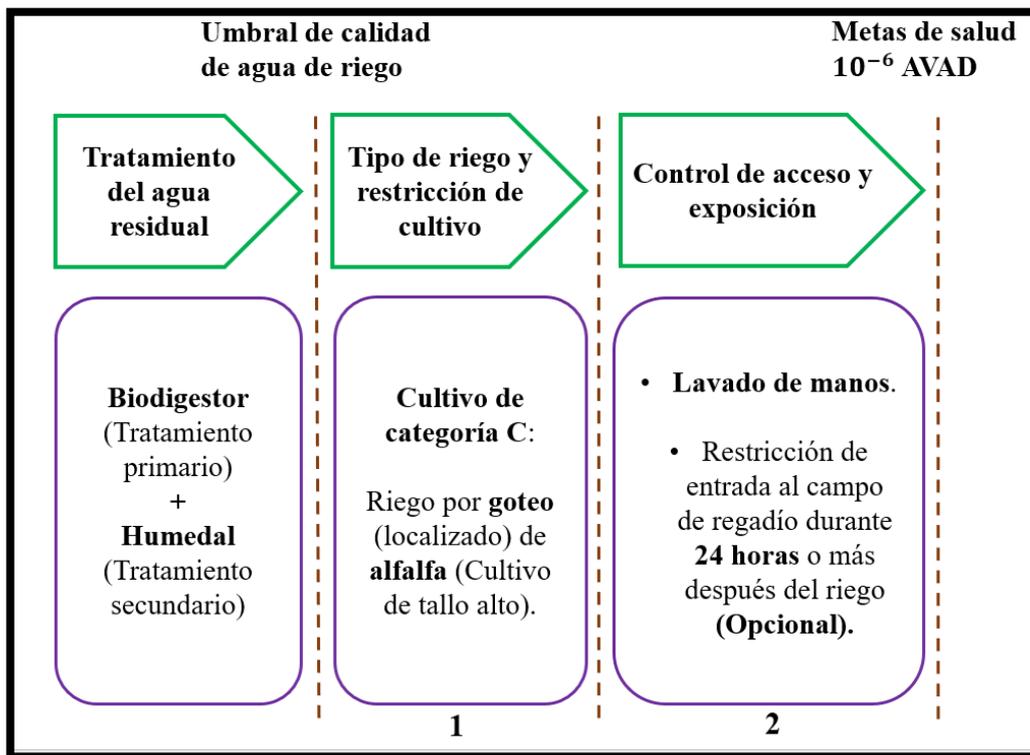


Figura 22: Barreras propuestas después del tratamiento para lograr el objetivo de 10^{-6} AVAD

Fuente: Elaboración propia

4.5.2. Cálculo de la oferta o volumen generado de aguas residuales

Para aplicar este sistema de riego con aguas residuales tratadas fue necesario conocer su oferta, pues la dimensión del área a regar dependía de la oferta de agua residual tratada.

De esta manera se obtuvo un volumen promedio de 500 l acumulados en 8 horas (tiempo que permanece abierta la Institución Educativa), es decir 500 l/día, es decir un caudal promedio diario de 0.017 l/s (Anexo 9, Tabla 54).

4.5.3. Cálculo de la demanda de agua del cultivo

En este caso, es necesario hacer coincidir la máxima demanda del cultivo con la oferta de agua residual tratada, esto para lograr que el agua sea suficiente. En base a los cálculos, con la oferta hallada (considerando un adecuado margen de error ya que no todos los días se genera el mismo caudal) con 400 l/día de caudal asegurado se podría irrigar 105 m² de área. Se determinó una demanda máxima de 3,78 mm/día.

4.5.4. Balance hídrico y frecuencia de riego

El balance hídrico se evalúa con los resultados de oferta y demanda para el área destinada, 105 m². En Tabla 58 puede observarse que la demanda es cubierta durante todos los meses; no obstante, en Enero y Febrero la demanda es totalmente cubierta por las lluvias, y no se considera en el balance con proyecto dado que la Institución Educativa se encuentra de vacaciones y no hay oferta de agua residual tratada esos meses. El mes de mayor demanda es Setiembre; con un volumen de agua diario de 0.4 m³. En la Tabla 58 y en la Figura 48 se visibiliza el balance hídrico diario entre oferta y demanda.

Ahora bien, teniendo en cuenta el diseño agronómico, se decidió regar cada tres días, dos veces por semana, lunes y jueves, lo que significaría que ya no se le entregaría solo 0.4 m³ diarios al cultivo de alfalfa sino el triple de esta cantidad, 1.2 m³, bajo este contexto se realizó el balance hídrico observado en la Tabla 59 y en la Figura 49. En cuanto a la oferta, sabiendo que diariamente se produce más de lo que se necesita 0.5 m³/día, sumando la oferta, 1.5 m³, cada tres días, sobraría una cantidad de agua necesaria para evitar el deterioro de la tubería de succión de la bomba.

4.5.5. Diseño del sistema de riego

4.5.5.1. Diseño Agronómico

En base a los datos hallados se calculó una lámina neta de 136.42 mm y con 90 por ciento de eficiencia por ser riego por goteo, la lámina bruta de riego resulta 151.58 mm, cantidades

que representa la dosis de agua requerida para alcanzar la capacidad de campo (CC), indispensable para iniciar el primer riego de un cultivo (Chow, s. f.).

Después del primer riego se realizará el riego habitual y permanente, cuya determinación de lámina neta y lámina bruta diaria fue extraída de la tabla 57 cuyas cantidades son 3.4 mm y 3.78 mm al día, respectivamente, el intervalo de riego resultó de 3 días, es decir que se regará los días lunes y jueves con una lámina neta de 10.21 mm, y considerando que la eficiencia de riego por goteo es 90 por ciento, la lámina bruta resultante es de 11.34 mm.

Seguidamente se escogió un caudal de gotero de 1.6 l/h, cantidad necesaria y suficiente para realizar los cálculos requeridos en el diseño agronómico e hidráulico y dado que el cultivo es alfalfa, se escogió una distancia entre plantas de 30 cm y una distancia entre surcos de 20 cm, estas dimensiones serán la base para la distribución de los emisores y los portlaterales y, de esta manera la distancia entre surcos coincidirá con la distancia entre laterales y la distancia entre goteros, con la distancia entre plantas.

En la Tabla 61 se muestra la hoja de Excel con todos los cálculos del diseño agronómico.

4.5.5.2. Diseño Hidráulico

Una vez esquematizada la distribución del sistema, obtenido el caudal de gotero, el número de turnos, el tiempo de riego y el caudal necesario para este propósito. Fue necesario realizar varias hojas de cálculo para determinar la Altura Dinámica Total así como las velocidades y dimensionamiento de las tuberías, mangueras, filtro, bomba y accesorios a utilizar. En la Tabla 61 se visualizan algunos de los parámetros previamente determinados en el diseño agronómico, datos que servirán como punto de partida para el diseño hidráulico (Tabla 62).

a) Altura dinámica total (ADT)

Para Marchena (s. f.) la Altura dinámica total de bombeo es un valor que representa todos los obstáculos que tendría que vencer el agua de riego, siendo impulsado por una bomba, para poder llegar hasta un punto deseado, este se expresa en metros de columna de agua (m. c. a.). Al sumar todas las pérdidas de carga, resultó una altura dinámica total (ADT) de 32.89 metros de columna de agua (Tabla 64).

b) Sistema de bombeo

Para su elección es necesario conocer el ADT y el caudal del sistema, así para la succión y conducción del agua almacenada en el tanque de recolección hacia la matriz y los laterales de riego y para un caudal de 2.8 m³/h y 32.89 m. c. a. se escogió la electrobomba centrífuga monofásica CPM 620 de 1 HP y 0.75 Kw. En la Tabla 65 se visualizan los parámetros mencionados para la elección de la bomba y en la Figura 50 se plasma la manera en que se eligió dicha bomba.

c) Cálculos hidráulicos de la red principal o matriz

Para ello se tomaron en cuenta parámetros como longitud de tramo de tuberías, 1.1 m y 4.14 m (A-B Y B-C, respectivamente), caudal (0.78 lps), rugosidad del material (150), diámetros internos (29.4 mm,) obteniéndose una pérdida de carga en la matriz de 0.28 m y 1.15 m/s de velocidad. Para la matriz se eligió una manguera de PVC, C-10 de 1". Los respectivos cálculos se encuentran en la Tabla 66.

d) Cálculos hidráulicos en los portlaterales

Una vez realizada la determinación del marco de riego en el diseño agronómico, pudo deducirse la distribución de portlaterales y laterales en el terreno, según esta distribución se dividió el portlaterales en distancias de 0.2 m (pues se instalará un lateral cada 0.2 m) y se realizaron los cálculos correspondientes para cada tramo con la finalidad de hallar los cambios de diámetro, velocidades y pérdidas de carga a lo largo de todo el portarregantes y se obtuvo una pérdida de carga de 3.3 m, además, se cumplió que la velocidad crítica para cada tramo no sobrepasa los 2 m/s (Tabla 67).

e) Sistema de filtrado

El agua residual tratada posee cierta cantidad de sólidos suspendidos totales, lo que requeriría la presencia de un filtro en el sistema de reutilización para evitar el taponamiento de los emisores y evitar el contacto de trabajadores con las aguas residuales tratadas (IMTA, 2013).

Para la selección del filtro se utilizó la herramienta desarrollada por Rivulis, quien desarrolló una herramienta tipo calculadora, "Encuentre su filtro" (Figura 51).

Así, dada la calidad esperada del agua tratada por el biodigestor y el humedal (75 y 84.5 por ciento de eficiencias, respectivamente), resultando aproximadamente 56.5 mg/L, el bajo

caudal disponible ($0.78 \text{ m}^3/\text{h}$), el caudal del gotero (1.6 l/h) y teniendo en cuenta que son aguas residuales tratadas, se optó por la utilización de un filtro de anillas de 130 micras, 120 mesh, pues tomando las palabras de Pizarro (1996), una ventaja de este tipo de filtro es la facilidad de su limpieza, simplemente abriendo la carcasa y aplicando un chorro de agua a las anillas.

Para determinar las dimensiones del filtro fue necesario analizar las curvas proporcionadas por el proveedor, así para el caudal deseado, $2.8 \text{ m}^3/\text{h}$ se tendrá una pérdida de carga de aproximadamente 0.12 bares si se elige un filtro de 1". Para el caudal inicial, las pérdidas de carga resultan bajísimas al analizar las curvas de caudal vs pérdida de carga, proporcionadas por el proveedor (Figura 52).

f) Programación de turnos de riego.

El riego será realizado en un solo turno durante 26 minutos, dos veces por semana: lunes y jueves a las 6:00 PM, esto porque en dicho horario ya no se visualiza la presencia de docentes, padres de familia, ni estudiantes, siendo este último de importancia para evitar el contacto de los mismos con las aguas residuales tratadas; a esta hora solo se encuentra el encargado de las instalaciones que será también el operador del sistema de tratamiento y riego. Además, cabe resaltar que, en dicho horario disminuyen los niveles de evaporación del agua, por lo tanto, el riego sería más eficiente (Tabla 61).

4.5.6. Propuesta del sistema de riego

Una vez seleccionada la tecnología más viable, el riego por goteo, y realizado el diseño correspondiente, se elaboró la propuesta del sistema de riego, para lo cual se realizaron las siguientes actividades:

- 1) Generación de planos (Anexo 16).
- 2) Metrados y estimación de costos (Anexo 14).

4.5.7. Operación y mantenimiento del sistema de riego

Las acciones de operación y mantenimiento para el sistema de riego, así como sus costos se encuentran detalladas en el Anexo 15, Tabla 71.

V. CONCLUSIONES

1. De acuerdo al diagnóstico se determinó que la institución educativa genera 0.5 m³/día de aguas residuales domésticas, y que proyectado a un periodo de crecimiento de 20 años daría un resultado de 1.3 m³/día, caudal con el que se diseñó el sistema de tratamiento propuesto. Se realizó la propuesta ya que los efluentes generados no tienen un tratamiento adecuado, pues los biodigestores instalados no han recibido mantenimiento desde su instalación en 2011, adicional a ello, la instalación del pozo de absorción no cumple con las recomendaciones del MVCS, generando la presencia de malos olores y la proliferación de insectos vectores que pueden ser transmisores de enfermedades, generando un problema de contaminación y posible afectación a la salud humana.
2. Luego de la evaluación de las principales variables para las tecnologías de tratamiento consideradas, se eligió una propuesta que permita tanto el tratamiento como el reúso de las aguas residuales, encontrándose que las tecnologías que más se ajustan a este fin son los biodigestores (tratamiento primario) y los humedales (tratamiento secundario), de esta manera se propuso que el sistema de tratamiento esté compuesto por dos biodigestores y un humedal artificial horizontal de flujo subsuperficial con sustrato de 8 mm (gravilla) y el uso de totoras o juncos (*Schoenoplectus californicus*) para lograr una alta eficiencia de remoción de contaminantes. Ambas tecnologías, en conjunto, tendrían la capacidad de reducir un orden de 7 unidades logarítmicas de patógenos.
3. Se ha estimado que los efluentes del sistema de tratamiento propuesto tendrían valores de DBO₅ aproximado de 36 mg/L, DQO de 42 mg/L, SST de 57 mg/L. Estos valores posicionarían al agua residual tratada en la categoría de agua de mediana calidad y, para cumplir con la meta de salud de 10⁻⁶AVAD se ha propuesto, de forma complementaria al sistema de tratamiento, la implementación de dos barreras:

- Cultivo de categoría C (Riego por goteo de un cultivo de tallo alto), se eligió el riego por goteo por ser este el más eficiente e inocuo y, además, en palabras de la FAO (1996), constituir “otro tipo de tratamiento”, asimismo se eligió el cultivo de alfalfa por sus altos rendimientos al ser regados con aguas residuales tratadas según ANA (2016), la aceptación de la población ante el reúso de aguas residuales tratadas en forrajes y por su rentabilidad.
 - Lavado de manos para los trabajadores y restricción de entrada al campo de regadío durante más de 24 horas después del riego, este último como medida opcional.
4. El costo total del sistema de tratamiento de aguas residuales es **S/. 30923.17**, el costo del sistema de reutilización de agua es **S/. 5516.1** y el costo de operación y mantenimiento anual aproximado de ambos sistemas es de **1262.5 nuevos soles.**

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda que el personal de mantenimiento de la institución educativa sea el responsable de la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento y riego. Para lo cual se deberá ser capacitado y equipado con los implementos necesarios para realizar dichas actividades.
2. De ser implementado el sistema de tratamiento de aguas residuales y su reutilización, se recomienda su integración con programas de educación ambiental para los escolares a fin de concientizarlos en temas como: la contaminación ambiental y el reúso de aguas residuales.
3. Para el correcto mantenimiento de las tecnologías de tratamiento de aguas residuales y riego, se recomienda realizar talleres de capacitación con los padres de familia, ya que estos también participaran en su mantenimiento a través de faenas de trabajo programadas.
4. Para la implementación de proyectos de similares características, es importante tomar en cuenta el escenario donde se implementan este tipo de propuestas de solución, pues el conocimiento, opinión y grado de aceptación de los beneficiarios influirán en cuan sostenible en el tiempo será el proyecto.
5. Para lograr las restricciones en el acceso a la parcela de regadío con el fin de controlar la exposición de trabajadores, animales y niños, será imprescindible realizar una capacitación y concientización previa tanto a docentes y padres de familia como a los estudiantes de la Institución Educativa e incorporar la respectiva señalética para prevención de riesgos.
6. Involucrar a la Municipalidad Provincial para contar con manuales o guías sobre el reúso de aguas residuales tratadas en el Perú.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, S., Vargas, M., Zerón, M., Cruz, M., Florez-Gómez, S. (2018). Tratamiento primario de aguas servidas mediante tanque séptico en urbanización de Luriganchó, Lima. *Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo* 4 (2), 29 – 41. <https://doi.org/10.17162/rictd.v4i2.1095>
- ANA (2016). *Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas*. (1 ed.). Lima. Perú. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/manual_de_buenas_practicas_para_el_uso_seguro_y_productivo_de_las_aguas_residuales_domesticas.pdf
- ANA (Autoridad Nacional del Agua). (2018). *Guía Técnica Para Reúso Municipal de Aguas Residuales Tratadas en el riego de Áreas Verdes de Lima Metropolitana*. (1 ed). <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/3167>
- Asociación Vivamos Mejor (2017, 7 julio)). *Manual Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales y Manejo de Biodigestores Domiciliarios*. https://issuu.com/asociacionvivamosmejor/docs/manual_aguas_residuales26-04-2012
- Azud (2020). ¿Cómo escoger el filtro más adecuado para riego por goteo?. [Archivo de video]. <https://www.youtube.com/watch?v=hOpd1B6dmk8>
- Cartego (s. f.). *Registro de lodos para biodigestor Rotoplas*. <https://cartegomart.com/registro-de-lodos-para-biodigestor-rotoplas/>
- Casa, V. R. (2013). *Propuesta Metodológica de programación de riego por aspersión mediante el tanque evaporímetro clase A – Irrigación Huaccoto - Orurillo*. [Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio UNAP. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4515>

- Chow, J. L. (s. f.). Cálculo de requerimientos de riego. http://www.riego.elesteliano.com/ayuda/Fto2_Requerimientos_de_riego.htm
- Comisión Europea (2022). *Directrices para apoyar la aplicación del Reglamento 2020/741 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua*. Diario Oficial de la Unión Europea. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-Z-2022-70054>. 25 p.
- Contreras, R., Hernández, N., Morales, M., Ruiz, M., Rodríguez, L., Pérez, M., & González, G. (2013). *Manual de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en Japón. Semarnat-Conagua* (1st ed.). Coyoacán, México. Retrieved. <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/135609/SGAPDS-3-13.pdf>
- Decreto Supremo N° 023-2005-Vivienda. Ley N° 26338. Aprueban el Texto Único Ordenado del Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento. Diario Oficial El Peruano.
- Decreto Supremo N°031-2008-Vivienda. Decreto Supremo que Modifica el Texto Único Ordenado del Reglamento de la Ley General de Servicios de Saneamiento. Diario Oficial El Peruano, 30 de noviembre del 2008.
- Decreto Supremo N°015-2017 Vivienda: Reglamento para reaprovechamiento de lodos generados en PTAR. <https://nike.vivienda.gob.pe/dgaa/Archivos/DS-015-2017-VIVIENDA-norma%20legales.pdf>
- Deister, F. y Oliveira, E. H. (Noviembre, 2020). Constructed wetlands applied in rural sanitation: A review. *Environmental Research. Volumen 190*. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110016>
- DePeru.com. (s. f.). Escuela 50106 – Haparquilla: Primaria Pública: Sector Educación <https://www.deperu.com/educacion/educacion-primaria/escuela-50106-0405894-haparquilla-72434>
- Díaz, C; Fall, C; Quetin, E; Jiménez, MC; Esteller, MV; Garridos, SE; López, CM; García, D. (2003). *Agua Potable para comunidades rurales, reúso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*. <https://www.virtualpro.co/biblioteca/agua-potable-para-comunidades-rurales-reuso-y-tratamientos-avanzados-de-aguas-residuales-domesticas>

- DIRESA (Dirección Regional de Salud, Cusco). (2014). Análisis de la situación de salud de la provincia Anta. <http://www.diresacusco.gob.pe/ASISprov/anta.pdf>
- Dotro, G., Gunter, L., Pascal, M., Jaime, N., Jaume, P., Otto, S., & Marcos, von S. (2017). *Treatment Wetlands* (1st ed., Vol. 7). Londres. Retrieved from <https://www.iwapublishing.com/books/9781780408767/treatment-wetlands>
- Duque, L. F.; Oñate, F. (2009). *Determinación experimental del "número de la curva" en cinco coberturas representativas de la provincia de Loja*. [Tesis para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad Técnica Particular de Loja]. <https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/1423/3/Tesis%20Luis.pdf>
- Edmundo, A. (2013). *Riego por goteo*. <https://fddocuments.ec/document/metodo-por-goteo.html>
- Espigares, M., Pérez, J. A., & Gálvez, R. (1985). Aspectos sanitarios del estudio de las aguas. *Universidad de Granada* (Vol. 1). Granada.
- Espinoza, C. E. (2014). Factibilidad del Diseño de un Humedal de Flujo Subsuperficial para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales de 30.000 habitantes. [Tesis de Maestría]. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá, Colombia. Repositorio Digital. <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/114?locale-attribute=en>
- FAO (Organización de las naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (Febrero, 1996). Utilización de aguas residuales urbanas para el riego de árboles y bosques. *Revista internacional de silvicultura e industrias forestales, Volumen 47*. <http://www.fao.org/3/w0312s/w0312s09.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Roma. <http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s00.htm>
- FAO (2016). (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la Agricultura). 9. Permeabilidad del suelo. https://www.fao.org/fishery/static/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s09.htm

- FAO (Organización de las naciones unidas para la alimentación y la Agricultura). (2017). *Reutilización de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe*. (J. Sagasta, Ed.). Santiago, Chile. <http://www.fao.org/3/a-i7748s.pdf>
- Farms, B. T. (2012). Soluciones para cultivos: Riego por goteo en Alfalfa. https://media.toro.com/Documents/Agriculture/ALT196_Drip_on_Alfalfa_Sp_WE_B.pdf
- Fernández, R.; Yruela, M. C.; Milla M, García JP, Oyonarte NA. (2010). *Manual de riego para agricultores. Módulo 4: Riego Localizado*. Junta de Andalucía. https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941RIEGO_BAJA.pdf
- Ferro, N. (2021). *Conflictos y Gestión de Agua para riego en la Comunidad Campesina de Haparquilla, Distrito y Provincia de Anta*. [Tesis para optar el título de Licenciado en Antropología, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/6377/253T20210433_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Figuerola, R. R. (2019). *Selección, Zonificación de Plantas y Programación de Riego para el Ahorro del Agua en los Jardines de la UNALM*. [Tesis Ing. Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina] Repositorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4290>
- García, C., Días, A., Calgaro, M., (2003). *Selección de bombas para riego*. (Unidad de Agronegocios y Difusión del INIA, Ed.) <http://www.inia.uy/Publicaciones/Documentos%20compartidos/15630021107114325.pdf>
- García, M. A. (2003). *Método alternativo para tratar lodos de plantas de agua residual en México*. [Tesis para optar el título de ingeniero civil]. Instituto Politécnico Nacional. Repositorio Institucional. <https://tesis.ipn.mx>
- Gestirriego. (Junio 02, 2016). Componentes instalación riego por goteo. *Gestirriego*. <https://www.gestirriego.com/componentes-instalacion-riego-por-goteo/>

- González A. (2015). Inspección de fosas sépticas y letrinas. *Serie autodidáctica de medición de la alidad del agua, segunda parte*. [Presentacion de diapositivas]. Slideshare. Retrieved from <https://slideplayer.es/slide/5710915/>
- Gonzales-Fragoso, H. E.; Zavaleta-Solano, C.; Devia-González, J.; Montoya-Salinas, Y.; Afanador-Rico, O. (2020). Efecto del riego con agua residual tratada sobre la calidad microbiológica del suelo y pasto King Grass. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 23 (2). <https://doi.org/10.31910/rudca.v23.n2.2020.1513>
- Hoffmann, H., Platzer, C., Winker, M. & von Muench, E. (2011). *Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas*. (E. Von Muench, Ed.). Eschborn, Alemania. <https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/Revision-T--cnica-de-Humedales-Artificiales.pdf>
- Huamán, L. (2018). *Sistema de Saneamiento del Anexo de Ccahuanamarca del distrito de Colta, provincia de Paucar del Sara Sara – Ayacucho*. [Tesis para optar el grado de Ing. Agrícola] Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3488>
- Huffington, R. D. (2018). DIMENSIONAMIENTO & ASPECTOS TÉCNICOS CAMPO DE INFILTRACIÓN BAÑOS PUBLICOS. *ENVIRONMENTAL ENGINEERING*, 5. <https://docplayer.es/62736601-Dimensionamiento-aspectos-tecnicos-campo-de-infiltracion-banos-publicos.html>
- Iagua (Enero 31, 2013). Los humedales artificiales. *Iagua*. <https://www.iagua.es/blogs/carolina-miguel/los-humedales-artificiales-componentes-y-tipos>
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). (2013). *Guía de Referencia para el Reúso Seguro de las Aguas Residuales en Riego Agrícola*. https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/riego-drenaje/reuso-aguas-residuales.pdf
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) y ENAHO (Encuesta Nacional de Hogares). (2020). *Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico*.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_junio2020.pdf

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) (2018). *Perú: Perfil socioeconómico, 2017*.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/cap01.pdf

INEI. (Instituto Nacional de Estadística e Informática) (2021). *Indicadores de Resultados de los Programas Presupuestales 2020*. <http://proyecto.inei.gob.pe/enapres/wp-content/uploads/2021/04/ENAPRES-Indicadores-de-Programas-Presupuestales-2020.pdf>

Jaramillo, M.F. (2014). *Potencial de reúso de agua residual doméstica como estrategia para el control de la contaminación en el Valle geográfico del río Cauca*. [Trabajo de investigación para optar al título de Magister en Ingeniería: área de énfasis en Ingeniería Sanitaria y Ambiental]. Universidad del Valle. Santiago de Cali. <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/handle/10893/7632/7720-0446201.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lapa, R. (2014). *Propuesta de Diseño de Humedal Artificial para el Tratamiento de Aguas Residuales con fines de riego en la Ciudad Universitaria – UNSCH*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. <http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/1914?show=full>

Luna-Pavello, V. M.; Aburto-Castañeda, S. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 17 (1), 32-55. DOI:10.1016/S1405-888X(14)70318-3

Maldonado, V. A. (2005). *Uso de Wetlands para el Tratamiento y Reúso de Aguas Residuales Domésticas*. [Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Ciencias con mención en Tratamiento de Aguas y Reúso de Desechos]. Universidad Nacional de Ingeniería.

- Marchena, F. (s. f.). Carga o altura dinámica total de bombeo. <https://es.scribd.com/document/379920091/Carga-o-Altura-Dinamica-Total-de-Bombeo>
- Mejía, F; Pérez, KL. (2016). *Eficiencia del Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas mediante Biodigestor prefabricado en la subestación eléctrica Cotaruse – Apurímac*. [Trabajo de Titulación para optar el Título de Ing. Agrónoma e Ing. Ambiental]. Universidad Nacional Agraria La Molina. http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2591/P10_M43-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Mena, P. A. (2014). *Evaluación de la eficiencia de tratamiento de aguas residuales domésticas, implementando un sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HAFSSH) en el Colegio Comfamiliar siglo XXI, sede campestre corregimiento de San Fernando, Municipio de Pasto, Colombia*. [Tesis de Maestría]. Universidad de Buenos Aires. Argentina. <https://core.ac.uk/download/pdf/70305653.pdf>
- Mendoza, A. E. (2013). *Riego por goteo*. Academia. https://www.academia.edu/7433003/Riego_por_Goteo_2013
- Mendoza, AD; Ramos, CG. (2012). *Diseño y construcción a escala piloto de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales porcícolas. Apaxtla de Castrejón, Guerrero*. [Tesis para obtener el título de Biólogo]. Universidad Nacional Autónoma de México. https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_ramos_escorza.pdf
- Miglio, R. (2016). Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales: Caudales y Cargas de Diseño. [Material del curso]. Manejo de Aguas Residuales. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Miglio, R. (2022). Valorización de Lodos y Proceso de Compostaje. [Material del curso]. Curso Internacional en Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

- MINAM (2010). Decreto Supremo N° 003-1010-MINAM. Aprueba Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.
- MINEDU (Ministerio de Educación) (s. f.). Escuela Haparquilla – Anta. *Institución Educativa.Info*. <https://www.institucioneducativa.info/dre/dre-cusco/escuela-50106-49918/>
- Monge, M. A. (s. f.). Juego de presiones en riego por aspersión. *Iagua*. <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/juego-presiones-riego-aspersion>
- MVCS (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento). (2006a). Norma OS. 090. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Reglamento Nacional de Edificaciones. https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.090.pdf
- MVCS (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento). (2006b). Norma A 0.40. Educación. Reglamento Nacional de Edificaciones. <https://www.ici.edu.pe/brochure/normas/Norma-A.040-Educaci%C3%B3n-Ingesoft.pdf>
- MVCS (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento). (2012a). Guía de opciones técnicas para abastecimiento de agua potable y saneamiento para centros poblados del ámbito rural.
- MVCS (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento). (2012b). Norma técnica Tanques Sépticos. IS. 020. Lima. Perú. Reglamento Nacional de Edificaciones.
- MVCS. (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento). (2016a). *Indicadores de Agua y Saneamiento. Ámbito Rural 2015-2017*. <http://temis.vivienda.gob.pe/indicadoresds/>
- MVCS (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento) (2016b). *Propuesta De Bases Nacional De Saneamiento: Logros, experiencias compartidas y diálogo de política*. [http://www3.vivienda.gob.pe/popup/Latinosan/PROPUESTA DE BASES PARA UNA POLÍTICA NACIONAL DE SANEAMIENTO.pdf](http://www3.vivienda.gob.pe/popup/Latinosan/PROPUESTA_DE_BASES_PARA_UNA_POLÍTICA_NACIONAL_DE_SANEAMIENTO.pdf)

- MVCS (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento). (2017). *Plan Nacional de Saneamiento 2017-2021*. <http://direccionsaneamiento.vivienda.gob.pe/plan-nacional-de-saneamiento>
- MVCS (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento). (2018). Norma técnica de diseño. Opciones tecnológicas de Sistemas de Saneamiento en el ámbito rural. Lima. Perú.
- OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental). (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (1989). *Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura de la OMS*. https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/39333/WHO_TRS_778_spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2006). *Guías para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises. 2 v. Uso de agua residual en agricultura*. <ftp://ftp.cepis.org.pe/pub/WWGuidelines/>
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2013). *Agua potable, salubre y saneamiento básico en pro de la salud*. https://www.who.int/water_sanitation_health/mdg1/es/
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2016). Temas de salud: Saneamiento. <https://www.who.int/topics/sanitation/es/>
- OPS (Organización Panamericana de la Salud) y CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente). (2003). Especificaciones Técnicas para el diseño de zanjas y pozas de infiltración. Lima, Perú. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/UNATSABAR%202005.%20Especificaciones%20t%C3%A9cnicas%20para%20el%20dise%C3%B1o%20de%20zanjas%20y%20pozas%20de%20.pdf
- Peña, M. R., Van, M., Madera, C. A. (Octubre, 2003). Humedales de flujo subsuperficial: una alternativa natural para el tratamiento de aguas residuales domésticas en zonas tropicales. *The free library*.

<https://www.thefreelibrary.com/Humedales+de+flujo+subsuperficial%3A+una+alternativa+natural+para+el...-a0224990625>

PIASAR (Programa Integral de Saneamiento y Agua Rural). (2017). *Análisis ambiental y social (AAS)* (en línea). Lima, Perú. Disponible en http://pnsr.vivienda.gob.pe/portal/wp-content/files_mf/1508774361An%C3%A1lisisAmbientalySocialPEL1226final.pdf

Pizarro, F. (1996). *Riego Localizado de Alta Frecuencia: Goteo, microaspersión, exhudación*. (3 ed). España. Ediciones Mundi Prensa.

PNSR (Programa Nacional de Saneamiento Rural). (s. f.). Manual de operación y mantenimiento para unidad básica de saneamiento de compostaje continuo. http://minos.vivienda.gob.pe:8081/Documentos_SICA/modulos/FTA/SECCION%20IV/4.14/2042915015_MANUAL%20&M%20UBS%20CC%2023%20DE%20UNIO.pdf

Prado C. (2016). Tecnoriego. Principios del Diseño Agronómico. [Diapositivas de PowerPoint]. Cusco. Perú.

PROSAP (Programa de Servicios Agrícolas Provinciales). (s. f.) *Instructivo: (R014) Medición de la Infiltración en el Suelo Mediante Infiltrómetros Doble Anillo*. http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO%20_R014_%20infiltrometro%20doble%20anillo.pdf

Ramírez, M. (s. f.) Cusco: ubicación y superficie. *Weebly*. <https://magalyramirez.weebly.com/ubicacion.html>

Reija, A. (16 de mayo de 2013). Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales. Conceptos e historia. *Madrid Blogs*. <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891>

Resolución Ministerial 128-2017 Vivienda. Aprueban condiciones mínimas de manejo de lodos y las instalaciones para su disposición final. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/12302-128-2017-vivienda>

- Ríos, J. G., Cisneros, L. Z. (2019). *Eficiencia de un Biodigestor en el Tratamiento de Agua Residual Domestica a nivel familiar en la Asociación “los Víquez” Carapongo - Lurigancho Chosica – Lima*. [Tesis presentada para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Peruana Unión]. Repositorio de la Universidad peruana Unión.
https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/1815/Jennifer_Tesis_Licenciatura_2019.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Rodríguez, D., Muñoz, M., Cornejo, J., Espinoza, C. (2004). Tratamiento, recolección y disposición de aguas residuales. Universidad de Chile. https://www.ucursos.cl/ingenieria/2005/2/CI41B/1/material_docente/bajar?id_material=79439
- Rotoplas (2015). Biodigestor autolimpiable: Especificaciones técnicas. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/170887/Anejo%20Fichas%20%C3%A9nicas.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Rotoplas (2016). Manual de Instalación Biodigestor Rotoplas. <https://rotoplas.com.ar/wp-content/uploads/2017/11/Manual-de-Instalacion-Biodigestor-Rotoplas.pdf>
- Rotoplas (s. f.). Manual Biodigestores: Sistema de tratamiento de aguas residuales. <http://siar.minam.gob.pe/puno/sites/default/files/archivos/public/docs/1542.pdf>
- Rivulis. (s.f). Encuentre su filtro de riego recomendado con solo tocar un botón. *Rivulis*.
<https://es.rivulis.com/encuentre-su-filtro-de-riego-recomendado-con-solo-tocar-un-boton/>
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología) (2021). Unidad de atención al ciudadano y gestión documental. Datos Hidrometeorológicos de la Estación Anta Ancachuro.
- Silva, H. (s. f.). Guías OMS uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises. <https://docplayer.es/43197853-Aguas-residuales-excretas-y-aguas-grises-antecedentes.html>
- Silva, J; Torres, P; Madera, C. (2008). Reúso de aguas residuales domésticas en agricultura: una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26 (2), 347-359.
<https://www.redalyc.org/pdf/1803/180314732020.pdf>

- SUNASS (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento). (2022). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento*. Lima, Perú. https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/06/Informe-de-diagnostico-de-las-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-PTAR_VdigitalConcomentario.pdf
- Tafur, H. (2019). *Propuesta de Implementación de un Sistema de Alcantarillado y Tratamiento de las Aguas Residuales del Centro Poblado Sugllaquiro – Moyobamba*. [Tesis para optar el título profesional ingeniero ambiental]. Universidad Nacional Federico Villareal. <https://core.ac.uk/download/pdf/287370505.pdf>
- Tarchitzky, J. (2002). El riego por goteo. [Material de estudio]. Curso Internacional sobre planificación de redes de riego a presión. Shefayim, Israel.
- Tarchitzky, J. (23 de Setiembre del 2020). *El Reúso de agua como parte del balance hídrico*. [Archivo de video]. <https://www.youtube.com/watch?v=jwTcX-hZJqU>
- Tilley, E., Lüthi, C., Morel, A., Zurbrügg, C. & Schertenleib, R. (2018). *Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento*. (2 ed). Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf, Suiza. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/TILLEY%20et%20al%202018.%20Compendio%20de%20sistemas%20y%20tecnolog%C3%ADas%20de%20saneamiento.pdf
- U. S. EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos). (1993). *Guía para diseño y construcción de un humedal construido con flujos subsuperficiales*. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=40001CXS.TXT>
- WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas). (2017). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado*. París, UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>
- Yocum, D. (2013). Manual de Diseño: Humedal Construido para el Tratamiento de las Aguas Grises por Biofiltración. *School University of California, Santa Barbara*. <https://ecotec.unam.mx/wp-content/uploads/Manual-de-Dise--o-para-Biofiltro.pdf>

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Datos de la Institución Educativa Haparquilla

Tabla 42: Información General de la Institución Educativa 50106 Haparquilla

Tipo de Institución	Pública - Sector Educación Primaria
Área geográfica	Rural
Género de alumnos	Mixto
Forma de atención	Escolarizada
Estado	Activo
Dirección	Haparquilla S/N
Centro poblado	Haparquilla
UGEL	Anta
Ubigeo	080301

Fuente: Adaptado de MINEDU (s. f) y DePeru.com (s. f.)

Tabla 43: Total de alumnos y docentes del 2010 al 2019

AÑO	NRO. DE DOCENTES	NRO DE ALUMNOS	NRO DE PERSONAS
2010	5	66	71
2011	5	73	78
2012	5	69	74
2013	5	64	69
2014	6	66	72
2015	6	59	65
2016	4	54	58
2017	5	57	63
2018	5	65	70
2019	6	71	77

Anexo 2: Esquemas de sistemas

Un Esquema de Sistema puede ser interpretado como una herramienta de representación de tecnologías (grupos funcionales), que conforman un sistema de saneamiento, los procesos y productos generados en cada etapa, así como su manejo y disposición final (Tilley *et al.*, 2018).

Productos

Son materiales también llamados “desperdicios” o “recursos”, generados por los humanos (heces y orinas) o por tecnologías (agua de arrastre, lodos), dependiendo de si entran o salen de cada tecnología de un sistema. Los principales productos asociados a los sistemas de saneamiento y el color con que son identificados son presentados en la Figura 23.



Figura 23: Principales productos asociados a los sistemas de saneamiento y color con que son identificados

Fuente: Tilley *et al.* (2018)

Tecnologías

Descritas como infraestructura, métodos o servicios para el adecuado almacenamiento, transformación y/o transporte de productos de un Grupo Funcional a otro. Incluye tecnologías relacionadas con las excretas y también aquellas vinculadas al manejo de aguas grises cuando pueden ser tratadas junto con las excretas (Tilley *et al.*, 2018).

Grupos funcionales

Es un grupo de tecnologías que comparten funciones semejantes. En cada grupo funcional existe una amplia variedad de tecnologías de saneamiento. Existen cinco diferentes grupos funcionales de los cuales se pueden elegir tecnologías para crear un sistema.

Cada Grupo Funcional está representado por un código de color distintivo; las tecnologías dentro de estos grupos comparten el mismo código para poder identificarlas. Los cinco Grupos Funcionales están presentados en la Figura 24.



Figura 24: Grupos funcionales

Anexo 3: Fotografías



Figura 25: Instalación de un baño con arrastre hidráulico en la población de Haparquilla



Figura 26: Vista general de las instalaciones de la Institución Educativa Haparquilla



Figura 27: Levantamiento topográfico de la Institución Educativa



Figura 28: Instalación del doble anillo para la prueba de infiltración



Figura 29: Realización de la calicata para determinar el nivel freático y extraer la muestra de suelo.



Figura 30: Medición de la profundidad del nivel freático a través de calicata



Figura 31: Nivel freático en el mes más crítico lluvioso



Figura 32: Tanques de almacenamiento que abastecen al baño antiguo y su lavatorio (izquierda) y a la cocina (derecha)



Figura 33: Vista del baño antiguo y su respectivo lavadero



Figura 34: Baño nuevo con su respectivo tanque de almacenamiento



Figura 35: Lavatorio de la cocina para el lavado de utensilios



Figura 36: Medición del caudal

Anexo 4: Resultados de los ensayos de la prueba de infiltración

Tabla 44: Toma de datos medidos en campo

Tiempo (min)	Tiempo acum (min)	Lectura (cm)	Enrase (cm)	Láminas parciales (mm)	Láminas acumuladas (mm)
0	0		10	0	0
5	5	8.5		15	15
5	10	8.3		2	17
5	15	8		3	20
10	25	7.7	10	3	23
10	35	9.6		4	27
10	45	9.4		2	29
10	55	9.1		3	32
15	70	8.8	10	3	35
15	85	9.8		2	37
15	100	9.7		1	38
15	115	9.5		2	40
15	130	9.3		2	42
20	150	9.2	10	1	43
20	170	9.9		1	44
20	190	9.8		1	45

Tabla 45: Procesamiento de datos para la determinación de la Conductividad Hidráulica

N°	Tiempo acum (min)	d promedio Lam acum (mm)	Log t	Log d	Log t * Log d	(log t)^2
1	5	15	0.69897	1.17609126	0.82205251	0.48855907
2	10	17	1	1.23044892	1.23044892	1
3	15	20	1.17609126	1.30103	1.53013001	1.38319065
4	25	23	1.39794001	1.36172784	1.90361382	1.95423627
5	35	27	1.54406804	1.43136376	2.21012305	2.38414613
6	45	29	1.65321251	1.462398	2.41765467	2.73311162
7	55	32	1.74036269	1.50514998	2.61950686	3.02886229
8	70	35	1.84509804	1.54406804	2.84895692	3.40438678
9	85	37	1.92941893	1.56820172	3.02571809	3.72265739
10	100	38	2	1.5797836	3.15956719	4
11	115	40	2.06069784	1.60205999	3.30136156	4.24647559
12	130	42	2.11394335	1.62324929	3.43145705	4.4687565

13	150	43	2.17609126	1.63346846	3.55457643	4.73537317
14	170	44	2.23044892	1.64345268	3.66563725	4.97490239
15	190	45	2.2787536	1.65321251	3.76726397	5.19271797
Sumas			25.8450965	22.315706	39.4880683	47.7173758

Cálculo de la Conductividad Hidráulica (K)

$$m = \frac{\frac{\sum_{n=1}^n (\log t * \log d)}{n} - \frac{\sum_{n=1}^n (\log t)}{n} * \frac{\sum_{n=1}^n (\log d)}{n}}{\frac{\sum_{n=1}^n (\log t)^2}{n} - \left(\frac{\sum_{n=1}^n (\log t)}{n}\right)^2}$$

$$m = \frac{2.63853789 - 1.72300643 * 1.48771374}{3.18115839 - 2.96875116}$$

$$m = 0.32577777$$

$$\log K = \frac{\log d}{n} - m \frac{\log t}{n}$$

$$\log K = 1.48771374 - 0.32577777(1.72300643)$$

$$\log K = 0.92639655$$

$$K = 8.44105145$$

$$-n = m - 1$$

$$n = 0.67422223$$

Tabla 46: Infiltración Promedio (Ip)

Tiempo acum (min)	Log t	n*Log t (1)	Log Ip = LogK - (1)	Ip (mm/h)
5	0.698970004	0.471261116	0.455135431	2.85190747
10	1	0.674222232	0.252174315	1.787204771
15	1.176091259	0.792946874	0.133449673	1.359720588
25	1.397940009	0.942522233	-0.016125686	0.96355013
35	1.544068044	1.041045003	-0.114648456	0.767982889
45	1.653212514	1.114632631	-0.188236084	0.64828193
55	1.740362689	1.173391217	-0.24699467	0.566246239

70	1.84509804	1.244006119	-0.317609572	0.481271815
85	1.929418926	1.300857135	-0.374460587	0.422220594
100	2	1.348444464	-0.422047917	0.378400832
115	2.06069784	1.389368298	-0.46297175	0.344372331
130	2.113943352	1.425267605	-0.498871058	0.317050865
150	2.176091259	1.467169106	-0.540772559	0.287890571
170	2.230448921	1.50381825	-0.577421703	0.264592967
190	2.278753601	1.536386339	-0.609989792	0.245476661

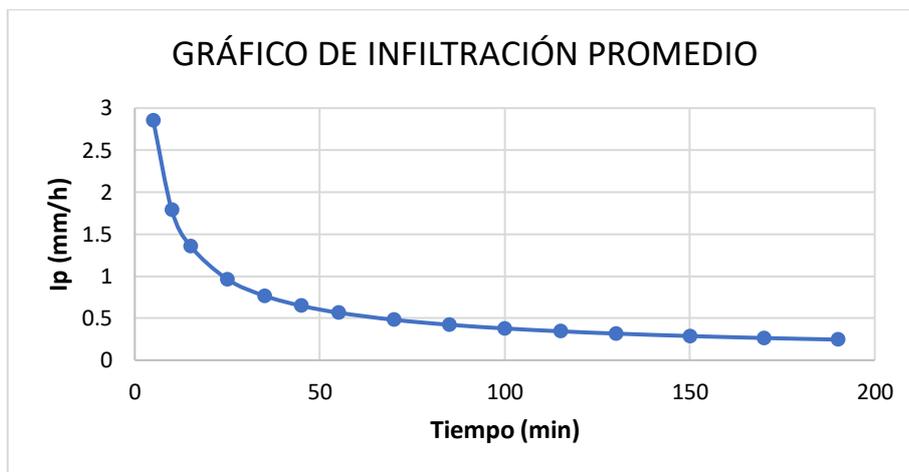


Figura 37: Gráfico de infiltración promedio

Infiltración Instantánea (I)

$$k = K * m * 60 \text{ (mm/h)}$$

$$k = 164.994414$$

$$I = k * t^{-n}$$

$$I = 164.994414 * t^{-0.67422223}$$

Tabla 47: Infiltración Básica (Ib)

Tiempo acum (min)	Log t	n*Log t (1)	Log I = Logk-(1)	I (mm/h)
5	0.69897	0.47126112	1.74620812	55.745283
10	1	0.67422223	1.54324701	34.9338949
15	1.17609126	0.79294687	1.42452237	26.5780043
25	1.39794001	0.94252223	1.27494701	18.8341926
35	1.54406804	1.041045	1.17642424	15.0115051
45	1.65321251	1.11463263	1.10283661	12.6717504
55	1.74036269	1.17339122	1.04407802	11.0682261
70	1.84509804	1.24400612	0.97346312	9.40725945
85	1.92941893	1.30085713	0.91661211	8.25300496
100	2	1.34844446	0.86902478	7.39647471
115	2.06069784	1.3893683	0.82810094	6.73133095
130	2.11394335	1.42526761	0.79220164	6.19728738
150	2.17609126	1.46716911	0.75030014	5.62730086
170	2.23044892	1.50381825	0.71365099	5.17191038
190	2.2787536	1.53638634	0.6810829	4.79825033

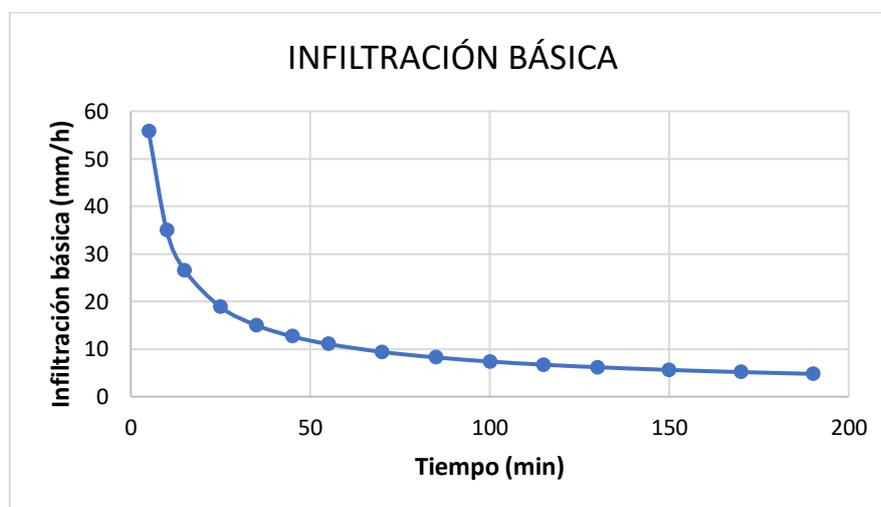


Figura 38: Gráfico de Infiltración Básica

$$Ib = k * \left(\frac{n * k}{0.1}\right)^{\frac{-n}{n+1}}$$

$$Ib = 9.78840294 \text{ mm/h}$$

Anexo 5: Resultados emitidos por el Laboratorio Louis Pasteur del muestreo de aguas residuales

Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda.
 Av. Tullumayo 768
 Cusco - Perú
 Telefax: 084-234727
 Celular: 975 713500
 RPC: 974787 151
 RPM: # 713522
 laboratoriolouispasteur@yahoo.es
 www.lablouispasteur.pe

INFORME DE ENSAYO
 LLP-3031-2018
 SO-1023-2018



LABORATORIO LOUIS PASTEUR

Pág. 1 de 1

INFORMACIÓN DEL CLIENTE
 Solicitante: Marielena Estofanero Apana y Zennhya Delgado Briceño
 Dirección Legal: Urb. Santa Rosa B-4 – San Sebastian.

IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA
 Nombre del Producto: Agua residual Domestica
 Fecha de Ingreso de Muestra: 2018/10/03
 Fecha de Ensayo: 2018/10/03

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA Y REPORTE DE RESULTADOS
 Toma de muestra realizada por: Srta. Marielena Estofanero Apana y Zennhya Delgado Briceño
 Fecha de Toma de Muestra: 2018/10/03
 Hora de toma de muestra: 12:50
 Procedencia de la Muestra: PM1 – Efluente de servicios higienicos de la I.E. Haparquilla N° 50106.
 Cantidad y Descripción de la Muestra: Frasco de polietileno estéril de 500 ml y frasco de polietileno de 250ml, 500ml y 02 frascos de polietileno de 1000ml, transportado en cadena de frío.
 Fecha de Emisión de Informe de Ensayo: 2018/10/10
 Referencia: Nro. De Cotización: 07-10

RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
Coliformes Fecales	NMP/100ml	3,5x10 ⁷

RESULTADOS QUÍMICOS

Ensayo(s)	Unidad	Resultado(s)
DBO ₅	mg/L	717,68
DQO	mg/L	1552,00
Sólidos totales en suspension	mg/L	1445,00

Métodos de Referencias:

Coliformes Fecales (NMP)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part. 9221 E-1, 23rd (2017)
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. (2017)
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. (2017)
Sólidos Totales en Suspensión	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23rd Ed. (2017)




Blga. Patricia Miranda Pastrco
 COLBIDOP N° 6556
 DIRECTOR TÉCNICO

Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad de producto o una certificación del Sistema de Calidad de la entidad que lo produce. Este documento no podrá ser reproducido parcialmente sin la autorización del Laboratorio Louis Pasteur S.R.Ltda. Los resultados solo se refieren a los ítems ensayados . El presente informe de ensayo se refiere unicamente a la muestra analizada.

Figura 39: Resultado del muestreo de aguas residuales

Anexo 6: Resultados del muestreo de suelos emitidos por el Laboratorio de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

- APARTADO POSTAL
N° 921 - Cusco - Perú
- CIUDAD UNIVERSITARIA
Av. De la Cultura N° 733 - Teléfonos: 228661 - 222512 - 232370 - 232375 - 232226
- MUSEO INKA
Cuesta del Almirante N° 103 - Teléfono: 237380
- FAX: 238156 - 238173 - 222512
- CENTRAL TELEFÓNICA: 232398 - 252210
243835 - 243836 - 243837 - 243838
- CENTRO AGRONÓMICO K'AYRA
San Jerónimo s/n Cusco - Teléfonos: 277145 - 277246
- RECTORADO
Calle Tigre N° 127
Teléfonos: 222271 - 224891 - 224181 - 254398
- LOCAL CENTRAL
Plaza de Armas s/n
Teléfonos: 227571 - 225721 - 224015
- COLEGIO "FORTUNATO L. HERRERA"
Av. De la Cultura N° 721
"Estadio Universitario" - Teléfono: 227192

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CENTRO DE INVESTIGACION EN SUELOS Y ABONOS (CISA)
LABORATORIO ANALISIS DE SUELOS**

TIPO DE ANALISIS : FERTILIDAD, FISICO MECANICO, Y OTROS ANALISIS.

PROCEDENCIA DE MUESTRAS : I.E. 50106, HAPARQUILLA, ANTA – CUSCO.

INSTITUCION SOLICITANTE : DELGADO BRICEÑO ZENNYA.

ANALISIS DE FERTILIDAD :

N°	CLAVE	mmhos/cm C.E.	pH	% CaCO ₃	% M.ORG.	% N.TOTAL	ppm P ₂ O ₅	ppm K ₂ O
01	CAPA ARABLE	0.98	7.50	1.60	7.06	0.35	44.7	1,524
02	PROFUNDIDAD	0.20	8.30	0.42	2.15	0.11	8.3	198

ANALISIS DE CARACTERIZACION :

N°	CLAVE	meq/100 C.I.C.	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	CLASE-TEXTURAL
01	CAPA ARABLE	13.74	25	56	19	FRANCO-LIMOSO
02	PROFUNDIDAD	15.86	19	58	23	FRANCO-LIMOSO

OTROS ANALISIS :

N°	CLAVE	% H.E.	% C.C.	g/c.c. Da	g/c.c. Dr	% PMP	% POROSIDAD
01	CAPA ARABLE	40.44	37.60	1.13	2.54	11.80	55.51
02	PROFUNDIDAD	29.53	28.16	1.37	2.50	13.12	45.20

CUSCO, 09 DE OCTUBRE DEL 2,019.


 Mgt. Arcadio Calderón Choquechambi
 DIRECTOR

Figura 40: Resultados de la caracterización del suelo

Anexo 7: Cotizaciones

TECNORIEGO INGS. S.R.L.
 TECNOLOGÍA EN RIEGO PRESURIZADO
 VENTA DE EQUIPOS DE RIEGO, ASPERSIÓN, GOTEÓ, INVERNADEROS, MANGUERAS Y ACCESORIOS
 ELABORACIÓN DE PROYECTOS Y CAPACITACIÓN
 PRINCIPAL: AV. Incahuasi N° 1502, Wanchaq - Cusco
 Telfax: 084-338553 - Cel: 984856891
 E-mail: tecnorigoing@hotmail.com

COTIZACION
 003 - N° 002479
 FECHA 27 10 22

Señor(es): Angelica
 Dirección: Cusco Telf: _____

CANT.	UNID.	DESCRIPCION	PRECIO UNIT.	PRECIO TOTAL
01	Rolla	Manguera de goteo C/20cm X 400 M.		S/ 450.00
25	Und	Tee 16 mm	1.00	25.00
25	Und	Codo 16 mm	0.80	20.00
01	Rolla	Manguera 1" HDPE PNB X 90 M.	150.00	150.00
01	Rolla	Manguera 3/4" HDPE PNB X 90 M	100.00	100.00
02	Und	valvula bola pvc 1" Sanking	13.00	26.00
				S/ 771.00

PLASSON-MONDRAGON-VYR-NAANDANJAIN-SENNINGER-SAB

Figura 41: Cotización de materiales para riego

 <p>HIDRORIEGO Ingenieros S.A.C. Soluciones en Agua y Medio Ambiente</p>	COTIZACION - 20221029	29/10/2022			
<p>Jr. Camilo Carrillo 144, Oficina 302 Jesús María - Lima RUC: 20530612387</p>					
PRESUPUESTO N°1: ACCESORIOS PARA SISTEMA DE RIEGO					
<p>Cliente : Ing. Zenia Delgado Lugar : CUSCO</p>					
Item	Descripción	Presupuesto Original			
		Und.	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
01.00	SISTEMA DE RIEGO				
01.01	Bomba 0.57 HP, ADT 17.45 mca, 1.1 l/s	und	1.00	S/ 646.87	S/ 646.87
01.02	válvula de aire	und	1.00	S/ 83.89	S/ 83.89
01.03	filtro de anillas 120mesh de 1"	und	1.00	S/ 147.50	S/ 147.50
01.04	Tubería PVC 1" PN 10	m	5.00	S/ 6.86	S/ 34.30
01.05	Tubería PVC 3/4" PN 10	m	5.00	S/ 5.51	S/ 27.55
01.06	Tubería PVC 1/2" PN 10	m	5.00	S/ 2.72	S/ 13.60
01.07	Caja válvula Jumbo 66.8 X 37.5 h=30.7 cm	und	1.00	S/ 174.36	S/ 174.36
	COSTO DIRECTO		S/		1,128.07
	IGV	18.00%	S/		203.05
	TOTAL PRESUPUESTO		S/		1,331.12

Sirvase depositar en nuestra cuenta corriente del BCP S/. 191-2367429-0-22 (soles) / BCP \$ 191-2356484-1-77 (dólares)
 Si tiene alguna pregunta acerca de esta cotización, póngase en contacto con: Kelly Mory, 013085236 / 949163482 / 999878190
 informes@hidroriego.com / kmory@hidroriego.com

GRACIAS POR CONFIAR EN NOSOTROS

Figura 42: Cotización de accesorios para sistema de riego por goteo

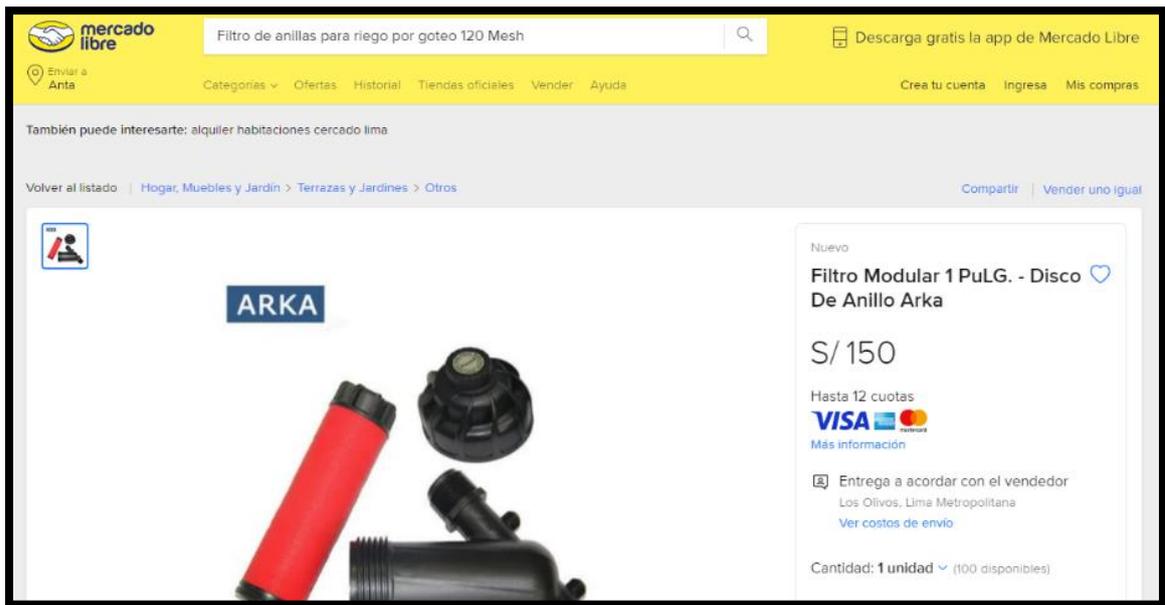


Figura 43: Precio de filtro de anillas de 120 Mesh

Características principales	
Fabricante	AZUD
Marca	AZUD
Modelo	FILTRO MODULAR PP 1 PULG.

Descripción
Filtro de 1" pulgada marca azud 120 mesh Envíos a cualquier parte del país Antes de comprar preguntar stock.

Figura 44: Características del filtro

TIPLAST E.I.R.L.

FORMANDO ACCESORIOS EN PVC,
 PARA SUS REDES DE AGUA DESAGUE
 Y MINERÍA, PAVCO VINDUT, KOPLAST,
 Y ESPECIALES.
 fabricando Soluciones - Garantía Calidad y Economía
 CK PERMANENTE - ATENDEMOS A INSTITUCIONES PUBLICAS
 E-mail: intiplast_e.i.r.l@hotmail.com

VENTA DE FERRETERÍA EN GENERAL.
 VALVULAS CIM, TAPAS DE BUZÓN P.P., TAPAS P.P.
 AGUA Y DESAGÜE Y RIEGO POR ASPERSIÓN, VALVULAS
 HIERRO RUCTIL AL POR MAYOR Y MENOR.

R.U.C: 20527634441

PROFORMA

NOTA DE PEDIDO

NOTA DE ENTREGA

N° 000890

ATA N° 1201 - ALTURA REGION INKA - WANCHAQ - CUSCO - CUSCO
 TELE. 084-233733 CEL.: 957-623166 CEL.: 984-609366

Cotización
 Zennhya Delgado

de 11 del 20 19 R.U.C. N°

UNID.	DESCRIPCION	P. UNIT.	IMPORTE
	tuberia pvc sul 2 x 3m pvc	12.00	
	tuberia pvc sul 4 x 3+ pvc	22.00	
	codo pvc sul 4 x 45	8.00	
	codo pvc sul 2 x 90	1.50	
	codo pvc sul 4 x 90	8.00	
	tapon pvc sul 2"	1.50	
	tcc pvc sul 2"	3.80	
	tcc pvc sul 4"	8.00	
	tee pvc sul 2"	3.80	
	regamiento oatey 1/4	28.00	
	Valvula compuesta 7 cm	585.00	

Figura 45: Cotización tuberías y accesorios

Anexo 8: Datos hidrometeorológicos proporcionados por SENAMHI

ATENCIÓN AL CIUDADANO Y GESTIÓN DOCUMENTAL

ESTACIÓN: ANTA ANCACHURO/000684/DZ12

ALT:3340 MSNM

LONG: 72°12'5"

LAT: 13°28'6"

DPTO: CUSCO

HR101 Humedad Relativa Media Diaria (%)

HS101 Horas de Sol Total Diaria (Horas y décimas de horas)

PT101 Precipitación Total Diaria (mm)

TM102 Temperatura Máxima Diaria (°C)

TM103 Temperatura Mínima Diaria (°C)

VTMEC Velocidad Media del Viento Diaria (m/s)

Tabla 48: Humedad Relativa media diaria (%)

CODIGO	PLANILLA	VARIABLE	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
684	52	HR101	2010	71.46	71.19	69.11	72.27	71.11	75.66	76.54	74.88	74.2	76.08	73.77	75.84
684	52	HR101	2011	75.74	78.82	75.97	75.81	77.27	80.23	81.19	78.1	78.55	74.38	70.84	77.05
684	52	HR101	2012	75.54	78.32	78.37	78.15	74.3	81.62	79.91	74	75.8	69.47	73.09	79.42
684	52	HR101	2013	82.33	86.02	80.21	80.21	75.89	75.65	86.19	70.53	74.97	84.25	72.71	74.27
684	52	HR101	2014	77.8	78.61	76.79	77.25	74.82	64.6	65.93	61.78	67.62	65.5	63.9	73.25
684	52	HR101	2015	77.82	76.71	77.09	79.34	76.73	70.54	67.19	66.83	67	67.41	71.14	76.46
684	52	HR101	2016	75.05	80.87	77.42	76.82	71.22	67.63	66.47	65.56	63.42	71.21	63.36	72.05
684	52	HR101	2017	77.59	77.16	84.6	83.81	83.39	71.09	70.34	70.72	74.4	72.47	74.91	79.74
684	52	HR101	2018	82.5	80.78	83.6	82.19	75.45	78.24	74.16	74.77	68.6	80.2	76.55	77.6
684	52	HR101	2019	83.4	84.77	84.47	84.05	80.39	78.96	77.47	71.44	74.14	74.15	80.38	84.46
684	52	HR101	2020	82.87	86.13	83.17	81.51	81.01	77.93	74.52	73.41	78.79	78.85	77.34	83.71

Nota. La data en azul fue completada a través del método regresión lineal

Tabla 49: Horas de sol (horas y décimas de horas)

CODIGO	PLANILLA	VARIABLE	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
684	52	HS101	2015	149.5	158	156.2	172.95	168.4	200.9	232.3	204.5	182.6	188.3	194.3	178.5
684	52	HS101	2016	192.7	146.8	208.7	171	234.8	222.3	244.5	226	209.1	188.7	232.4	191.4
684	52	HS101	2017	165.1	139	143.7	143.9	151.1	187.3	239.5	223.4	176.3	169.6	145.6	134.9
684	52	HS101	2018	150.1	119	132.1	155.1	230.8	190.7	204.2	204.3	209.7	114.7	154.6	171.1
684	52	HS101	2019	134.8	102.7	123.8	142.8	216.1	217.1	231.1	248.8	188.1	186.93	190.88	94.3
684	52	HS101	2020	126	101.1	159.5	162.9	212.9	210.7	239.5	259.9	168.1	199.3	208	85.5

Nota. La data en azul fue completada a través del método regresión lineal

Tabla 50: Precipitación Total Diaria (mm)

CODIGO	PLANILLA	VARIABLE	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
---------------	-----------------	-----------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

684	52	PT101	2010	289	194.2	148.5	26.4	1.2	5.2	3.4	3.5	66.08	89.6	54.7	184.9
684	52	PT101	2011	139.5	269.3	214.8	71.85	13.6	10.3	11	16.6	52.2	89.4	72.8	152.5
684	52	PT101	2012	136.3	177.8	110.6	47.5	1.8	2.8	4.4	0	45.1	26.8	135.3	197.7
684	52	PT101	2013	178.4	151.1	75.6	7	1.9	6.1	0.1	18.3	3.2	104.5	110.3	158.9
684	52	PT101	2014	142	122	71.2	46.3	8.9	0	0	1.3	11.5	62.9	37.6	169.4
684	52	PT101	2015	183	113.2	81.5	79.2	2.9	2.3	6.2	7.2	31.5	50.9	82.9	110
684	52	PT101	2016	146.5	240.1	70.9	25	7.3	0.3	3	17.7	18.2	71.6	88.1	98.8
684	52	PT101	2017	107.9	116.5	166.9	69.2	7.5	0	1.8	17.4	11	71.9	86	92.1
684	52	PT101	2018	145	191.6	139.6	37.8	3.1	24.2	20.2	27.5	8.5	75.1	62.7	71.9
684	52	PT101	2019	115.6	109	112.8	6.3	2.6	5.1	2.5	0	8.7	43.3	149.9	201.9
684	52	PT101	2020	149	199.1	163.1	15.5	32	0.4	0	0.8	5.5	40.2	81.3	149.1

Nota. La data en azul fue completada a través del método regresión lineal

Tabla 51: Temperatura Máxima Diaria (°C)

CODIGO	PLANILLA	VARIABLE	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
684	52	TM102	2010	19.3	19.6	20.15	21.29	21.38	22.21	21.95	22.32	21.13	20.35	22.38	20.45
684	52	TM102	2011	20.66	19.04	19.22	20.78	21.51	20.85	19.93	20.91	19.37	21.26	21.68	19
684	52	TM102	2012	19.52	17.73	18.92	19.69	21.49	19.86	20.42	21.91	19.82	21.69	20.96	18.81
684	52	TM102	2013	18.85	18.57	19.15	20.14	20.34	18.57	19.44	20.19	21.68	19.71	20.59	18.68
684	52	TM102	2014	18.85	19.21	19.47	19.33	18.68	20.23	19.01	20.08	19.8	20.63	21.86	20.22
684	52	TM102	2015	18.6	19.56	19.32	18.04	18.61	19.49	19.69	20.28	20.62	21.16	21.02	19.61
684	52	TM102	2016	21	19.61	21.34	20.3	20.54	19.7	20.34	20.35	20.85	19.38	21.17	19.65
684	52	TM102	2017	19.4	19.66	19.01	18.44	18.29	19.45	20.29	20.44	20.12	20.48	20.71	19.66
684	52	TM102	2018	18.66	19.17	18.58	19.35	20.04	18.34	19.92	19.67	22.66	20.45	22.29	21.05
684	52	TM102	2019	20.03	19.1	19.54	20.41	20.73	20.3	20.48	21.57	21.26	20.91	20.16	19.95
684	52	TM102	2020	19.93	19.38	20.21	20.02	20.07	20.3	20.96	21.82	20.6	20.85	22.01	19.81

Tabla 52: Temperatura Mínima Diaria (°C)

CODIGO	PLANILLA	VARIABLE	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
684	52	TM103	2010	5.67	5.71	4.98	3.59	-0.07	-3.69	-3.64	-3.13	-0.17	2.97	3.52	4.88
684	52	TM103	2011	5.2	5.65	5.62	4.22	-0.64	-4.13	-3.18	-2.3	3	3.82	5.02	5.15
684	52	TM103	2012	5.42	5.68	5.06	3.69	-1.95	-3.77	-5.15	-3.83	2.34	3.67	4.79	6.73
684	52	TM103	2013	5.46	6.74	6.16	1.81	-0.53	-2.58	-3.72	-1.67	-0.09	3.82	5.09	5.99
684	52	TM103	2014	6.34	5.77	4.9	3.08	-0.47	-2.48	-3.71	-2.73	1.76	4	4.48	6.17
684	52	TM103	2015	5.99	6.32	5.59	4.78	0.54	-1.82	-3.49	-1.61	1.67	2.86	5.12	5.82
684	52	TM103	2016	6.45	7.89	6.18	3.09	-1.61	-3.56	-4.1	-1.52	0.94	4.22	3.47	5.64
684	52	TM103	2017	6.73	5.82	7.11	4.95	1.36	-2.6	-3.36	-1.36	2.85	3.4	4.99	5.96
684	52	TM103	2018	6.04	6.9	6.77	3.32	-1.23	-2.46	-3.05	0.19	1.37	5.28	6.1	3.51
684	52	TM103	2019	6.39	6.84	6.75	3.5	-0.75	-2.98	-3.22	-2.97	1.38	3.3	6.61	6.82
684	52	TM103	2020	6.49	8.41	7.3	3.19	0.29	-0.75	-2.46	-1.95	2.01	3.07	4.28	6.53

Nota. La data en azul fue completada a través del método regresión lineal

Tabla 53: Velocidad Media del Viento Diaria (m/s)

CODIGO	PLANILLA	VARIABLE	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
684	52	VTMED	2015	3.3	3.3	2.6	2.8	2.7	2.6	2.6	2.6	2.7	2.5	2.9	1.9
684	52	VTMED	2016	1.7	1.8	1.7	1.7	1.7	1.4	1.6	1.7	1.9	1.8	2.5	1.9
684	52	VTMED	2017	2	1.7	1.7	2	1.9	1.8	1.7	2.2	2.6	2.7	2.5	2.2
684	52	VTMED	2018	2.8	2.7	3.1	2.8	2.8	2.8	2.7	2.9	3	3	3.1	3.1
684	52	VTMED	2019	2.8	2.8	2.7	2.9	2.8	2.6	2.7	2.5	3	3.1	2.1	1.9
684	52	VTMED	2020	1.8	1.6	1.6	1.9	1.8	1.8	1.6	2.1	2.3	2.5	2.6	2.1

Anexo 9: Cálculos para el diseño del sistema de riego

- **Medición del volumen generado de aguas residuales**

Tabla 54: Volumen diario de llenado en la caja de registro

HORA	LUN	MA	MIE	JUE	VIE	SÁB
8:00 AM - 9:00 AM	121.8	95.7	102.4	105.9	112.6	0
9:00 AM - 10:00 AM	35.1	49.4	44.2	31.7	56.4	0
10:00 AM - 11:00 AM	87.2	68	55.5	76.5	81	115.3
11:00 AM - 12:00 PM	104.5	110.1	105.4	108	112.4	0
12:00 PM - 1:00 PM	27.8	34.7	30.9	38.4	41.8	0
1:00 PM - 2:00 PM	115.9	109.2	119.3	136.2	142.7	0
2:00 PM - 4:00 PM	15.3	10.4	13.1	8.8	18.6	0
Sumatoria	507.6	477.5	470.8	505.5	565.5	115.3
Promedio de Lun a Vie	505.38					

- **Cálculos en Cropwat para la determinación de la Evapotranspiración Potencial y Precipitación Efectiva**

Month	Min Temp °C	Max Temp °C	Humidity %	Wind m/s	Sun hours	Rad MJ/m ² /day	ETo mm/day
January	6.0	19.5	78	2.4	4.9	17.9	3.19
February	6.5	19.1	80	2.3	4.6	17.2	3.05
March	6.0	19.5	79	2.2	5.0	17.1	3.01
April	3.6	19.8	79	2.4	5.3	16.0	2.72
May	-0.5	20.2	77	2.3	6.5	15.8	2.50
June	-2.8	19.9	75	2.2	6.8	15.2	2.29
July	-3.6	20.2	75	2.2	7.5	16.5	2.39
August	-2.1	20.9	71	2.3	7.3	17.9	2.79
September	1.6	20.7	73	2.6	6.3	18.4	3.08
October	3.7	20.6	74	2.6	5.6	18.5	3.24
November	4.9	21.3	73	2.6	6.3	20.0	3.59
December	5.7	19.7	78	2.2	4.6	17.4	3.14
Average	2.4	20.1	76	2.4	5.9	17.3	2.92

Figura 46: Determinación de la ETo

	Rain	Eff rain
	mm	mm
January	157.5	102.0
February	171.3	113.0
March	123.2	74.6
April	39.3	13.6
May	7.5	0.0
June	4.8	0.0
July	4.8	0.0
August	10.0	0.0
September	23.8	4.3
October	66.0	29.6
November	87.4	45.9
December	144.3	91.4
Total	839.9	474.4

Figura 47: Determinación de la Precipitación Efectiva

Determinación de la Evapotranspiración de referencia

La ETo se calculó con base en los registros meteorológicos de la estación Anta Ancachuro, (SENAMHI, 2021), para un periodo de 11 años (2010-2020) (Anexo 8), utilizando el el software CROPWAT 8.0 configurado para usar el método de Penman-Monteith. Los resultados mensuales de la ETo se muestran en la Tabla 55, y los respectivos cálculos en Cropwat en la figura 46.

Tabla 55: Valores de Evapotranspiración potencial del 2010 al 2020

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
ETo (mm/día)	3.19	3.05	3.01	2.72	2.5	2.29	2.39	2.79	3.08	3.24	3.59	3.14

Determinación de la Evapotranspiración de cultivo

Inmediatamente después se determinó el Kc de la Alfalfa (Coeficiente de cultivo), cuyos valores fueron determinados en la investigación de Casa (2013).

Tabla 56: Valores de Kc para alfalfa

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
Kc	0.9	1.2	1.15	0.9	1.2	1.15	0.9	0.2	1.15	0.9	1.15	1.2

Una vez calculados todos los parámetros mencionados líneas arriba, se procedió a llenar el cuadro propuesto por Figueroa (2019), para la determinación de la demanda hídrica (Tabla 57).

Tabla 57: Determinación de la demanda hídrica

Descripción	Unidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
1. Evotranspiración de referencia	(mm/día)	3.19	3.05	3.01	2.72	2.5	2.29	2.39	2.79	3.08	3.24	3.59	3.14
2. Kc alfalfa		0.90	1.20	1.15	0.90	1.20	1.15	0.90	0.20	1.15	0.90	1.15	1.20
3. Evotranpotranspiración real o uso consuntivo (1*2)	(mm/día)	2.87	3.66	3.46	2.45	3.00	2.63	2.15	0.56	3.54	2.92	4.13	3.77
4. Precipitación efectiva	(mm/día)	3.29	4.04	2.41	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.14	0.95	1.53	2.95
5. Necesidades Netas (3-4)	(mm/día)	0.00	0.00	1.06	2.00	3.00	2.63	2.15	0.56	3.40	1.97	2.60	0.82
6. Eficiencia de riego	(%)	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	90%	40%
7. N° días del mes	(día)	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
8. Requerimiento de agua o necesidades brutas (5/6)	(mm/día)	0.00	0.00	1.17	2.22	3.33	2.93	2.39	0.62	3.78	2.18	2.89	2.05
	(m ³ /ha/mes)	0.00	0.00	363.4	666.0	1,033.3	877.8	740.9	192.2	1,134.0	677.1	866.1	635.2
9.-Área total	has	0.010	0.010	0.010	0.010	0.0105	0.010	0.010	0.010	0.0105	0.010	0.010	0.010
	m ²	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
10. Volumen demandado	m ³ /mes	0.00	0.00	3.82	6.99	10.85	9.22	7.78	2.02	11.91	7.11	9.09	6.67
	m ³ /día	0.00	0.00	0.12	0.23	0.35	0.31	0.25	0.07	0.40	0.23	0.30	0.22

Tabla 58: Balance hídrico diario

Descripción	Unidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Demanda	m ³ /día	0.00	0.00	0.12	0.23	0.35	0.31	0.25	0.07	0.40	0.23	0.30	0.22
Oferta	m ³ /día	0.00	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
Balance	m ³ /día	0.00	0.00	0.38	0.27	0.15	0.19	0.25	0.43	0.10	0.27	0.20	0.28

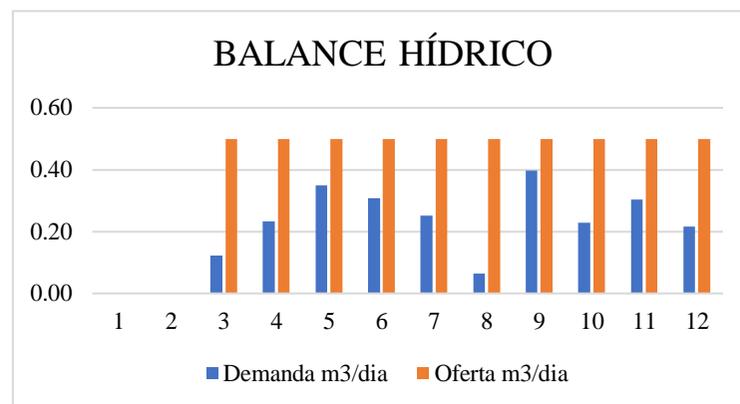


Figura 48: Balance hídrico diario

Tabla 59: Balance hídrico cada tres días

Descripción	Unidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Demanda	m ³	0.00	0.00	0.37	0.70	1.05	0.92	0.75	0.20	1.19	0.69	0.91	0.65
Oferta	m ³	0.00	0.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Balance	m ³	0.00	0.00	0.83	0.50	0.15	0.28	0.45	1.00	0.01	0.51	0.29	0.55

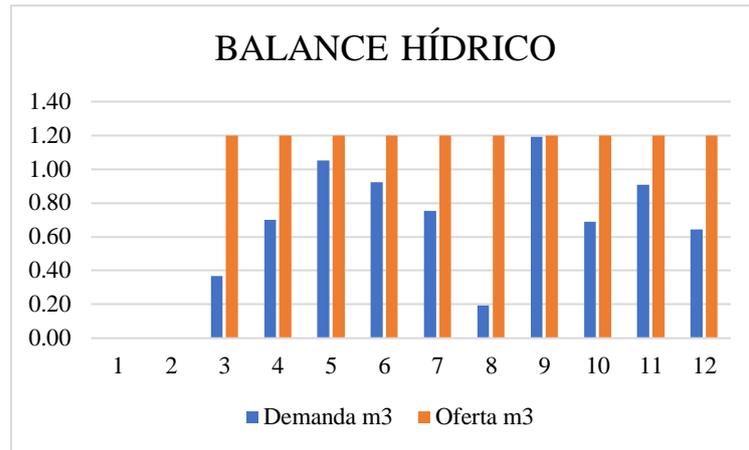


Figura 49: Balance hídrico cada tres días

Diseño Agronómico

a) Parámetros de riego

Se recopiló y determinó información previa para el diseño agronómico del sistema de riego.

Previamente se determinó la Dosis Neta de Riego

$$\text{Dosis neta de riego (mm)} = (((\text{CC}-\text{PM})/100)*\text{Da}*Z*\%A)*10$$

En la Tabla 60 se presenta la información para el cálculo de este parámetro

Tabla 60: Información para el cálculo de láminas de riego

CC (% Peso)	PM (% Peso)	Da (g/cm ³)	Z (cm)	Ln (mm)	A (%)	Ea (%)
38	11.8	1.13	120	136.42	38.3	90

Donde:

- CC = Capacidad de campo
- PM = Punto de marchitez
- Da = Densidad aparente
- Z = Profundidad de raíz efectiva
- A = Factor de agotamiento
- Ea = Eficiencia de aplicación
- Ln = Lámina neta de riego

Tabla 61: Parámetros de diseño agronómico y cálculos para el riego por goteo de alfalfa

Descripción	Unidad	Valores
Área del Proyecto	ha	0.0105
Cultivo	-	Alfalfa
Tipo de Suelo (Según Análisis de suelos)	-	Franco Limoso
Infiltración básica permitida	mm/h	9.78
Densidad Aparente (Da)	gr/cm ³	1.13
Capacidad de Campo (CC)	%	38
Punto de Marchitez (PMP)	%	11.8
Profundidad de raíz	cm	120
Porcentaje de Agotamiento	%	38.40%
Lámina Neta de Riego de Almacenamiento (Suelo y Cultivo)	mm	136.42
Dosis Bruta de Riego de Almacenamiento (Suelo y Cultivo)	mm	151.58
Eto	mm/día	3.08
Kc	-	1.15
Etc	mm/día	3.54
Precipitación Efectiva	mm/día	0.14
Lamina Neta de Riego (Ln)	mm/día	3.4
Frecuencia Máxima entre cada riego	día	40
Eficiencia de aplicación	%	90.00%
Lamina Bruta a Reponer (Lb)	mm/día	3.78
Caudal del gotero (Q)	lph	1.6
Presión Nominal de Operación	bar	1
Nº de laterales por hilera	Unidad	1
Distancia entre laterales	m	0.2
Distancia entre goteros	m	0.3
Frecuencia adoptada en el sistema de Riego por goteo	día	3
Demanda Neta Total a reponer	día	10.21
Demanda Bruta Total a reponer	mm/día	11.34
	mm/h	26.67
Precipitación horaria del sistema (pph)	m ³ /ha/h	266.67
	l/s/ha	74.07
Tiempo máximo de riego	h/día	1
Tiempo de riego por turno	h/día	0.43
Tiempo de riego por turno	min/día	26
Tiempo por cambio de posición	h	0
Tiempo de riego por turno de operación	h	0.43
Nº Turnos / día	Nº	1
Tiempo de Riego por día	h	0.43
Número días por riego	día	1
Nº Turnos totales por riego	Nº	1
Área del Proyecto	ha	0.0105
Área por turno	ha	0.0105
Área máxima por turno	ha	0.0105
	m ³ /h/turno	2.8
Capacidad máxima del sistema por turno	lps/turno	0.78

Diseño Hidráulico

Tabla 62: Parámetros para el diseño hidráulico

Parámetro	Valor
Caudal de gotero (l/s)	1.60
Número de laterales por hilera	1.00
Diámetro del Lateral (m)	0.20
Diámetro del Gotero (m)	0.30
Capacidad de riego o Precipitación horaria del sistema (mm/h)	26.67

Tabla 63: Parámetros de operación del sistema de riego por goteo

Sector	Turno	Valvula por turno	Area del sector (ha)	Area de turno (ha)	Caudal de valvula (l/s)	Caudal de valvula (m ³ /h)	Caudal de turno (l/s)	Caudal de turno (m ³ /h)	Tiempo de riego/turno (horas)
1	1	1	0.0105	0.0105	0.78	2.80	0.78	2.80	0.43
AREA TOTAL (Has)			0.0105	TIEMPO DE RIEGO TOTAL				0.43	

Tabla 64: Pérdidas de carga, base para hallar la altura dinámica total

PARAMETROS	UNIDAD	TURNO I
Presión de trabajo	m. c. a.	25.00
Pérdidas de presión en válvula	m. c. a.	1.00
Pérdidas de presión en matriz	m. c. a.	0.28
Pérdidas de presión en accesorios (5% matriz)	m. c. a.	0.01
Pérdidas de presión en cabezal de filtrado	m. c. a.	5.00
Seguridad (5%)	m. c. a.	1.56
Desnivel topográfico	m. c. a.	0.00
ADT	m. c. a.	32.85

Tabla 65: Elección de la bomba

PARÁMETROS	UNIDAD	TURNO I
ADT	m. c. a.	32.89
Caudal	l/s	0.78
	m ³ /h	2.80
Potencia de bomba *	HP	0.57
	Kw	0.42
Potencia de motor **	HP	0.76

Nota: *Eficiencia de bomba: 60%

**Eficiencia de motor: 75%

MODELO		POTENCIA (P ₂)			Q	H															
Monofásica	Trifásica	kW	HP	▲		m ³ /h	0	0.6	1.2	2.4	3.6	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	9.0	9.6		
					l/min	0	10	20	40	60	80	90	100	110	120	130	150	160			
CPm 600	CP 600	0.37	0.50	IE2	H metros	22	21	20	18	15	11										
CPm 610	CP 610	0.60	0.85			28.5	28	27	25	22	19	17									
CPm 620	CP 620	0.75	1			35	34	33	31	28.5	25.5	23.5	21								
CPm 650	CP 650	1.1	1.5			40	-	39	38	36	33.1	31.2	28.8	26							
CPm 660	CP 660	1.5	2			48	-	47.5	46	44	41	39.5	37.5	35	32						
CPm 670	CP 670	2.2	3	IE3		56	-	55.5	54.5	52.5	50	48.5	46.5	44	41.5	38					
CPm 650M	CP 650M	1.1	1.5			33	-	-	32	31	30	29	28	26.5	25	23	19				
CPm 660M	CP 660M	1.5	2			44	-	-	43	42	40	39	38	37	35.5	34	29.5	27			
CPm 670M	CP 670M	2.2	3			53	-	-	52	51	49.5	48.5	47.5	46.5	45	43.5	39	36			

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración
 ▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30-1)
 Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

Figura 50: Criterios para la elección de la bomba

Fuente: AquaBombas (2022)

Tabla 66: Cálculos hidráulicos en la matriz

Tramo	Longitud Tramo (m)	Caudal Salida / tramo (m ³ /h)	Caudal Sistema / tramo		Rugosidad C	Diámetro Nominal (Dn) (mm)	Diámetro Interno (Di) (mm)	Velocidad (V) (m/s)	Pérdida Unitaria (J) (mca / m)	Pérdidas Principales Tramo (Hf) (mca)	Pérdidas Secundaria (Hfs) (mca)	Pérdidas Totales Tramo (HFt) (mca)	Pérdidas Totales Acumulada (mca)	Cota	
			(m ³ /h)	(lp/s)										Inico (m.c.a)	Final (m.c.a)
A															3332.00
A-B	1.1	0.00	2.80	0.78	150.00	PVC 1"- C10.0	29.40	1.15	0.050 0	0.06	0.00	0.06	0.06	3332.00	3332.00
B-C	4.14 5.24	0.00	2.80	0.78	150.00	PVC 1"- C10.0	29.40	1.15	0.050 0	0.21 0.27	0.01 HFt	0.22 0.28	0.28	3332.00	3332.00 ΔZt 0.00

Tabla 67: Cálculos hidráulicos en los portlaterales

SECCIÓN	CAUDAL (l/s)	CAUDAL ACUM. (l/s)	DIÁMETRO INTERNO (mm)	LONGITUD	LONGITUD ACUM. (m)	PÉRDIDA HF (m.c.a)	PÉRDIDA ACUM. (m.c.a.)	PÉRDIDA ACUM. (PSI)	VELOC. CRÍTICA (m/s)	OBS.
1	0.0519	0.78	22.90	0.2	0.20	0.33	0.33	0.46	1.89	O.K.
2	0.0519	0.73	22.90	0.2	0.40	0.29	0.62	0.88	1.76	O.K.
3	0.0519	0.67	22.90	0.2	0.60	0.25	0.87	1.24	1.64	O.K.
4	0.0519	0.62	22.90	0.2	0.80	0.22	1.09	1.55	1.51	O.K.
5	0.0519	0.57	22.90	0.2	1.00	0.19	1.28	1.82	1.38	O.K.
6	0.0519	0.52	22.90	0.2	1.20	0.16	1.44	2.05	1.26	O.K.
7	0.0519	0.47	17.40	0.2	1.40	0.49	1.93	2.75	1.96	O.K.
8	0.0519	0.41	17.40	0.2	1.60	0.40	2.33	3.32	1.74	O.K.
9	0.0519	0.36	17.40	0.2	1.80	0.32	2.65	3.77	1.53	O.K.
10	0.0519	0.31	17.40	0.2	2.00	0.24	2.89	4.12	1.31	O.K.
11	0.0519	0.26	17.40	0.2	2.20	0.18	3.07	4.37	1.09	O.K.
12	0.0519	0.21	17.40	0.2	2.40	0.12	3.19	4.53	0.87	O.K.
13	0.0519	0.16	17.40	0.2	2.60	0.07	3.26	4.64	0.65	O.K.
14	0.0519	0.10	17.40	0.2	2.80	0.04	3.29	4.69	0.44	O.K.
15	0.0519	0.05	17.40	0.2	3.00	0.01	3.30	4.70	0.22	O.K.
TOTAL	0.78			3		3.30				



Figura 51: Interfaz de Rivulis para la elección de filtros “Encuentre su filtro”

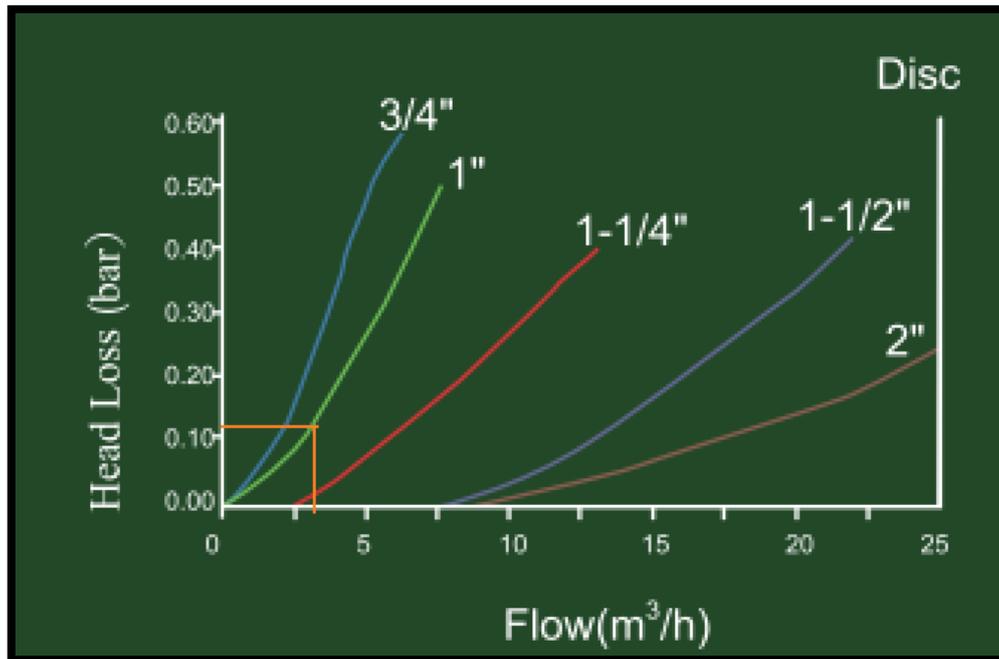


Figura 52: Curvas para la determinación del tamaño de filtro

Anexo 10: Parámetros según los LMP para los efluentes de PTAR

Tabla 68: Límites Máximos Permisibles para los efluentes de PTAR

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas
Aceites y Grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NPM/100 mL	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6.5 - 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	< 35

Fuente: Decreto Supremo N° 003 – 2010 - MINAM

Anexo 11: Encuestas aplicadas a los pobladores de la comunidad de Haparquilla, a los padres de familia, docentes y alumnos de la Institución Educativa Haparquilla 50101

ENCUESTA Y ENTREVISTA A DOCENTES

Población muestra: El total, 6 docentes

Fecha:

Nombre completo:

Grado que enseña:

Agua y Saneamiento

N°	PREGUNTAS	RESPUESTAS		
1	¿Cuántos días a la semana disponen de agua potable en la Institución Educativa?	7 días		
2	¿Cuántas horas al día son abastecidos de agua potable?	Aproximadamente 2 - 3 horas durante la mañana		
3	¿Cuánto pagan por este servicio?	7 soles , tarifa plana		
4	¿Almacenan agua para abastecer a los alumnos de la escuela?	SÍ (6 rptas)	NO (0 rptas)	
5	¿Cómo la almacenan, en qué recipientes?	Baldes (1)	Bidones (0)	Tanques (6 rptas)
6	¿Sabe qué cantidad de agua almacenan al día?	Aprox 3000 L		
7	¿En qué usan el agua almacenada?	Beber (2)	Preparar alimentos (6)	Lavar ropa (0)
		Limpieza de escuela (2)	Regar cultivos (0)	Higiene personal (3)

8	¿Se abastecen de alguna otra fuente?	SI (0)	NO (6 rptas)	
9	¿Qué fuentes?	Río (0)	Pozo (0)	Cisterna (0)
10	¿Poseen servicio de desagüe?	SI (0)	NO (6 rptas)	
11	¿Sabe lo que es el agua residual?	SÍ (3)	NO (3 rptas)	
12	¿Dónde descargan las aguas residuales?	Desagüe (0)	Suelo (2)	Biodigestor (4 rptas)
13	¿Qué sistema de saneamiento utiliza la escuela?	Pozo séptico (0 rpta)	Letrina (0)	Biodigestor (4 rptas)
14	¿Cada cuánto tiempo le dan mantenimiento a su sistema de saneamiento?	1 vez al año (0 Rptas)	2 veces al año (0 Rptas)	Aún no le han dado mantenimiento (6 rptas)
15	¿Han recibido alguna capacitación sobre el mantenimiento de su sistema de saneamiento?	SÍ (Rptas)	NO (6 rptas)	

Energía

1	¿Cuentan con energía eléctrica?	SÍ (6 Rptas)	NO (0)
2	¿Cuántas horas al día poseen energía eléctrica?	24 horas	
3	¿Cuánto pagan al mes por este servicio?	S/. 15.00	
4	¿Es importante para Ud. el ahorro de energía?	SÍ (6 rptas)	NO (0)
5	¿Por qué?		

Cultivos

1	¿Hacen uso de los espacios libres de la escuela para cultivar algún producto?	SÍ (6 rptas)		NO (0)	
2	¿Qué espacios usan?	Parcela (6 rptas)		Detrás de los salones (4 rptas)	
3	¿Qué cultivos siembran?	Papa (0)	Maíz (4)	Alfalfa (6)	Habas (3)
4	¿Qué hacen con los cultivos?	Venta (0)		Autoconsumo (6 rptas)	
5	¿Si los venden, a qué precio lo hacen?				
6	¿En qué fecha siembran y en qué fecha cosechan?	Mes siembra: Setiembre		Mes cosecha: Marzo	
		Alfalfa todo el año			
7	¿Siembran algún tipo de forraje? (pastos para alimentar ganado)	SÍ (6 rptas)		NO (0)	
8	¿Cuál?	Paja (0)	Pasto (4)	Alfalfa (6)	Trigo (0)
9	¿Siembran alfalfa?	SÍ (6 rptas)		NO (0)	
10	¿Lo comercializan?	SÍ		NO (4 rptas)	
11	¿Cuál es su precio?	S/. 30.00 por parcela			

Tratamiento de agua residual

- ¿Qué es para Ud. el agua residual?
“Es el que viene de los restos, de desechos para ser tratado” (Docente Pablo Paucar Aite)
- ¿Sabe que existen sistemas que ayudan con el tratamiento del agua residual? (Depuración del agua)
“Claro es el tratamiento que hacen los municipios, el problema es que aquí no hay tratamiento para esas aguas” (Docente Pablo Paucar Aite)

3. ¿Cómo sabe de ellos?
“Buscando información en fuentes confiables como youtube” (Docente Sergio Mora Gutiérrez)

4. ¿Qué sabe acerca de los biodigestores en relación al agua residual? Saben que trata el agua?
“Tecnología que permite que se pueda generar agua para utilizar nuevamente” (Docente Sergio Mora Gutiérrez)
“En este lugar hay biodigestores, pero ya han colapsado, han llegado a su límite” (Docente Pablo Paucar Aite)

5. ¿Conoce Ud. los humedales artificiales, qué sabe acerca de ellos?
“No tengo información de ello” (Docente Vilma Trinidad Huamán)

Agua de riego

1	¿Con qué agua riegan sus cultivos?	Lluvia (4 Rptas)	Acequia (0 Rptas)	Agua potable (0 Rptas)	Pozo (0 Rptas)
2	¿Sólo dependen de la lluvia para regar sus cultivos?	SÍ (4 rptas)		NO (0)	
3	¿Sabía que se puede regar con agua residual tratada?	SÍ (2 rptas)		NO (4 rptas)	
4	¿Sabía usted que los biodigestores junto a otras tecnologías tratan el agua contaminada y esta puede ser utilizada en riego?	SÍ (1 rpta)		NO (5 rptas)	
5	¿Estaría usted de acuerdo en usar el agua residual tratada en riego?	SÍ (6 rptas)		NO	
6	¿Cuál preferiría regar con ese agua?	Verduras (0 rptas)	Pasto (3 rptas)	Árboles (4 rptas)	Alfalfa (4 rptas)
7	¿Estaría Ud. dispuesto a recibir una capacitación para una reutilización segura del agua residual tratada?	SÍ (6 rptas)		NO (0)	

Utilización de Lodos Residuales

1	¿Utilizan algún tipo de fertilizante para sus cultivos?	SÍ (5 rptas)		NO (1 rpta)	
	¿Qué tipo?	Excrementos de Ganado (2 rptas)	Excrementos de cuy (4 rptas)	Gallinaza (1)	Otros
2	¿Con cuánto compra estos fertilizantes?	Los papás traen de lo suyo	Los papás traen de los suyo		
3	¿Sabía usted que los biodigestores producen líquidos espesos, llamados lodos y que son producto del tratamiento de las aguas residuales?	SÍ (1 Rptas)		NO (5 Rptas)	
4	Sabía que estos sirven como fertilizante para sus cultivos?	SÍ (1 Rpta)		NO (5 Rptas)	
5	¿Estaría dispuesto a usar estos fertilizantes naturales en sus cultivos?	SÍ (4 Rptas)		NO (2 Rptas)	
6	¿Por qué?				
7	¿En qué tipo de cultivo preferiría usar estos fertilizantes?	Árboles (4 Rptas) / Maíz (1 Rpta) / Papa (0 Rptas) / Habas (1 Rpta) / Pastos (5 Rptas)			
8	¿Ha recibido alguna capacitación sobre el mantenimiento de los biodigestores y de la disposición de sus lodos?	SÍ (0)		NO (6 Rptas)	

Paisaje

1	¿Considera Ud. que es importante que se conserve el paisaje natural de la Institución Educativa?	SÍ (4 Rptas)	NO (2 Rptas)
2	¿Por qué?	“Claro, porque los árboles rompen viento por ejemplo y abriga a la naturaleza” (Pablo Paucar Aite) “El paisaje natural da oxígeno, embellece el lugar, te da buenas energías para la salud” (Wilma Trinidad Huamán)	
3	¿Cree que un sistema de tratamiento de las aguas debería estar en armonía con el ambiente natural?	SÍ (3 Rptas)	NO (2 Rptas)
4	¿Por qué?		
5	¿Cree que un sistema de riego con agua residual tratada debería estar en armonía con el ambiente natural?	SÍ (3 Rptas)	NO (1 Rptas)
6	¿Por qué?	“Porque el agua es vida y las plantas también son vida” (Wilma Trinidad Huamán)	
7	¿Estarían dispuestos a recibir alguna capacitación respecto a saneamiento, tratamiento de agua residual y riego con agua residual tratada?	SÍ (6 Rptas)	NO (0)

Acceso a la Institución Educativa

- ¿De qué hora a qué hora está abierta la Institución Educativa de lunes a viernes?
De 8 AM a 4 PM
- ¿Los sábados está abierta la Institución Educativa? ¿Para qué?
Sí, para algunas actividades como faenas o reuniones de la comunidad o padres de familia
- ¿Los sábados hay alguna actividad en la Institución Educativa?
(Especificar)
Faenas, reuniones de comunidad, reuniones de padres de familia
- ¿De qué hora a qué hora está abierta la Institución Educativa los sábados?
De de 8 AM a 2 PM

ENCUESTA Y ENTREVISTA A PADRES DE FAMILIA

Población muestreada: 20 de 60 padres de familia

Fecha:

Nombre completo:

Grado de su hijo:

Agua y Saneamiento

N°	PREGUNTAS	RESPUESTAS		
1	¿Cuántos días a la semana disponen de agua potable en la Institución Educativa?	Diario		
2	¿Cuántas horas al día son abastecidos de agua potable?	2 – 3 horas por la mañana		
3	¿Cuánto pagan por este servicio?			
4	¿Almacenan agua para abastecer a los alumnos de la escuela?	SÍ (14 Rptas)	NO (1 Rpta)	NO SÉ (5 Rptas)
5	¿Cómo la almacenan, en qué recipientes?	Baldes (2 Rptas)	Bidones (1 Rpta)	Tanques (16 Rptas)
6	¿Sabe qué cantidad de agua almacenan al día?	No saben con exactitud		
7	¿En qué usan el agua almacenada?	Beber (2 Rptas)	Preparar alimentos (17 Rptas)	Lavar ropa (0 Rptas)
		Limpieza de escuela (3 Rpta)	Regar cultivos (0 Rpta)	Baños (19 Rptas)
8	¿Se abastecen de alguna otra fuente?	SI (1 Rpta)	NO (11 Rpta)	NO SÉ (8 Rptas)
9	¿Qué fuentes?	Río/ Acequia (1 Rpta)	Pozo	Cisterna

10	¿Poseen servicio de desagüe?	SI (0)	NO (20 Rptas)	NO SÉ (0)
11	¿Sabe lo que es el agua residual?	SÍ (5 Rptas)	NO (150 Rptas)	
12	¿Dónde descargan las aguas residuales?	Desagüe (0 Rpta)	Suelo (9 Rptas)	Biodigestor (11 Rptas)
13	¿Qué sistema de saneamiento utiliza la escuela?	Pozo séptico (2 Rptas)	Letrina (0 RPTas)	Biodigestor (15 Rptas)
14	¿Cada cuánto tiempo le dan mantenimiento a su sistema de saneamiento?	1 vez al año (2 Rptas)	No sabe (5 Rptas)	Aún no le han dado mantenimiento (13 Rptas)
15	¿Han recibido alguna capacitación sobre el mantenimiento de su sistema de saneamiento?	SÍ (0 Rpta)	NO (17 Rptas)	NO SÉ (3 Rptas)

Energía

1	¿Cuentan con energía eléctrica?	SÍ (20 Rptas)	NO (0 Rptas)
2	¿Cuántas horas al día poseen energía eléctrica?	Todo el día	
3	¿Cuánto pagan al mes por este servicio?	S/. 15.00 (Tarifa plana)	
4	¿Es importante para Ud. el ahorro de energía?	SÍ (15 Rptas)	NO (3 Rptas)
5	¿Por qué?	No lo tienen claro	

Cultivos

1	¿Hacen uso de los espacios libres de la escuela para cultivar algún producto?	SÍ (19 Rptas)	NO (0 Rptas)
2	¿Qué espacios usan?	Parcela (19 Rptas)	Detrás de los salones (8 Rptas)

3	¿Qué cultivos siembran? (Averiguar)	Papa (3 Rptas)	Maíz (12 Rptas)	Alfalfa (16 Rptas)	Habas (9 Rptas)
4	¿Qué hacen con los cultivos?	Venta (2 Rptas)		Autoconsumo (15 Rptas)	
5	¿Si los venden, a qué precio lo hacen?				
6	¿En qué fecha siembran y en qué fecha cosechan?	Mes siembra: Dic. Alfalfa todo el año		Mes cosecha: Marzo Alfalfa todo el año	
7	¿Siembran algún tipo de forraje? (pastos para alimentar ganado)	SÍ (17 Rptas)		NO (0 Rptas)	
8	¿Cuál?	Paja (0)	Pasto (11)	Alfalfa (16)	Trigo (0)
9	¿Siembran alfalfa?	SÍ (16 Rptas)		NO (0 Rptas)	
10	¿Lo comercializan?	SÍ (3 Rptas)		NO (12 Rptas)	
11	¿Cuál es su precio?				
12	¿Qué animales cría Ud?	Vacas (9) / Ovejas (3) Cuyes (11) / Conejos (4)			
13	¿Con qué los alimenta?	Pasto / Alfalfa / Cáscaras / Concentrado			

Tratamiento de agua residual

- ¿Qué es para Ud. el agua residual?
Sabén sobre su existencia, pero desconocen el nombre técnico, lo conocen como agua sucia.
- ¿Sabe que existen sistemas que ayudan con el tratamiento del agua residual (depuración del agua)?
Sólo conocen algo del funcionamiento de los biodigestores.
- ¿Cómo sabe de ellos?
Porque los poseen en sus hogares gracias a un proyecto de implementación de biodigestores en cada hogar de la comunidad de Haparquilla

- ¿Qué sabe acerca de los biodigestores en relación al agua residual?
Algunos de ellos saben que ahí se van sus aguas sucias, desconocen el proceso.
- ¿Conoce Ud. los humedales artificiales, qué sabe acerca de ellos?
Desconocen el término.

Agua de riego

1	¿Con qué agua riegan sus cultivos?	Lluvia (20 Rptas)	Acequia (0 Rpta)	Agua potable (0 Rp)	Pozo (0 Rp)
2	¿Sólo dependen de la lluvia para regar sus cultivos?	SÍ (20 Rptas)		NO (0 Rptas)	
3	¿Sabía que se puede regar con agua residual tratada?	SÍ (1 Rpta)		NO (17 Rpta)	
4	¿Sabía usted que los biodigestores junto a otras tecnologías tratan el agua contaminada y esta puede ser utilizada en riego?	SÍ (2 Rptas)		NO (16 Rptas)	
5	¿Estaría usted de acuerdo en usar el agua residual tratada en riego?	SÍ (16 Rptas)		NO (4 Rptas)	
6	¿Cuál preferiría regar con ese agua?	Verduras	Pasto (6 Rptas)	Árboles (12 Rptas)	Alfalfa (15 Rptas)
7	¿Estaría Ud. dispuesto a recibir una capacitación para una reutilización segura del agua residual tratada?	SÍ (18 Rptas)		NO (2 Rptas)	

Utilización de Lodos Residuales

1	¿Utilizan algún tipo de fertilizante para sus cultivos?	SÍ (14 Rptas)		NO (6 Rptas)	
	¿Qué tipo?	Excrementos de ganado (7 Rptas)	Excrementos de cuy (11 Rptas)	Gallinaza (3 Rptas)	Otros

2	¿Con cuánto compran estos fertilizantes?	No compran, utilizan el excremento de sus animales	
3	¿Sabía usted que los biodigestores producen líquidos espesos llamados lodos que son producto del tratamiento de las aguas residuales?	SÍ (14 Rptas)	NO (6 Rptas)
4	Sabía que estos sirven como fertilizante para sus cultivos?	SÍ (9 Rptas)	NO (11 Rptas)
5	¿Estaría dispuesto a usar estos fertilizantes naturales en sus cultivos?	SÍ (12 Rptas)	NO (8 Rptas)
6	¿Por qué?		
7	¿En qué tipo de cultivo preferiría usar estos fertilizantes?	Árboles (12 Rptas) / Maíz (4 Rptas) / Papa (0 Rptas) / Habas (3 Rptas) / Pastos (11 Rptas)	
8	¿Ha recibido alguna capacitación sobre el mantenimiento de los biodigestores y de la disposición de sus lodos?	SÍ (5 Rptas)	NO (15 Rptas)

Paisaje

1	¿Considera Ud. que es importante que se conserve el paisaje natural de la Institución Educativa?	SÍ (14 Rptas)	NO (6 Rptas)
---	--	---------------	--------------

2	¿Por qué?	“Sí, porque está al aire libre y los alumnos toman aire fresco” (Usael Auca Kachahuallpa) “Es un área verde que se puede apreciar a la vista, resalta entre las instituciones” (Lizet Acostupa Jaime)	
3	¿Cree que un sistema de tratamiento de las aguas debería estar en armonía con el ambiente natural?	SÍ (18 Rptas)	NO (2 Rptas)
4	¿Por qué?	“Sí, porque sería natural para nuestros hijos” (Santusa Aytí Pillco)	
5	¿Cree que un sistema de riego con agua residual tratada debería estar en armonía con el ambiente natural?	SÍ (20 Rptas)	NO (0 Rptas)
6	¿Por qué?	“Sí porque las aguas al ser tratadas se pueden reutilizar en plantas” (Lizet Acostupa Jaime)	
7	¿Estarían dispuestos a recibir alguna capacitación respecto a saneamiento, tratamiento de agua residual y riego con agua residual tratada?	SÍ (19 Rptas)	NO (1 Rpta)

Acceso a la Institución Educativa

1. ¿Los sábados va Ud a la Institución Educativa? ¿Para qué?
Sí, para actividades.

2. ¿Los sábados se realiza alguna actividad en la Institución Educativa?
Sí, hay faenas y reuniones.

ENCUESTA Y ENTREVISTA A ALUMNOS

(Realizado a alumnos de 3ro a 6to de primaria, a un total de 20 alumnos)

Fecha:

Nombre:

Grado: 4to

5to

6to

Agua y medio ambiente

1	¿El agua es importante para ti?	SÍ (17 Rptas)	NO (0 Rptas)	UN POCO (3 Rptas)
2	¿Por qué?	“Nos ayuda a vivir” (Alumno Anghelo Gabriel Polo Chávez) “Nos ayuda para regar las plantas, para tomar” (Alumna Maricielo Colque Pilco)		
3	¿Qué usos le dan al agua en tu escuela?	Beber (0 Rptas)	Preparar alimentos (11 Rptas)	Lavar ropa (0 Rptas)
		Limpieza de escuela (5 Rptas)	Regar cultivos (0 Rptas)	Higiene personal (14 Rptas)
4	¿Consideras que cuidar el agua es importante para el medio ambiente?	SÍ (20 Rptas)	NO (0 Rptas)	
5	¿Cuidas el agua?	SÍ (17 Rptas)	NO (3 Rptas)	
6	¿Qué haces para cuidar el agua en tu escuela?	“No desperdiciarla y no malutilizarla” (Alumna Génesis Luciana Lloclla Sinchi)		

“Cerrar el caño y no desperdiciar mucha agua” (Alumno Juan Fernando Sonqo Hierba) “No dejar los caños abiertos” (Alumna Nélide Colque Huamán)
--

Saneamiento e higiene

1	¿Usas el baño de tu escuela o prefieres ir a tu casa?	Casa (2 Rptas)	Escuela (5 Rptas)	Ambos (13 Rptas)
2	¿Cuántas veces te lavas las manos durante el horario de clases?	1 (2 Rpta)	2 (10 Rptas)	3 a más (9 Rptas)
3	¿Sabes a dónde va el agua sucia de los baños, lavado de platos y lavado de manos?	SÍ (8 Rptas)	NO (12 Rptas)	
4	¿A dónde va ese agua?	Tanque (8)	Desagüe (3)	Biodigestor (5)
5	¿Conoces los biodigestores?	SÍ (7 Rptas)	NO (13 Rptas)	
6	¿Qué sabes de ellos?			
7	¿Conoces los humedales artificiales?	SÍ (1 Rptas)	NO (19 Rptas)	
8	¿Qué sabes de ellos?	Tiene que ver con el agua		

Paisaje

1	¿Te gusta cómo se ve tu escuela? (Con sus arbolitos, pastos, cultivos y flores?)	SÍ (19 Rptas)	NO (0 Rptas)	Indiferente (1)
---	--	---------------	--------------	-----------------

2	¿Deseas que tu escuela conserve su belleza natural?	SÍ (20 Rptas)	NO (0 Rptas)	
3	¿Por qué?	Se ve bonito (13 Rptas)	Me hace feliz (15 Rptas)	Me da igual (0 Rptas)

Tratamiento de agua

1	¿Sabías que el agua sucia se puede tratar y convertir nuevamente en limpia?	SÍ (2 Rptas)	NO ((18 Rptas)
2	¿Qué has oído al respecto?		
3	¿Te gustaría aprender más acerca del agua y su tratamiento?	SÍ (20 Rptas)	NO (0 Rptas)
4	¿Te gustaría que en tu escuela se trate el agua? (limpiarla)	SÍ (20 Rptas)	NO (0 Rptas)

Riego

1	¿Sabías que el agua tratada se puede usar para regar?	SÍ (2 Rptas)	NO (18 Rptas)
2	¿Te gustaría aprender sobre el reciclaje del agua?	SÍ (20 Rptas)	NO (0 Rptas)
3	¿Te gustaría aprender acerca de la reutilización del agua tratada en riego?	SÍ (20 Rptas)	NO (0 Rptas)
4	¿Te gustaría reutilizar el agua tratada (limpiada) en tu escuela y usarla para riego?	SÍ (16 Rptas)	NO (4 Rptas)

ENCUESTA SOCIOECONÓMICA

(REALIZADA A LA POBLACIÓN, TOTAL 44 FAMILIAS DE UN TOTAL DE 400)

A. INFORMACIÓN BÁSICA DE LA LOCALIDAD

Encuestador (a): _____
 Fecha de Entrevista: ____/____/____ Hora _____
 Departamento: Provincia: Distrito:
 Dirección: _____
 Persona Entrevistada (jefe del hogar): Padre () Madre ()
 otro _____

B. INFORMACIÓN SOBRE LA VIVIENDA

- | | | |
|--------------------------------------|----------------|---|
| 1.- Uso: Sólo vivienda (41 de 44) | | Vivienda y otra actividad productiva (3 de 44 tienda) |
| 2.- Tenencia de la vivienda | | |
| Propia (42 de 44) | | |
| Alquilada (1 de 44) | | |
| Alquiler Venta (0) | | |
| 3.- Material predominante en la casa | | |
| Adobe (29) | Madera (0) | Material noble (3) |
| Estera (0) | Quincha (12) | |
| 4. Posee energía eléctrica | Sí (44) | No (1) ¿Cuánta paga al mes? S/. 15.00 (Tarifa plana) |
| 5.- Red de agua | Sí (43) | No (1) ¿Cuánta paga al mes? S/. 7.00 (Tarifa plana) |

- | | | |
|-------------------------------|-----------|--|
| 6.- Red de desagüe | Sí (0) | No (44) |
| 7.- Pozo séptico/Letrina/Otro | Sí (44) | No (0) Biodigestor (43)/
Letrina (1) |
| 8.- Teléfono | Sí (1) | No (43) |
| 9.- Celular | Sí (27) | No (21) ¿Cuánto paga al mes? S/. 15.00 |

C. INFORMACIÓN SOBRE LA FAMILIA

- | | |
|--|---------------|
| 10. ¿Cuántas personas habitan en la vivienda? | Promedio 3.75 |
| 11.- ¿Cuántas familias viven en la vivienda? | Promedio 1.1 |
| 12.- ¿Cuántas personas trabajan en su familia? | Promedio 3.2 |
| 13. ¿Cuántos niños hay en su hogar? | Promedio 1.7 |
| 14. ¿Los niños de su familia saben hablar en quechua? | Promedio 83% |
| 15. ¿Cuántos de su familia saben leer y escribir? (contando con Ud). | Promedio 81% |
| 16. ¿Cuál es su ingreso promedio mensual? | S/. 1100 |

D. INFORMACIÓN SOBRE EL ABASTECIMIENTO DE AGUA

17. ¿Cuántos días a la semana dispone de agua potable? De lunes a viernes
18. ¿Cuántas horas por día dispone de agua? 2 hr/día Horario desde la 6 AM Hasta las 8 AM.
19. Paga usted por el servicio de agua?: si (44) no (0)

20. Si es si, el consumo de agua facturada en el último mes fue: (Solicitar el último recibo)

Cantidad Facturada (m³) S/. 7.00 y el pago fue S/. S/. 7.00 habitualmente cuánto paga al

Mes: S/. 7.00 ¿Cuándo fue el último mes que pagó? S/. 7.00

Tarifa plana para todos los hogares: S/. 7.00 mensuales

21. La cantidad de agua que recibe es: Suficiente (28) Insuficiente (16)

22. ¿Almacena usted el agua para el consumo de su familia? si (44) no (0)

23. ¿Cuántos litros cabe en el depósito donde almacena agua en su casa? _____ Litros

Recipientes	Cantidad	Capacidad del recipiente (litros)	Total en litros
Balde-lata			
Bidones			
Cilindro – barril			
Tanque			
Otros			
Total			

Procesando datos se obtiene:

TOTAL LITROS	NRO DE FAMILIAS	NRO PERSONAS	PERS/FAM	L/PERS
--------------	-----------------	--------------	----------	--------

30	2	4	2	15
40	6	20	3.33	12
60	8	25	3.125	19.2
80	10	43	4.3	18.60
100	8	30	3.75	26.67
300	4	19	4.75	63.16
400	3	18	6	66.67
50	3	6	2	25
	Total	Total	Promedio	Promedio
	44	165	3.75	29.88

24. ¿El agua llega limpia o turbia?:

Limpia todo el año (7) Turbia por días (15) Turbia por meses (22) Turbia todo el año (0)

25. ¿Está usted satisfecho con el servicio de agua? ¿Cómo lo calificaría?

Bueno (11) Malo (10) Regular (23)

26. El agua que viene de la red pública la usa para:

1. Beber (25)	2. Preparar alimentos (44)	3. Lavar ropa (35)	4. Higiene personal (44)
5. Limpieza de la vivienda (10)	6. Regar la chacra (0)	7. Otros (0)	

27. ¿Se abastece de otra fuente para consumo?: Sí (2)

No (42)

28. Si es si, ¿Cuál es la otra fuente?:

- a. Río/ Lago (0) b. Pileta pública (0) c. Camión Cisterna (0)
 d. Acequia (0) e. Manantial (0) f. Pozo (2)
 g. Vecino (0) h. Lluvia (0) i. Otro (0)

E. INFORMACION SOBRE EL SANEAMIENTO

29. ¿Tiene conexión al sistema de desagüe?: Sí (0) No (44)
 30. Si es sí, ¿Paga alguna cuota por este servicio?: Sí () No ()
 Si es sí, ¿Cuánto?: S/. _____
 31. ¿Dónde descarga sus aguas residuales? Biodigestor
 32. ¿Usted dispone de un baño? Sí (43) No (1)
 33. ¿Estaría interesado en contar con alcantarillado o desagüe? sí (15) no (23)

F. INFORMACIÓN GENERAL.

34. ¿Sabe usted cuánto cuestan los terrenos? (m2)
 35. ¿Sabe usted si hay agua bajo Haparquilla?
 Sí (42) No (2)
 36. ¿Sabe usted masomenos a que profundidad podemos encontrar agua?
 Sí (37) Profundidad: 2 – 3 m No (5)
 37. ¿Sabe qué religiones existen en Haparquilla?
 Cristianos, evangélicos, católicos
 38. ¿De qué religión es usted?
 Cristiano () Testigo de Jheová () Adventista ()
 Católico () Mormón () Evangélico ()
 39. ¿Qué idioma habla usted?
 Quechua (3) Castellano (38) Ambos (37)

40. ¿Se dedica Ud a la agricultura?
 Sí (42) No (2)
 41. ¿Qué productos cultiva? Maíz, papa, Alfalfa, Zanahoria, habas
 42. ¿En que fechas cultiva y en que fechas cosecha?
 Setiembre y Marzo.
 43. Se dedica ud a la ganadería?
 Sí (24) No (20)
 44. En que fechas hay mayor producción de leche?
 Época de lluvias
 45. ¿Cree usted que el agua que consume puede causar enfermedades?
 Si (17) ¿Por qué? Por ser agua de manante
 No (27) ¿Por qué? Porque es limpia
 46. ¿Durante el día en que momento cree usted que una persona debe lavarse las manos?
 Al Levantarse (8) Después de ir al baño (33) Antes de comer (38) Antes de cocinar (14)
 Cada que se ensucia (5) A cada rato (3)
 47. ¿Qué enfermedades afectan con mayor frecuencia a los niños y adultos de su familia y cómo se tratan?

Enfermedad	Niños	Adultos	Tratamiento	
			Casero	Posta médica, hosp. o médico particular
Ninguna	(5)			
Diarreicas	(7)	(4)	(9)	(2)
Infecciones	(6)	(5)	(4)	(7)

Tuberculosis				
Parasitosis				
A la piel				
A los ojos				
Otros				

48. ¿Sabe Ud. el nombre de la fuente de agua que abastece a Haparquilla?
Sanco Molino

H. CONCIENCIA AMBIENTAL

49. ¿Cree usted que el agua escaseará algún día? Sí (29) No (12)
No sabe (13)

50. Cuando una persona arroja basura:
Se contamina (39) No se contamina (0) No sabe/ No opina (5)

51. ¿Qué es el agua?
La fuente de la vida (28) Sin el agua no se puede vivir(16) Es solo agua (0)

No sabe(0) Me sirve para cocinar, lavar etc.(7)

52. ¿Sabía usted que los biodigestores producen fertilizante para sus cultivos?
Sí (17) No (27)

53. ¿Estaría dispuesto a usar estos fertilizantes naturales en sus cultivos?
Sí (23) No (12) No sabe (9)

54. ¿Sabía usted que los biodigestores junto a otras tecnologías tratan el agua contaminada y esta puede ser utilizada para agricultura?
Sí (4) No (40)

55. ¿Estaría dispuesto a utilizar agua tratada por estas tecnologías, para regar sus cultivos?
Sí (40) No (1) No sabe (3)

56. ¿Cómo se elimina la basura en su vivienda?
Por recolector municipal (44) Enterrado (6 como abono) Quemado (1)
Otro: Comida para mis animales (19)

57. ¿Con qué frecuencia elimina la basura de su vivienda?
Diaria (6) 2 veces a la semana (0) Cada 2 días (0) 1 vez a la semana (0)
Quincenal (41)

Anexo 12: Determinación de caudales de diseño del sistema de tratamiento a través de la dotación de diseño y la proyección de la población

Tabla 69 Dotación por persona

TOTAL LITROS	NRO DE FAMILIAS	NRO PERSONAS	PERS/FAM	L/PERS
30	2	4	2	15
40	6	20	3.33	12
60	8	25	3.125	19.2
80	10	43	4.3	18.60
100	8	30	3.75	26.67
300	4	19	4.75	63.16
400	3	18	6	66.67
50	3	6	2	25
	Total	Total	Promedio	Promedio
	44	165	3.75	29.88

Dotación por persona: Aproximadamente 30 l/pers.día

Cálculo de Población futura:

$$r = \frac{77 - 71}{77(2039 - 2019)} = 0.0087$$

$$P = 77 * (1 + 0.0087(2039 - 2019)) = 90.333 = 91 \text{ personas}$$

Habitante equivalente:

Para 8 horas que permanece abierta la Institución Educativa, se puede decir que corresponde a 31 alumnos que pasan 24 horas en dichas instalaciones, por lo tanto, se diseñará para 31 habitantes equivalentes.

Caudal de diseño:

$$Q = (31 \text{ pers} * 35 \text{ l/pers.día}) / 84600 = 1/d$$

Teniendo en cuenta que K2 para zonas rurales es 1.5 y el valor de retorno es 0.8

$$Q = 1.3 \text{ m}^3/\text{día}$$

Anexo 13: Costos y presupuestos del sistema de tratamiento

ELABORADO POR: ZENNHYA DELGADO BRICEÑO

PRESUPUESTO

Proyecto	Sistema de Tratamiento de aguas residuales			Costo	12/12/2022
Fecha	10/10/2022			al	
Lugar	Comunidad Campesina Haparquilla-Anta-Cusco				
Item	Descripción	Und	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES				22,787.89
01.01	CAJA DE INGRESO				345.44
01.01.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				4.62
01.01.01.01	EXCAVACIÓN MANUAL EN TERRENO NORMAL	m3	0.05	92.37	4.62
01.01.02	CONCRETO SIMPLE				55.58
01.01.02.01	CONCRETO fc = 175 Kg/cm	m3	0.21	264.66	55.58
01.01.03	REVESTIMIENTOS				50.17
01.01.03.01	TARRAJEO PRIMARIO	m2	2.08	24.12	50.17
01.01.04	INSTALACIONES SANITARIAS				235.08
01.01.04.01	CONEXIÓN CON DESAGÜE	glb	1.00	235.08	235.08
01.02	REGISTRO SANITARIO				240.03
01.02.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				4.62
01.02.01.01	EXCAVACIÓN MANUAL EN TERRENO NORMAL	m3	0.05	92.37	4.62
01.02.02	CONCRETO SIMPLE				25.59
01.02.02.01	CONCRETO fc = 175 Kg/cm	m3	0.10	255.93	25.59
01.02.03	REVESTIMIENTOS				21.71
01.02.03.01	TARRAJEO PRIMARIO	m2	0.90	24.12	21.71
01.02.04	INSTALACIONES SANITARIAS				188.11
01.02.04.01	ACCESORIOS CAJA DE VÁLVULAS	glb	1.00	188.11	188.11
01.03	BIOGESTOR				9,126.47
01.03.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				532.07
01.03.01.01	EXCAVACIÓN MANUAL EN TERRENO NORMAL	m3	5.76	92.37	532.07
01.03.02	INSTALACIONES SANITARIAS				8,594.40
01.03.02.01	BIODIGESTOR ROTOPLAS 1300 L	und	2.00	3,917.80	7,835.60
01.03.02.02	ACCESORIOS BIODIGESTOR	glb	2.00	65.00	130.00
01.03.02.03	CAJA DE LODOS	und	2.00	314.4	628.8
01.04	CAJA DE INGRESO AL HUMEDAL				24.15
01.04.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS				9.24
01.04.01.01	EXCAVACIÓN MANUAL EN TERRENO NORMAL	m3	0.10	92.37	9.24
01.04.02	CONCRETO SIEMPLE				14.91
01.04.02.01	CONCRETO fc = 175 Kg/cm	m3	0.06	248.52	14.91
01.04.03	REVESTIMIENTOS				0.00
01.04.03.01	TARRAJEO PRIMARIO	m2	0.36	30.62	11.02
01.05	HUMEDAL ARTIFICIAL				6,656.94
01.05.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				3,173.02
01.05.02.01	EXCAVACIÓN MANUAL EN TERRENO NORMAL	m3	22.90	138.56	3,173.02
01.05.03	INSTALACIONES SANITARIAS				182.62
01.05.03.01	INGRESO HUMEDAL ARTIFICIAL	glb	1.00	91.42	91.42

01.05.03.02	RESPIRADORES DEL HUMEDAL	glb	1.00		81.66	81.66
01.05.03.03	SALIDA HUMEDAL ARTIFICIAL	glb	1.00		91.20	91.20
01.05.04	OTROS					3,301.30
01.05.04.01	GEOMEMBRANA HDP 1 mm	m2	59.00		30.00	1,770.00
01.05.04.02	GRAVA PUESTA EN OBRA	m3	2.26		45.00	101.70
01.05.04.03	CONFITILLO PUESTO EN OBRA	m3	35.74		40.00	1,429.60
01.06	TANQUE DE RECOLECCIÓN					4,096.92
01.06.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS					580.10
01.06.01.01	EXCAVACIÓN MANUAL EN TERRENO NORMAL	m3	3.14		184.75	580.10
01.06.02	TANQUE DE RECOLECCIÓN					2,142.62
01.06.02.01	TANQUE 2000 L	und	1.00		2,142.62	2,142.62
01.06.03	INSTALACIONES SANITARIAS					1,374.20
01.06.03.01	ACCESORIOS TANQUE DE RECOLECCIÓN	glb	1.00		52.48	52.48
01.06.03.02	TUBERÍA PARA DISPOSICIÓN FINAL	glb	1.00		25.98	25.98
01.07	RECOLECCIÓN DE AGUA RESIDUAL					2,297.93
01.07.01	MOVIMIENTO DE TIERRAS					923.73
01.07.01.01	EXCAVACIÓN MANUAL EN TERRENO NORMAL	m3	20.00		46.19	923.73
01.07.02	INSTALACIONES SANITARIAS					1,374.20
01.07.02.01	TUBERÍA DE RECOLECCIÓN	glb	1.00		1,374.20	1,374.20
	COSTO DIRECTO					22,787.89
	GASTOS GENERALES (10%)					2,278.79
	UTILIDADES (5%)					1,139.39

	SUBTOTAL					26,206.07
	IGV					4,717.09

	TOTAL PRESUPUESTO					30,923.17
				Fecha :	04/10/2022	01:35:11

Partida	01.01.04.01		CONEXIÓN CON DESAGÜE					
Rendimiento	und/DIA	MO.	10.000 0	EQ.	10.0000	Costo unitario directo por : glb	235.08	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantida d	Precio S/.	Parcial S/.		
	Mano de Obra							
0101010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.8000	24.28	19.42		
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.8000	17.32	13.86		
					33.28			
	Materiales							
2.0601E+12	TUBERÍA PVC-SAL 2" X 3m	und		2.0000	15.40	30.80		
2.0602E+12	CODO PVC-SAL 4" X 45°	und		1.0000	4.00	4.00		
2.0617E+12	YEE PVC SAL SIMPLE DE 4"	und		2.0000	8.00	16.00		
246060002	BARRAS METÁLICAS PARA EL PRETRATAMIENTO	und		1.0000	150.00	150.00		
					200.80			
	Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	33.28	1.00		
					1.00			

Partida	01.02.01.01		EXCAVACIÓN MANUAL EN TERRENO NORMAL					
Rendimiento	m/DIA	MO.	3.0000	EQ.	3.0000	Costo unitario directo por : m3	92.37	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantida d	Precio S/.	Parcial S/.		
	Mano de Obra							
0101010005	PEON	hh	2.0000	5.3333	17.32	92.37		
					92.37			

Partida	01.02.02.01		CONCRETO fc = 175 Kg/cm					
Rendimiento	m3/DIA	MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m3	255.93	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantida d	Precio S/.	Parcial S/.		
	Mano de Obra							
0101010003	OFICIAL	hh	1.5000	1.5000	19.16	28.74		
0101010005	PEON	hh	2.0000	2.0000	17.32	34.64		
					63.38			
	Materiales							
2.0701E+12	PIEDRA CHANCADA 1/2"	m3		0.5300	45.00	23.85		
2.0702E+12	ARENA GRUESA	m3		0.5200	45.00	23.40		
213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 Kg)	bol		6.0000	23.90	143.40		
					190.65			

Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	63.38	1.90
					1.90	
Partida	01.02.03.01	TARRAJEO PRIMARIO				
Rendimiento	m3/DIA	MO.	15.0000	EQ.	15.0000	Costo unitario directo por : m2 24.12
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra					
0101010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.5333	24.28	12.95
0101010005	PEON	hh	0.5000	0.2667	17.32	4.62
					17.57	
	Materiales					
207020001	ARENA	m3		0.0236	45.00	1.06
213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5 Kg)	bol		0.1665	27.00	4.50
231010001	MADERA TORNILLO	p2		0.4340	2.29	0.99
					6.55	
Partida	01.02.04.01	ACCESORIOS CAJA DE VÁLVULAS				
Rendimiento	m3/DIA	MO.	6.0000	EQ.	6.0000	Costo unitario directo por : glb 188.11
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra					
0101010002	OPERARIO	hh	1.0000	1.33	24.28	32.37
0101010005	PEON	hh	1.0000	1.33	17.32	23.09
					55.47	
	Materiales					
2.0601E+12	TUBERIA PVC-SAL 4" X 3m	und		1.0000	36.50	36.5
2.0602E+12	CODO PVC-SAL 4" X 90°	und		2.0000	3.00	6
2.0617E+12	TEE PVC-SAL 4"	und		1.0000	8.00	8
2.0617E+12	PEGAMENTO PARA PVC	gal		0.0200	40.00	0.8
2.0617E+12	VALVULA COMPUERTA 4"	und		2.0000	40.00	80
					131.3	
	Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	44.64	1.34
					1.34	
Partida	01.03.01.01	EXCAVACIÓN MANUAL EN TERRENO NORMAL				
Rendimiento	m/DIA	MO.	3.0000	EQ.	3.0000	Costo unitario directo por : m3 92.37

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantida d	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra					
0101010005	PEON	hh	2.0000	5.3333	17.32	92.37
					92.37	
Partida	01.03.02.01					
						BIODIGESTOR ROTOPLAS 1300 L
Rendimiento	m/DIA	MO.		EQ.	Costo unitario directo por : und	3,917. 80
	Materiales					
2.4801E+12	BIODIGESTOR ROTOPLAS 1300 L	m		2.0000	1,958.90	3,917.8 0
					3,917.80	
Partida	01.03.02.02					
						ACCESORIOS BIODIGESTOR
Rendimiento	glb/DIA	MO.		EQ.	Costo unitario directo por : glb	65.00
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantida d	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Materiales					
0205100001 0018	TUBERÍA PVC-SAL 2"X3m	und		2.0000	15.40	30.80
0205230001 0045	CODO PVC-SAL 4" X 45	und		4.0000	8.55	34.20
					65.00	
Partida	01.03.02.03					
						CAJA DE LODOS
Rendimiento	glb/DIA	MO.		EQ.	Costo unitario directo por : und	314.40
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantida d	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Materiales					
0205100001 0018	CAJA DE LODOS PREFABRICADA	und		2.0000	157.20	314.40
					314.40	
Partida	01.04.01.01					
						EXCAVACIÓN MANUAL EN TERRENO NORMAL
Rendimiento	und/DIA	MO. 3.0000		EQ. 3.0000	Costo unitario directo por : m3	92.37
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantida d	Precio \$/.	Parcial \$/.
	Mano de Obra					
0101010005	PEON	hh	2.0000	5.3333	17.32	92.37
					92.37	
Partida	01.04.02.01					
						CONCRETO fc = 175 Kg/cm

Rendimiento	und/DIA	MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : m3	248.52
-------------	---------	-----	--------	-----	--------	---------------------------------	--------

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
101010003	OFICIAL	hh	1.5000	1.5000	19.16	28.74
0101010005	PEON	hh	0.5000	0.5000	17.32	8.66
					37.40	
Materiales						
2.0701E+12	PIEDRA CHANCADA 1/2"	m3		0.5300	45.00	23.85
2.0702E+12	ARENA GRUESA	m3		0.5200	45.00	23.40
213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5Kg)	bol		6.0000	27.00	162.00
					209.25	
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	37.40	1.87
					1.87	

Partida **01.04.03.01** **TARRAJEO PRIMARIO**

Rendimiento	m/DIA	MO.	15.0000	EQ.	15.0000	Costo unitario directo por : m2	30.62
-------------	-------	-----	---------	-----	---------	---------------------------------	-------

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.5333	24.28	12.95
0101010005	PEON	hh	0.5000	0.2667	17.32	4.62
					17.57	
Materiales						
2.0701E+12	PIEDRA CHANCADA 1/2"	m3		0.0236	45.0000	1.0620
2.0702E+12	ARENA GRUESA	m3		0.0060	45.0000	0.2700
213010001	CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5Kg)	bol		0.4340	27.0000	11.7180
					13.05	

Partida **01.05.02.01** **EXCAVACIÓN MANUAL EN TERRENO NORMAL**

Rendimiento	glb/DIA	MO.	3.0000	EQ.	3.0000	Costo unitario directo por : m3	138.56
-------------	---------	-----	--------	-----	--------	---------------------------------	--------

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010005	PEON	hh	3.0000	8.0000	17.32	138.56
					138.56	

Partida **01.05.03.01** **INGRESO HUMEDAL ARTIFICIAL**

Rendimiento glb/DIA MO. 8.0000 EQ. 8.0000 Costo unitario directo por : glb 91.42

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
101010003	OFICIAL	hh	1.0000	1.0000	19.16	19.16
0101010005	PEON	hh	0.5000	0.5000	17.32	8.66
						27.82
Materiales						
2.0601E+12	TUBERÍA PVC-SAL 2" X 3m	und		2.0000	15.55	31.10
2.0604E+12	TAPÓN PVC-SAL 2"	und		2.0000	4.00	8.00
2.0605E+12	TEE PVC-SAL 2"	und		1.0000	4.50	4.50
2220800015	PEGAMENTO PARA PVC DE 1/4 GLN	und		0.5000	40.00	20.00
						63.60

Partida 01.05.03.02 RESPIRADORES DEL HUMEDAL

Rendimiento glb/DIA MO. 8.0000 EQ. 8.0000 Costo unitario directo por : glb 81.66

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010005	PEON	hh	0.5000	0.5000	17.32	8.66
						8.66
Materiales						
2.0602E+11	TUBERÍA PVC-SAL 4" X 3m	und		2.0000	36.50	73.00
2.0602E+11	SOMBRERO 4" LIVIANO	und		4.0000	13.50	54.00
						73.00

Partida 01.05.03.03 SALIDA HUMEDAL ARTIFICIAL

Rendimiento glb/DIA MO. 8.0000 EQ. 8.0000 Costo unitario directo por : glb 91.20

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
101010003	OFICIAL	hh	1.0000	1.0000	19.16	19.16
0101010005	PEON	hh	0.5000	0.5000	17.32	8.66
						27.82
Materiales						
2.0601E+12	TUBERÍA PVC-SAL 2" X 3m	und		2.0000	15.44	30.88
2.0604E+12	TAPÓN PVC-SAL 2"	und		2.0000	4.00	8.00
2.0605E+12	TEE PVC-SAL 2"	und		1.0000	4.50	4.50
2220800015	PEGAMENTO PARA PVC DE 1/4 GLN	und		0.5000	40.00	20.00
						63.38

Partida	01.05.04.01	GEOMEMBRANA HDP 1 mm						
Rendimiento	gIb/DIA	MO.		EQ.		Costo unitario directo por : m2	30.00	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantida d	Precio S/.	Parcial S/.		
	Materiales							
02.05.03.01	GEOMEMBRANA HDPE 1 mm LISA NEGRA	m2		1.0000	30.00	30.00		
					30.00			
Partida	01.05.04.02	GRAVA PUESTA EN OBRA						
Rendimiento	gIb/DIA	MO.		EQ.		Costo unitario directo por : m3	45.00	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantida d	Precio S/.	Parcial S/.		
	Materiales							
207010011	GRAVA	m3		1.0000	45.00	45.00		
					45.00			
Partida	01.05.04.03	CONFITILLO PUESTO EN OBRA						
Rendimiento	gIb/DIA	MO.		EQ.		Costo unitario directo por : m3	40.00	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantida d	Precio S/.	Parcial S/.		
	Materiales							
2070100012	CONFITILLO	m3		1.0000	40.00	40.00		
					40.00			
Partida	01.06.01.01	EXCAVACIÓN MANUAL EN TERRENO NORMAL						
Rendimiento	gIb/DIA	MO.	3.0000	EQ.	3.0000	Costo unitario directo por : m3	184.75	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantida d	Precio S/.	Parcial S/.		
	Mano de Obra							
0101010005	PEON	hh	4.0000	10.6667	17.32	184.75		
					184.75			
Partida	01.06.02.01	TANQUE 2000 L						
Rendimiento	gIb/DIA	MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : und	2,142.62	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantida d	Precio S/.	Parcial S/.		
	Mano de Obra							

0101010002	OPERARIO	hh	1.0000	1.0000	24.28	24.28
0101010005	PEON	hh	2.0000	2.0000	17.32	34.64
					58.92	

Materiales

2.4801E+12	TANQUE ROTOPLAS 2000 L	m3		1.0000	2,083.70	2,083.70
					2,083.70	

Partida **01.06.03.01** **ACCESORIOS TANQUE DE RECOLECCIÓN**

Rendimiento	glb/DIA	MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : glb	52.48
-------------	----------------	-----	---------------	-----	---------------	----------------------------------	--------------

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
101010003	OFICIAL	hh	1.0000	1.0000	17.32	17.32
0101010005	PEON	hh	0.5000	0.5000	17.32	8.66
					25.98	

Materiales

2.0601E+12	TUBERÍA PVC-SAL 2" X 3 m	und		1.0000	10.00	10.00
2.0602E+12	CODO PVC-SAL 2" X 90°	und		3.0000	4.00	12.00
2.0605E+12	TEE PVC-SA 2"	und		1.0000	4.50	4.50
					26.50	

Partida **01.06.03.02** **TUBERÍA PARA DISPOSICIÓN FINAL**

Rendimiento	glb/DIA	MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : glb	25.98
-------------	----------------	-----	---------------	-----	---------------	----------------------------------	--------------

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
101010003	OFICIAL	hh	1.0000	1.0000	17.32	17.32
0101010005	PEON	hh	0.5000	0.5000	17.32	8.66
					25.98	

Materiales

2.0601E+12	TUBERÍA PVC-SAL 2" X 3 m	und		3.0000	10.00	30.00
2.0602E+12	CODO PVC-SAL 2" X 90°	und		3.0000	4.00	12.00
					42.00	

Partida **01.07.01.01** **EXCAVACIÓN MANUAL EN TERRENO NORMAL**

Rendimiento	glb/DIA	MO.	3.0000	EQ.	3.0000	Costo unitario directo por : m3	46.19
-------------	----------------	-----	---------------	-----	---------------	---------------------------------	--------------

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantida d	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010005	PEON	hh	1.0000	2.6667	17.32	46.19
					46.19	

Partida	01.07.02.01		TUBERÍA DE RECOLECCIÓN				
Rendimiento	glb/DIA	MO.	8.0000	EQ.	8.0000	Costo unitario directo por : glb	1,374. 20

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantida d	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
101010003	OFICIAL	hh	1.0000	1.0000	17.32	17.32
0101010005	PEON	hh	0.5000	0.5000	17.32	8.66
					25.98	
	Materiales					
2.0601E+12	TUBERÍA PVC-SAL 2" X 3 m	und		3.0000	15.44	46.32
2.0602E+12	CODO PVC-SAL 2" X 90°	und		3.0000	2.20	6.60
2.0602E+11	TUBERÍA PVC-SAL 4" X 3 m	und		35.0000	36.50	1,277.5 0
2.0601E+12	CODO PVC-SAL 4" X 90°	und		2.0000	8.90	17.80
					1,348.22	

Anexo 14: Costos y presupuestos del sistema de riego por goteo

ELABORADO POR: ZENNHYA DELGADO BRICEÑO

PRESUPUESTO

Presupuesto	1101002	Reutilización de agua residual		Costo	3/10/2022
Cliente	UNALM			al	
Lugar	CUSCO				
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	SISTEMA DE RIEGO				4,064.92
01.01	CENTRO DE CONTROL				1,690.13
01.01.01	UNIDAD DE BOMBEO				1,289.42
01.01.01.01	EQUIPO DE BOMBEO 1 HP	und	1.00	1,164.22	1,164.22
01.01.01.02	ACCESORIOS DE SUCCION DE 1 "	und	1.00	125.20	125.20
01.01.02	VÁLVULAS DE CONTROL				192.52
01.01.02.01	VALVULA BOLA DE 1"	und	1.00	44.60	44.60
01.01.02.02	VALVULA DE AIRE D/E 1"	und	1.00	103.64	103.64
01.01.02.03	ACCESORIOS DE CONEXIÓN	glb	1.00	44.28	44.28
01.01.03	SISTEMA DE FILTRADO				208.19
01.01.03.01	FILTRO DE ANILLAS 120 MESH DE 1"	und	1.00	208.19	208.19
01.02	SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN				1,034.44
01.02.01	OBRAS PRELIMINARES				674.56
01.02.01.01	TRAZO Y REPLANTEO	m	10.00	67.46	674.56
01.02.02	MOVIMIENTO DE TIERRAS				270.66
01.02.02.01	EXCAVACION DE ZANJA MANUAL PARA TUBERÍA	m3	2.00	74.51	149.03
01.02.02.02	CAMA DE APOYO	m3	0.40	93.33	37.33
01.02.02.03	RELLENO CON MATERIAL PROPIO ZARANDEADO (RELLENO)	m3	2.00	36.37	72.74
01.02.02.04	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	0.40	28.89	11.56
01.02.03	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE TUBERÍAS				73.52
01.02.03.01	TUBERIA PVC SP 1" PN 10 BAR E/C	m	7.00	7.82	54.75
01.02.03.02	TUBERIA PVC SP 3/4" PN 10 BAR E/C	m	2.00	6.17	12.33
01.02.03.03	TUBERIA PVC SP 1/2" PN 10 BAR E/C	m	2.00	3.22	6.43
01.03.04	ACCESORIOS DE TUBERÍA DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN				15.70
01.03.04.01	ACCESORIOS PVC CLASE 10 BAR	glb	1.00	15.70	15.70
01.03	ARCO DE RIEGO				61.64
01.03.01	ARCO DE RIEGO DE 1"	und	1.00	61.64	61.64
01.04	EMISORES DE RIEGO POR GOTEO				1,278.72
01.04.01	MANGUERA AUTOCOMPENSADA - 1.60 LPH/30CM	m	616.00	1.98	1,221.24
01.04.02	ACCESORIOS DE INSTALACION DE HDPE	glb	1.00	57.48	57.48
	COSTO DIRECTO				4,064.92
	GASTOS GENERALES (10%)				406.49
	UTILIDADES (5%)				203.25

	SUBTOTAL				4,674.66
	IGV				841.44

	TOTAL PRESUPUESTO				5,516.10

COSTOS UNITARIOS

Partida	01.01.01.01		EQUIPO DE BOMBEO 1 HP					
Rendimiento	und/DIA	MO.	0.3333	EQ.	0.3333	Costo unitario directo por : und	1,164.22	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
	Mano de Obra							
0101010002	OPERARIO	hh	0.1000	2.4002	24.28	58.28		
0101010005	PEON	hh	1.0000	24.0024	17.32	415.72		
					474.00			
	Materiales							
0258080001	EQUIPO DE BOMBEO DE AGUA	und		1.0000	676.00	676.00		
					676.00			
	Equipos							
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	474.00	14.22		
					14.22			
Partida	01.01.01.02		ACCESORIOS DE SUCCION DE 1 "					
Rendimiento	und/DIA	MO.	4.0000	EQ.	4.0000	Costo unitario directo por : und	125.20	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
	Mano de Obra							
0101010003	OFICIAL	hh	0.1000	0.2000	19.16	3.83		
0101010005	PEON	hh	2.0000	4.0000	17.32	69.28		
					73.11			
	Materiales							
02610700010002	CANASTILLA DE SUCCIÓN 1"	und		1.0000	13.59	13.59		
02490200010008	CODO PVC-C10 DE 1" X 90°	und		3.0000	5.10	15.30		
0205300010	UNIÓN UNIVERSAL ROSCADA	und		2.0000	9.90	19.80		
0249030012	NIPLE ROSCADO 1"	und		2.0000	1.70	3.40		
					52.09			
Partida	01.01.02.01		VALVULA BOLA DE 1"					
Rendimiento	und/DIA	MO.	5.0000	EQ.	5.0000	Costo unitario directo por : und	44.60	

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantida d	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010002	OPERARIO	hh	0.1000	0.1600	24.28	3.88
0101010005	PEON	hh	1.0000	1.6000	17.32	27.71
					31.60	
	Materiales					
0253040002	VALVULA BOLA DE 1"	und		1.0000	13.00	13.00
					13.00	
Partida	01.01.02.02		VALVULA DE AIRE D/E 1"			
Rendimiento	und/DIA	MO. 8.0000	EQ. 8.0000		Costo unitario directo por : und	103.6 4
	Mano de Obra					
0101010002	OPERARIO	hh	0.1000	0.1000	24.28	2.43
0101010005	PEON	hh	1.0000	1.0000	17.32	17.32
					19.75	
	Materiales					
0253110013	VALVULA DE AIRE DE 1"	und		1.0000	83.89	83.89
					83.89	
Partida	01.01.02.03		ACCESORIOS DE CONEXIÓN			
Rendimiento	glb/DIA	MO. 14.0000	EQ. 14.0000		Costo unitario directo por : glb	44.28
	Mano de Obra					
0101010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.5714	24.28	13.87
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.5714	17.32	9.90
					23.77	
	Materiales					
0249020001 0008	CODO PVC-C10 DE 1" X 90°	und		2.0000	5.10	10.20
0249020001 0018	UPR PVC DE 1"	und		4.0000	2.40	9.60
					19.80	
	Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	23.77	0.71
					0.71	
Partida	01.01.03.01		FILTRO DE ANILLAS 120 MESH DE 1"			
Rendimiento	und/DIA	MO. 4.0000	EQ. 4.0000		Costo unitario directo por : und	208.1 9
	Mano de Obra					
0101010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.5714	24.28	13.87
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.5714	17.32	9.90
					23.77	
	Materiales					
0249020001 0008	CODO PVC-C10 DE 1" X 90°	und		2.0000	5.10	10.20
0249020001 0018	UPR PVC DE 1"	und		4.0000	2.40	9.60
					19.80	
	Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	23.77	0.71
					0.71	
Partida	01.01.03.01		FILTRO DE ANILLAS 120 MESH DE 1"			
Rendimiento	und/DIA	MO. 4.0000	EQ. 4.0000		Costo unitario directo por : und	208.1 9
	Mano de Obra					
0101010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.5714	24.28	13.87
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.5714	17.32	9.90
					23.77	
	Materiales					
0249020001 0008	CODO PVC-C10 DE 1" X 90°	und		2.0000	5.10	10.20
0249020001 0018	UPR PVC DE 1"	und		4.0000	2.40	9.60
					19.80	
	Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	23.77	0.71
					0.71	
Partida	01.01.03.01		FILTRO DE ANILLAS 120 MESH DE 1"			
Rendimiento	und/DIA	MO. 4.0000	EQ. 4.0000		Costo unitario directo por : und	208.1 9
	Mano de Obra					
0101010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.5714	24.28	13.87
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.5714	17.32	9.90
					23.77	
	Materiales					
0249020001 0008	CODO PVC-C10 DE 1" X 90°	und		2.0000	5.10	10.20
0249020001 0018	UPR PVC DE 1"	und		4.0000	2.40	9.60
					19.80	
	Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	23.77	0.71
					0.71	
Partida	01.01.03.01		FILTRO DE ANILLAS 120 MESH DE 1"			
Rendimiento	und/DIA	MO. 4.0000	EQ. 4.0000		Costo unitario directo por : und	208.1 9

		Mano de Obra					
0101010002	OPERARIO	hh	0.5000	1.0000	24.28	24.28	
0101010005	PEON	hh	1.0000	2.0000	17.32	34.64	
						58.92	

		Materiales					
0267040011	FILTRO DE ANILLAS DE 120 MESH DE 1"	und		1.0000	147.50	147.50	
						147.50	

		Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	58.92	1.77	
						1.77	

Partida **01.02.01.01** **TRAZO Y REPLANTEO**

Rendimiento	m/DIA	MO.	4,000.0000	EQ.	4,000.0000	Costo unitario directo por : m	67.46
-------------	--------------	-----	-------------------	-----	-------------------	--------------------------------	--------------

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
		Mano de Obra					
0101010005	PEON	hh	1.0000	0.0020	17.32	0.03	
01010300000005	OPERARIO TOPOGRAFO	hh	1.0000	0.0020	24.28	0.05	
						0.08	

		Equipos					
0301000009	ESTACION TOTAL	día	1.0000	0.0020	162.50	0.33	
03014900010001	CORDEL	rl		0.1000	6.52	0.65	
						0.98	

Partida **01.02.02.01** **EXCAVACION DE ZANJA MANUAL PARA TUBERIA**

Rendimiento	m3/DIA	MO.	3.0000	EQ.	3.0000	Costo unitario directo por : m3	74.51
-------------	---------------	-----	---------------	-----	---------------	---------------------------------	--------------

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.	
		Mano de Obra					
0101010003	OFICIAL	hh	0.1000	0.2667	19.16	5.11	
0101010005	PEON	hh	1.5000	4.0000	17.32	69.28	
						74.39	

		Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	2.47	0.12	
						0.12	

Partida **01.02.02.02** **CAMA DE APOYO**

Rendimiento	m3/DIA	MO.	6.0000	EQ.	6.0000	Costo unitario directo por : m3	93.33
-------------	---------------	-----	---------------	-----	---------------	---------------------------------	--------------

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
---------------	----------------------------	---------------	------------------	-----------------	--------------------	---------------------

			Mano de Obra						
0101010003	OFICIAL	hh	0.1000	0.1333	19.16	2.55			
0101010005	PEON	hh	1.0000	1.3333	17.32	23.09			
							25.65		
			Materiales						
0213040011	ARENA GRUESA	m3		1.1000	60.36	66.40			
							66.40		
			Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	25.65	1.28			
							1.28		
Partida	01.02.02.03		RELLENO CON MATERIAL PROPIO ZARANDEADO (RELLENO)						
Rendimiento	m3/DIA	MO.	4.0000	EQ.	4.0000	Costo unitario directo por : m3		36.37	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.			
			Mano de Obra						
0101010005	PEON	hh	1.0000	2.0000	17.32	34.64			
							34.64		
			Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	34.64	1.73			
							1.73		
Partida	01.03.02.05		ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE						
Rendimiento	m3/DIA	MO.	45.0000	EQ.	45.0000	Costo unitario directo por : m3		28.89	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.			
			Equipos						
0301220004	CAMION VOLQUETE	hm	1.0000	0.1778	162.50	28.89			
							28.89		
Partida	01.02.03.01		TUBERIA PVC SP 1" PN 10 BAR E/C						
Rendimiento	m/DIA	MO.	800.0000	EQ.	800.0000	Costo unitario directo por : m		7.82	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.			
			Mano de Obra						
0101010002	OPERARIO	hh	1.0000	0.0100	24.28	0.24			
0101010005	PEON	hh	2.0000	0.0200	17.32	0.35			
							0.59		
			Materiales						
02052700010010	TUBERIA DE PVC UNION SIMPLE 1"	m		1.0500	6.86	7.20			

0205230001 0045	REDUCCION PVC S/P 1" A 3/4"	und		1.0000	2.20	2.20
0205230001 0046	REDUCCION PVC S/P 3/4" A 1/2"	und		1.0000	2.20	2.20
						15.70

Partida **01.03.01** **ARCO DE RIEGO DE 1"**

Rendimiento **und/DIA** MO. **6.0000** EQ. **6.0000** Costo unitario directo por : und **61.64**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantida d	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010002	OPERARIO	hh	0.1000	0.1333	24.28	3.24
0101010005	PEON	hh	0.1000	0.1333	17.32	2.31
						5.55
Materiales						
0205300010	UNIÓN UNIVERSAL ROSCADA 1"	und		2.0000	6.00	12.00
0249030012	NIPLE ROSCADO DE 1" X 1"	und		2.0000	3.50	7.00
0253180016	VALVULA BOLA 1"	und		1.0000	13.00	13.00
0290240001 0028	UPR 1"	und		2.0000	2.98	5.96
0205100001 0018	CODO PVC S/P 1" X 90°	und		3.0000	5.65	16.95
						54.91
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	39.44	1.18
						1.18

Partida **01.04.01** **MANGUERA AUTOCOMPENSADA - 1.60
LPH/30CM**

Rendimiento **m/DIA** MO. **1,000.00
00** EQ. **1,000.0000** Costo unitario directo por : m **1.98**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantida d	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
0101010003	OFICIAL	hh	1.0000	0.0080	19.16	0.15
0101010005	PEON	hh	3.0000	0.0240	17.32	0.42
						0.57
Materiales						
0252010005	MANGUERA AUTOCOMPENSADA1.6 LPH @ 30 CM	m		1.0500	1.33	1.40
						1.40
Equipos						
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	0.57	0.02
						0.02

Partida **01.04.02** **ACCESORIOS DE INSTALACION DE
HDPE**

Rendimiento **glb/DIA** MO. **1.0000** EQ. **1.0000** Costo unitario directo por : glb **57.48**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantida d	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0101010003	OFICIAL	hh	0.1000	0.8000	19.16	15.33
0101010005	PEON	hh	0.1000	0.8000	17.32	13.86
					29.18	
	Materiales					
0205300014	TEE HDPE 16 MM	und		14.0000	0.50	7.00
0205300015	CODO HDPE 16 MM	und		2.0000	0.50	1.00
0205300017	ABRAZADERA DE METAL 5/8"	und		16.0000	0.80	12.80
0252010003	MANGUERA FLEXIBLE (1/2") X 30 cm	und		0.5000	10.00	5.00
0290240001 0035	UPR HDPE 16 MM	und		5.0000	0.50	2.50
					28.30	

Anexo 15: Operación, mantenimiento y costos que conlleva de ambos sistemas

Tabla 70: Operación y mantenimiento de los componentes del sistema de tratamiento

N°	Actividad	Unidad	Objetivo	Procedimiento	Frecuencia	Responsable
1	Mantenimiento de caja de ingreso	Caja de ingreso	Evitar la colmatación de sólidos en la caja de ingreso y las rejillas	Abrir la tapa de la caja, quitar los sólidos retenidos en las rejillas con la ayuda de un rastrillo y depositarlos en un recipiente perforado para que discurran y luego puedan ser desechados. Tapar y asegurar la caja.	1 vez al mes o según se colmaten los sólidos.	Operador del sistema de tratamiento
2	Retirado del lodo del biodigestor y estabilización con cal	Caja de lodos	Es parte del mantenimiento de los biodigestores cuyo objetivo es mantener la eficiencia de los mismos y darle un uso adecuado a los biosólidos	Abrir la válvula de lodos para ser descargados en la caja de lodos, tapar y dejar secar para su posterior estabilización.	1 ó 2 veces al año.	Operador del sistema de tratamiento
				Agregar 13 Kg de cal para 150 Kg de lodo, exponerlos durante 13 días y luego hacer uso directo del biosólido.	1 ó 2 veces al año.	Operador del sistema de tratamiento
3	Mantenimiento del humedal artificial	Humedal artificial	Mantener la eficiencia del funcionamiento del humedal	Verificar que no hayan estancamientos de agua. Si se observa acumulación de agua en la superficie del humedal, girar ligeramente el codo de salida, para bajar el nivel del agua y permitir la mineralización de sólidos acumulados.	Cada dos meses	Operador del sistema de tratamiento
				Verificar que no haya obstrucción en las tuberías de ingreso y salida.	1 vez al mes	Operador del sistema de tratamiento

				Retiro de malezas y poda periódica de las plantas del humedal.	1 vez al mes	Operador del sistema de tratamiento
				Asegurar que el codo de salida se encuentre levantado para mantener acumulada una cantidad de agua en el humedal y evitar que se sequen las plantas.	2 veces al año (vacaciones)	Operador del sistema de tratamiento
4	Mantenimiento de la caja de salida del humedal	Caja de salida del humedal	Evitar el exceso de sedimentos en la base de la caja	Realizar una inspección minuciosa de posibles roturas de la tubería de salida. Hacer una limpieza manual de las paredes y el fondo de la caja de salida.	1 vez al mes	Operador del sistema de tratamiento

Tabla 71: Operación y mantenimiento del sistema de riego

Operación/ Mantenimiento	N°	Actividad	Unidad	Objetivo	Procedimiento	Frecuencia	Responsable
Operación	1	Encendido y apagado de la bomba	Bomba eléctrica	Succionar el agua residual tratada del tanque de almacenamiento y distribuirla al campo de riego	Los días Lunes y Jueves que se riegue se encenderá el switch de la bomba, asimismo finalizado el riego, se realizará el apagado de la misma.	2 veces por semana	Operador del sistema de riego
	2	Purgado de la bomba	Bomba eléctrica	Permitir la succión de la bomba	Se agrega agua al orificio de purgación para llenar el cuerpo hidráulico de la bomba y esta no trabaje en vacío.	Cuando sea necesario	Operador del sistema de riego
	3	Apertura y cerrado de válvulas	Válvulas	Permitir el ingreso de agua al campo de riego	Los días que toque regar será necesario abrir y cerrar las válvulas al inicio y al final del riego.	2 veces por semana	Operador del sistema de riego
Mantenimiento	4	Mantenimiento del tanque de almacenamiento	Tanque de almacenamiento	Evitar el exceso de sedimentos en la base del tanque y posibles roturas.	Realizar una inspección minuciosa de posibles perforaciones y roturas. Hacer una limpieza manual de las paredes y el fondo del tanque.	1 vez al mes	Operador del sistema de riego
	5	Revisión rutinaria del sistema de bombeo	Sistema de bombeo	Asegurar su correcto funcionamiento	Estar constantemente atentos a ruidos y vibraciones extrañas, además de altas temperaturas	1 vez al mes	Operador del sistema de riego

6	Limpieza del filtro	Filtro	Evitar obturaciones en los emisores	Desmontar el filtro y lavar el cartucho con agua a fuertes presiones o con ayuda de un cepillo/ Lavar con ácido clorhídrico.	1 vez al mes	Operador del sistema de riego
7	Mantenimiento de la tubería principal	Tubería principal	Evitar roturas y filtraciones	Revisar la existencia de roturas o filtraciones, si existiera alguna rotura, será necesario cortar la sección dañada y reemplazarla por un trozo nuevo a través de uniones.	1 vez al mes	Operador del sistema de riego
8	Revisión y lavado de laterales y emisores	Tuberías laterales y goteros	Evitar roturas, filtraciones y reducir riesgo de taponamiento	Revisar periódicamente el correcto funcionamiento de laterales y goteros para tomar las medidas correspondientes/ Lavar o purgar los laterales abriendo el extremo de los mismos durante 2 min y dejando correr el agua.	1 vez al mes	Operador del sistema de riego

Tabla 72: Costo de actividades de operación y mantenimiento del sistema de tratamiento

Actividad	Tarea	Frecuencia	Tiempo (h)	Tiempo al año (h)	Costo por h	Costo
Operación y Mantenimiento	Abrir la tapa de la caja, quitar los sólidos retenidos en las rejillas con la ayuda de un rastrillo y depositarlos en un recipiente perforado para que discurren y luego puedan ser desechados. Tapar y asegurar la caja.	1 vez al mes o según se colmaten los sólidos.	0.5	4.5	10	45
	Abrir la válvula de lodos para ser descargados en la caja de lodos, tapar y dejar secar para su posterior estabilización.	1 ó 2 veces al año.	1	2	10	20
	Agregar 13 Kg de cal para 150 Kg de lodo, exponerlo durante 13 días y luego hacer uso directo del biosólido.	1 ó 2 veces al año	0.5	1	10	10
	Verificar que no haya estancamientos de agua. Si se observa acumulación de agua en la superficie del humedal, girar ligeramente el codo de salida, para bajar el nivel del agua y permitir la mineralización de sólidos acumulados.	Cada dos meses	0.5	2.25	10	22.5
	Verificar que no haya obstrucción en las tuberías de ingreso y salida.	1 vez al mes	0.5	4.5	10	45

	Retiro de malezas y poda periódica de las plantas del humedal.	1 vez al mes	1	9	10	90
	Asegurar que el codo de salida se encuentre levantado para mantener acumulada una cantidad de agua en el humedal y evitar que se sequen las plantas.	2 veces al año (vacaciones)	0.5	1	10	10
	Realizar una inspección minuciosa de posibles roturas de la tubería de salida. Hacer una limpieza manual de las paredes y el fondo de la caja de salida.	1 vez al mes	0.5	4.5	10	45
Monitoreo	Muestreo de afluentes y efluentes	Una vez/año	5	5	10	50
Total						337.5

Tabla 73: Costo de actividades de operación y mantenimiento del sistema de riego

Actividad	Tarea	Frecuencia	Tiempo (h)	Tiempo al año (h)	Costo por h	Costo
Operación	Los días Lunes y jueves que se riegue se encenderá el switch de la bomba, asimismo finalizado el riego, se realizará el apagado de la misma.	2 veces por semana	0.5	9	10	90
	Se agrega agua al orificio de purgación para llenar el cuerpo hidráulico de la bomba y esta no trabaje en vacío.	Cuando sea necesario	0.5	2.5	10	25
	Los días que toque regar será necesario abrir y cerrar las válvulas al inicio y al final del riego.	2 veces por semana	0.5	9	10	90
Mantenimiento	Realizar una inspección minuciosa de posibles perforaciones y roturas. Hacer una limpieza manual de las paredes y el fondo del tanque.	1 vez al mes	0.5	4.5	10	45
	Estar constantemente atentos a ruidos y vibraciones extrañas, además de altas temperaturas	1 vez al mes	0.5	4.5	10	45

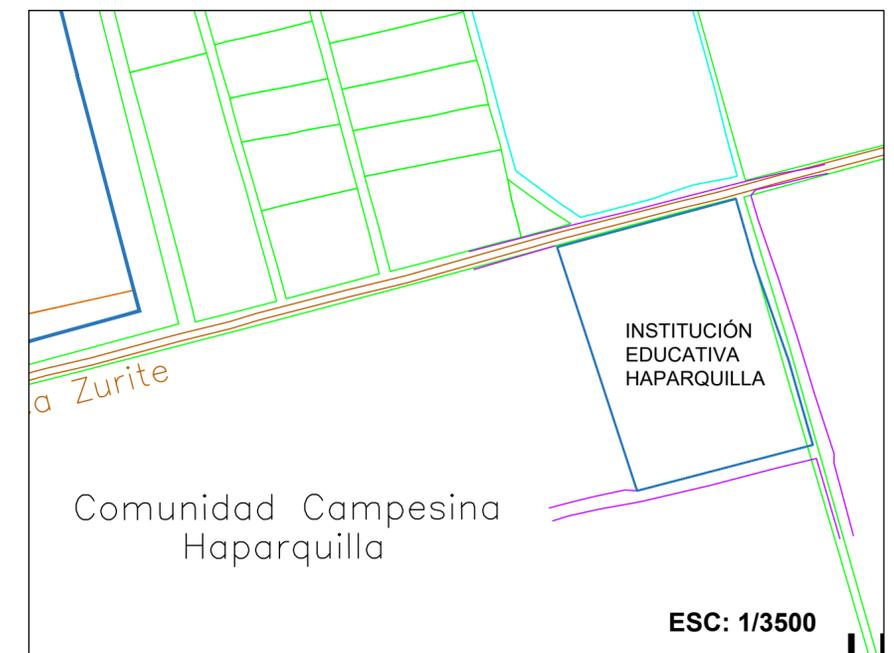
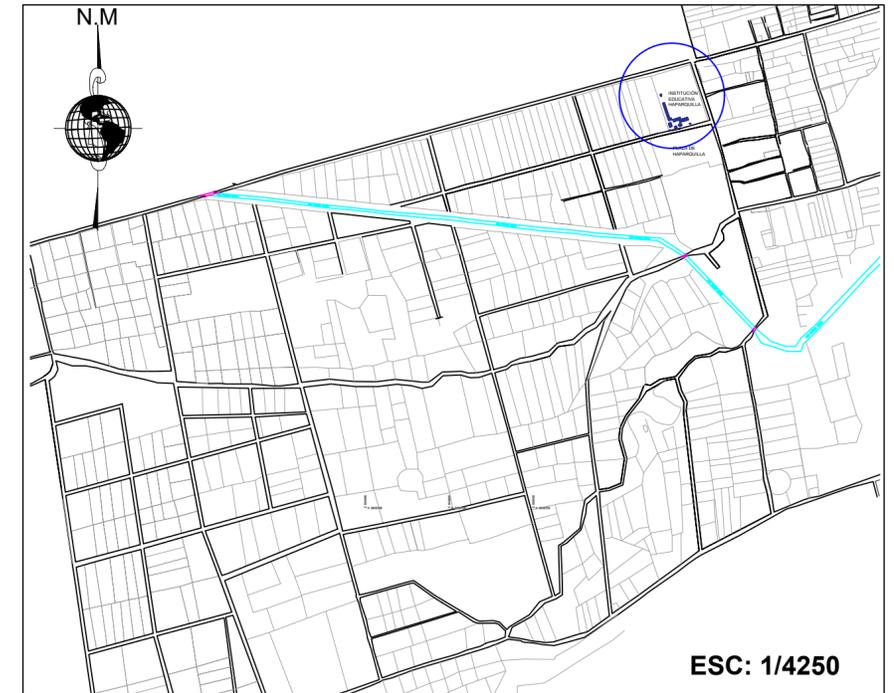
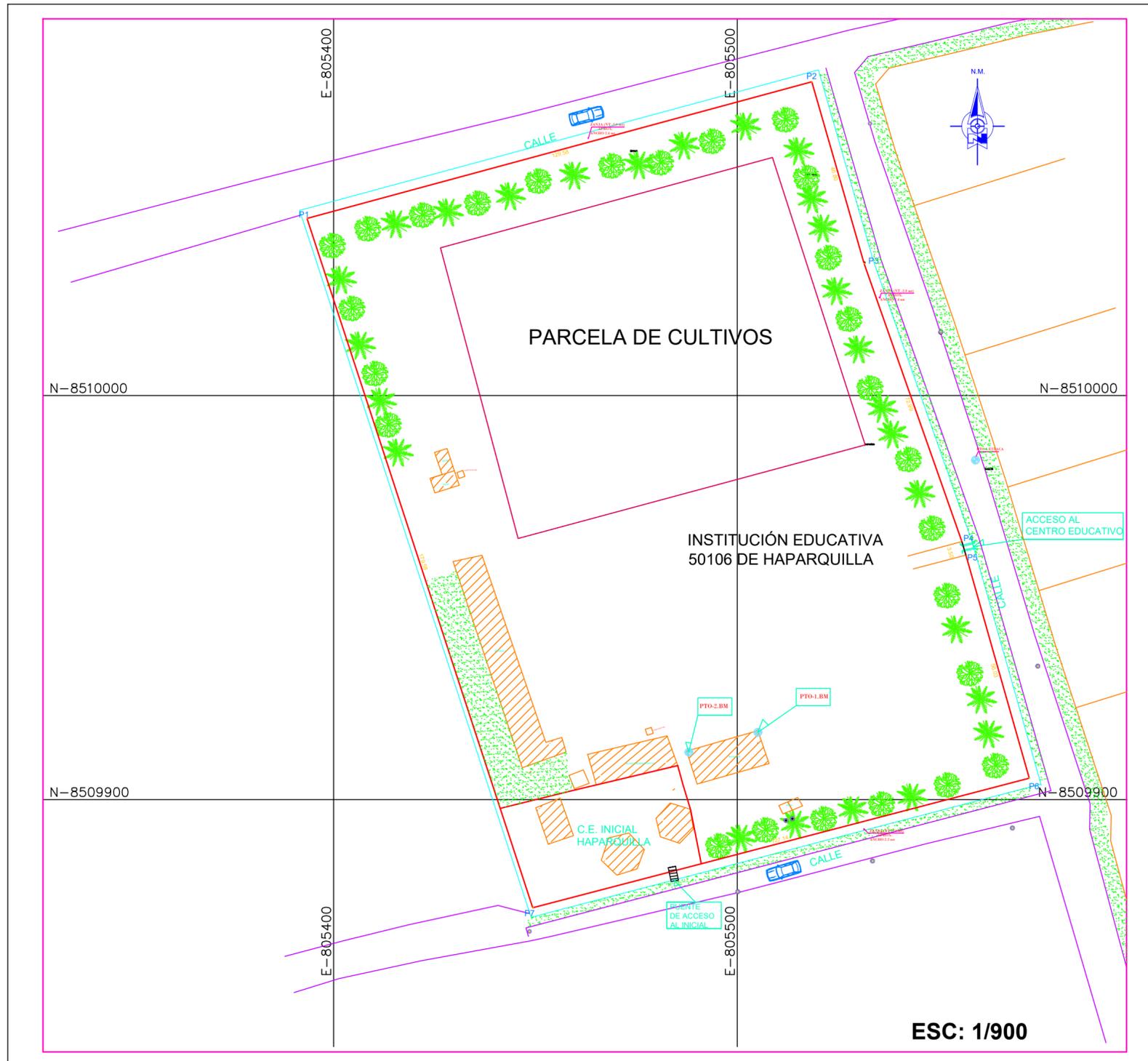
Desmontar el filtro y lavar el cartucho con agua a fuertes presiones o con ayuda de un cepillo/ Lavar con ácido clorhídrico.	1 vez al mes	0.5	4.5	10	45
Revisar la existencia de roturas o filtraciones, si existiera alguna rotura, será necesario cortar la sección dañada y reemplazarla por un trozo nuevo a través de uniones.	1 vez al mes	1	9	10	90
Revisar periódicamente el correcto funcionamiento de laterales y goteros para tomar las medidas correspondientes/ Lavar o purgar los laterales abriendo el extremo de los mismos durante 2 min y dejando correr el agua.	1 vez al mes	0.5	4.5	10	45
Total					475

Tabla 74: Costos de operación y mantenimiento de ambos sistemas

Actividad	Consideraciones	Costo anual estimado (soles)
Operación y Mantenimiento	Revisiones, reparaciones, limpiezas, podas y compras de EPPs	912.5
Monitoreo	Pago al laboratorio por análisis de parámetros	300
	Transporte Haparquilla - Cusco	50
Total anual estimado (soles/año)		1262.5

Anexo 16: Planos**Tabla 75: Listado de planos**

N°	Item	Código de plano
1	Plano de localización, ubicación y topográfico de la Institución Educativa 50106 Haparquilla	P - 01
2	Generación, conducción y disposición de aguas residuales existente	P - 02
3	Generación, conducción y disposición de aguas propuesto	P - 03
4	Pretratamiento, tratamiento primario y secundario de las aguas residuales generadas en la Institución Educativa 50106 Haparquilla	P - 04
5	Sistema de riego por goteo	P - 05
6	Distribución espacial de las tecnologías de los sistemas propuestos	P - 06



CUADRO DE COORDENADAS					
VERTICE	LADO	DIST.	ANGULO	ESTE	NORTE
P1	P1 - P2	129.58	86°58'36"	805393.3904	8510043.8560
P2	P2 - P3	46.80	90°55'49"	805518.4739	8510077.6773
P3	P3 - P4	72.99	183°20'15"	805531.4202	8510032.7082
P4	P4 - P5	3.50	176°58'50"	805555.6613	8509963.8657
P5	P5 - P6	57.40	179°30'1"	805556.6481	8509960.5079
P6	P6 - P7	127.14	88°44'12"	805572.3673	8509905.2940
P7	P7 - P1	179.58	93°32'16"	805449.3430	8509873.2120

LEYENDA
 VERTICE O PUNTO

CUADRO DE DETALLES	
COLOR DE LINEA Y SIMBOLO	DETALLES
	CERCO PERIMETRICO O LINDER
	CALLES
	AREAS CONSTRUIDAS
	PUNTOS DEMARCADOS EN TERRE
	POSTES
	BIODIGESTOR

DATOS DE MEDICION
 DATUM : WGS-84
 HEMISFERIO: S / ZONA: 18 L

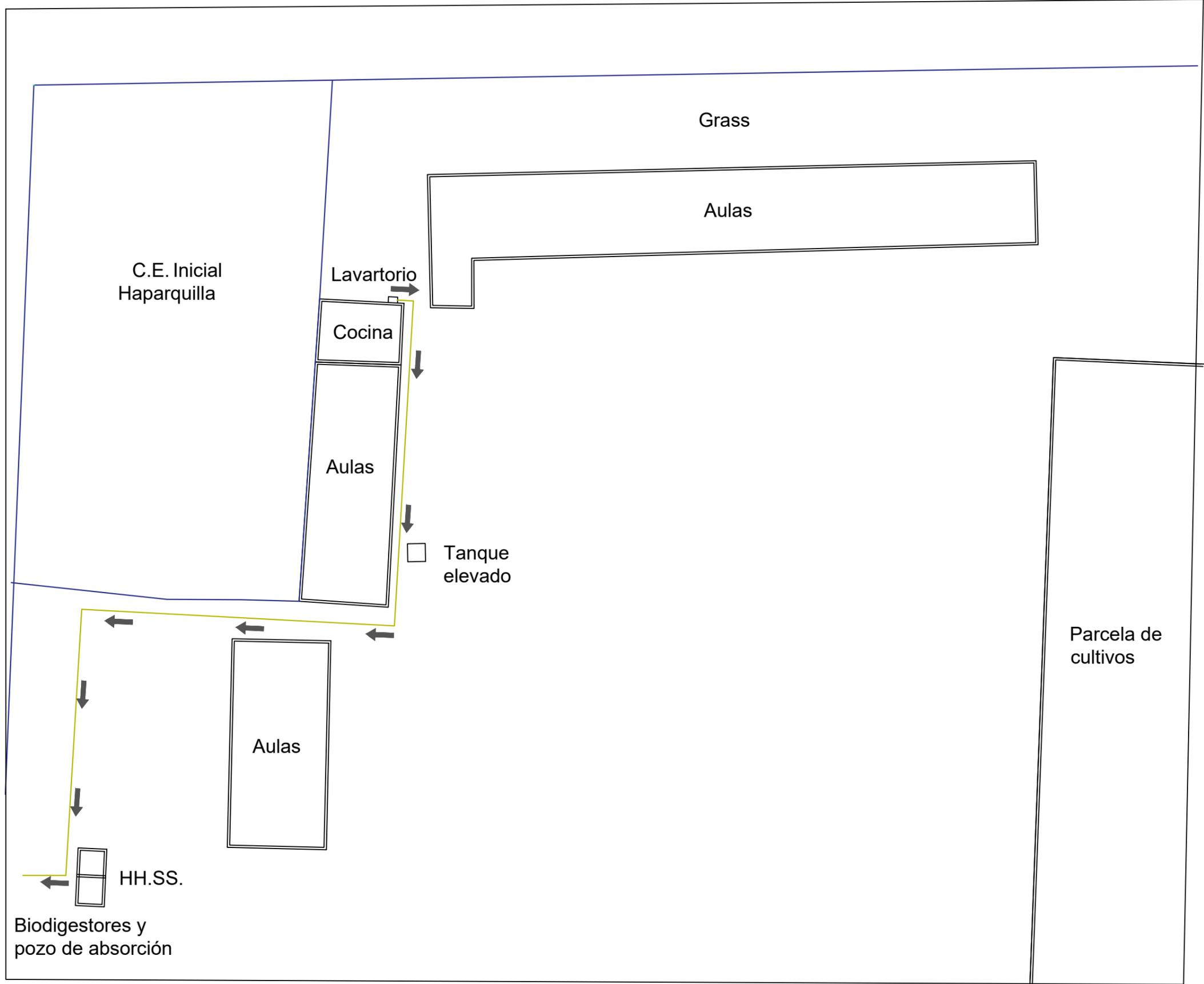
Area: 23126.91 m²
Area: 2.31269 ha
Perimetro: 616.99 ml

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

PROPUESTA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA 50106 HAPARQUILLA

PLANO DE LOCALIZACIÓN, UBICACIÓN Y TOPOGRÁFICO DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA 50106 HAPARQUILLA

INSTALACIONES: Institución Educativa 50106 Haparquilla	COMUNIDAD: Haparquilla	PROVINCIA: Anta	DISTRITO: Anta
DEPARTAMENTO: Cusco	FECHA: Diciembre, 2022	ESCALAS: Indicadas	PLANO: P - 01



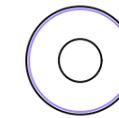
LEYENDA



Dirección de aguas residuales



Tubería de transporte de agua residual



Bidigestor prefabricado



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

DEPARTAMENTO: CUSCO
 PROVINCIA: ANTA
 DISTRITO: ANTA
 COMUNIDAD: HAPARQUILLA

PROPUESTA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA 50106 HAPARQUILLA

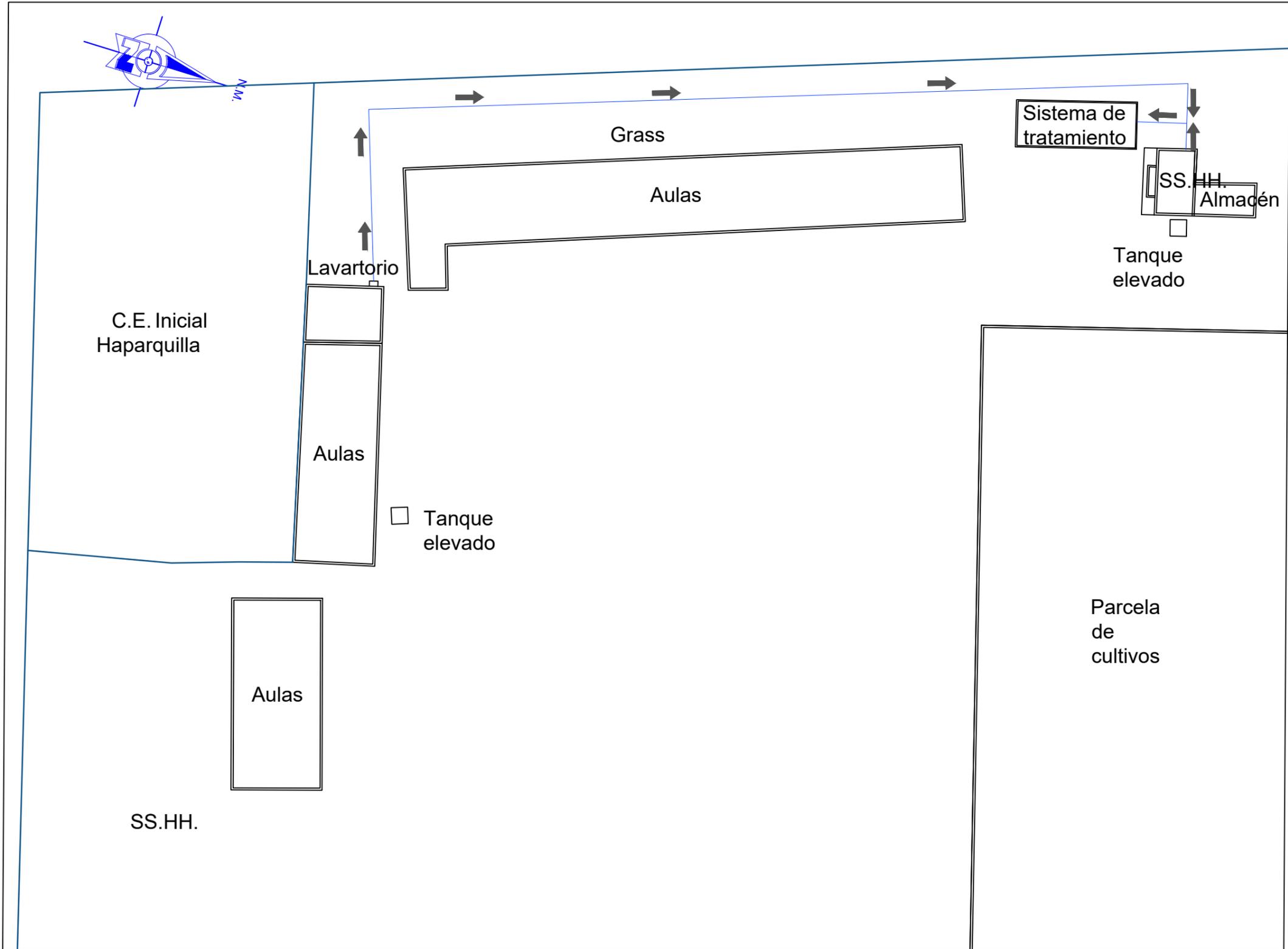
GENERACIÓN, CONDUCCIÓN Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES EXISTENTE

Instalaciones:
 Institución Educativa 50106 Haparquilla

Escala: 1/3500

Plano:
 P - 02

Fecha: 16/07/2022



LEYENDA

Dirección de aguas residuales

Tubería de transporte de agua residual

**UNIVERSIDAD NACIONAL
AGRARIA LA MOLINA**

DEPARTAMENTO: CUSCO
 PROVINCIA: ANTA
 DISTRITO: ANTA
 COMUNIDAD: HAPARQUILLA

PROPUESTA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DEL
 AGUA RESIDUAL DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA 50106
 HAPARQUILLA

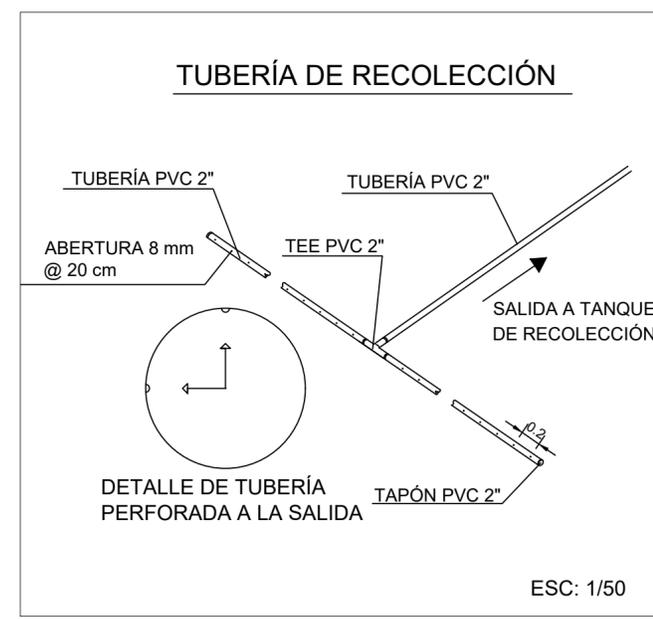
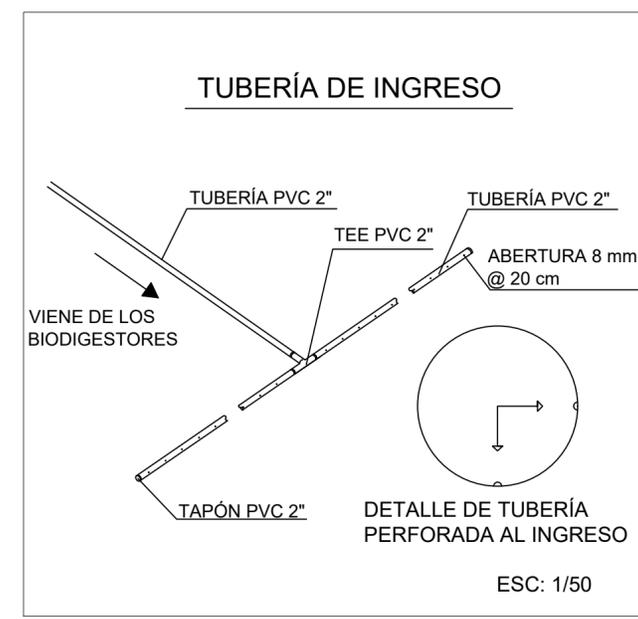
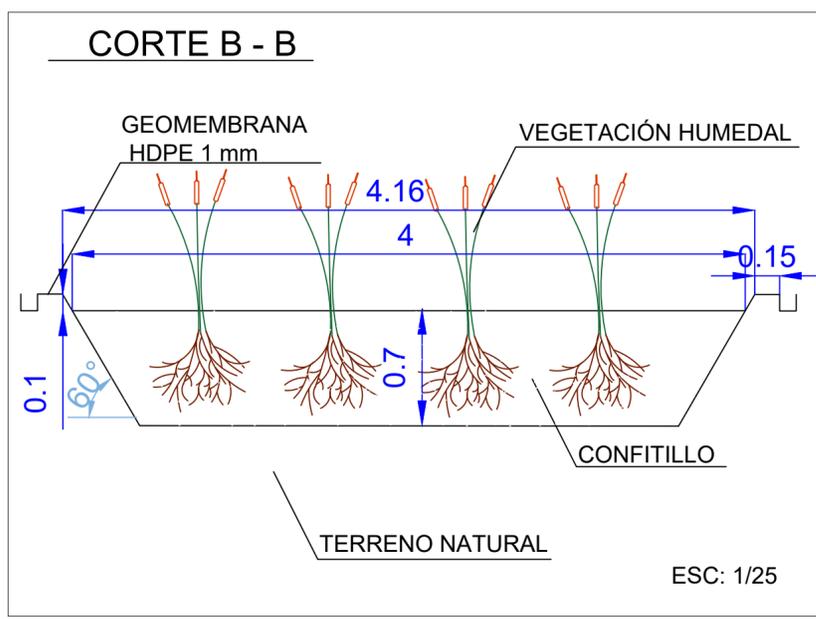
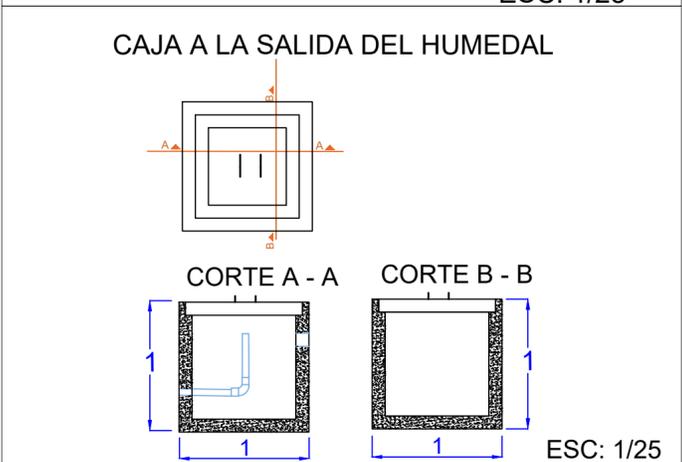
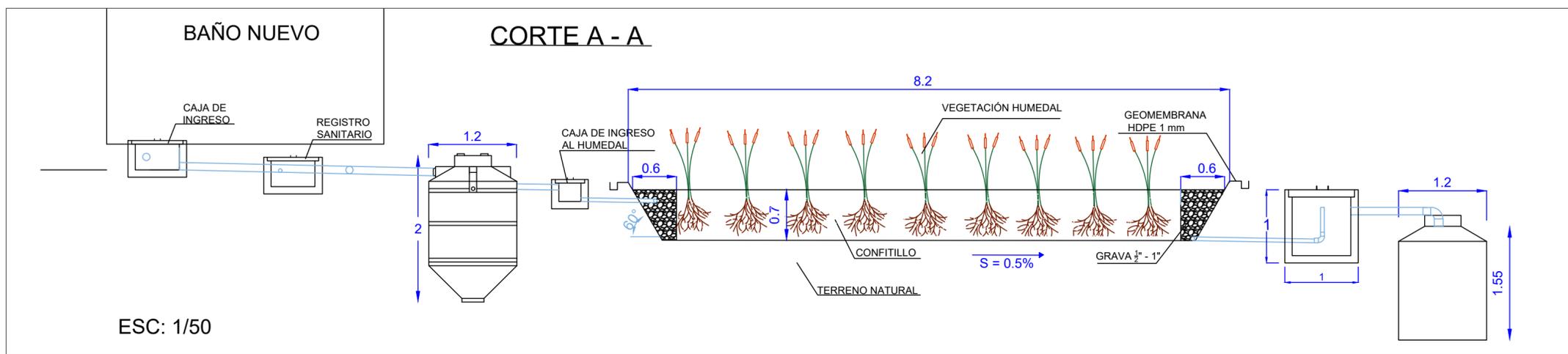
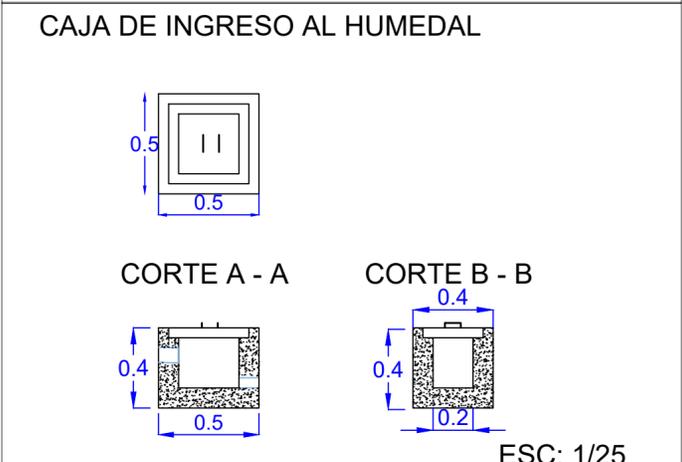
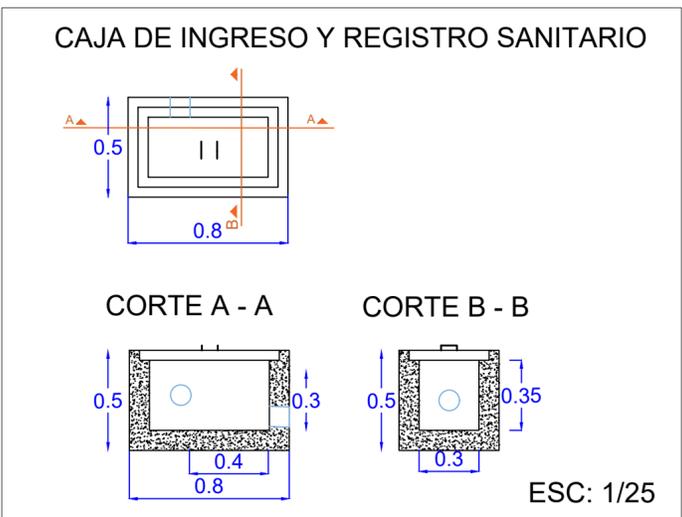
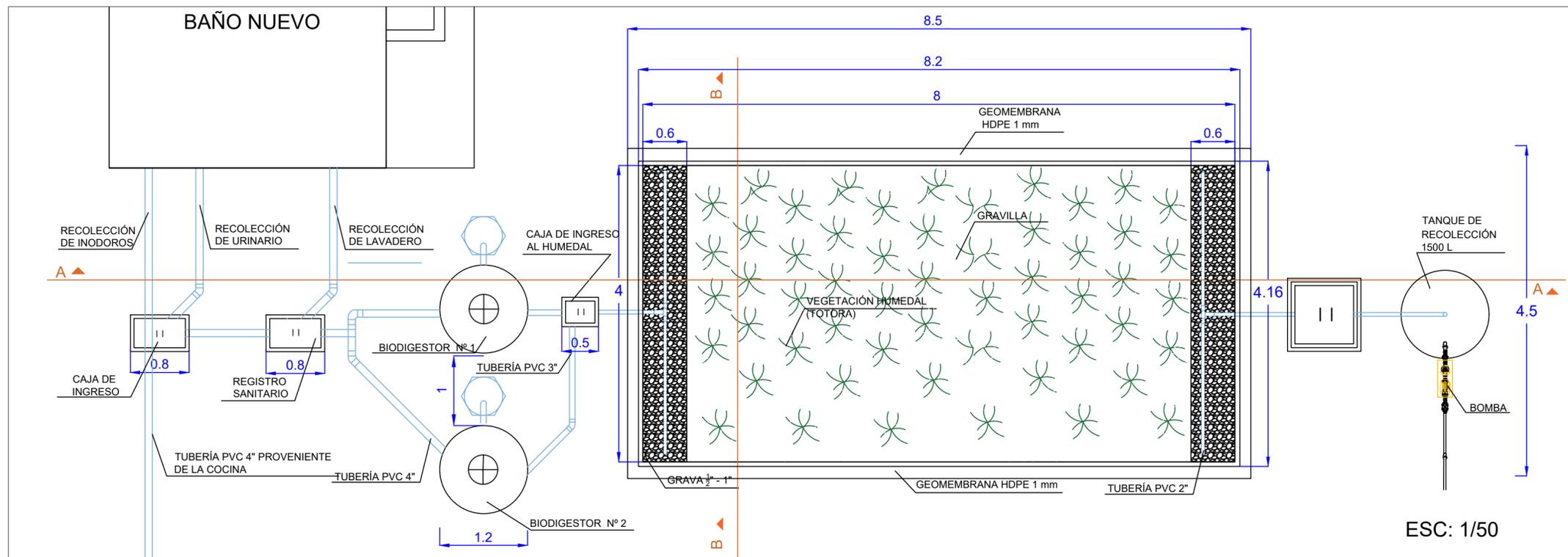
GENERACIÓN, CONDUCCIÓN Y DISPOSICIÓN DE
 AGUAS RESIDUALES DESEADO

Instalaciones:
 Institución Educativa 50106 Haparquilla

Escala:
 1/3500

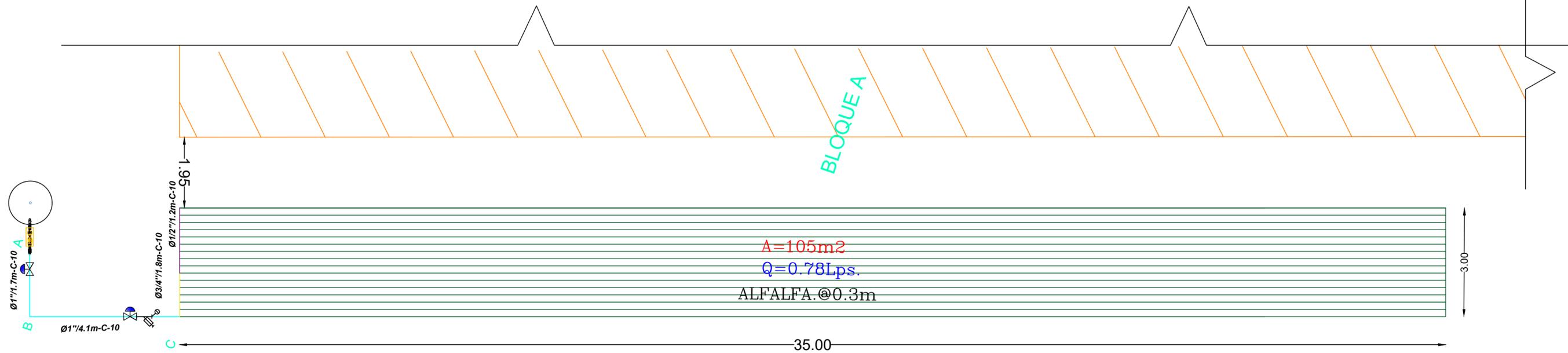
Plano:
 P - 03

Fecha:
 16/07/2022



 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA			
PROPUESTA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA 50106 HAPARQUILLA			
PRETRATAMIENTO, TRATAMIENTO PRIMARIO Y SECUNDARIO DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA 50106 HAPARQUILLA			
INSTALACIONES: Institución Educativa 50106 Haparquilla	COMUNIDAD: Haparquilla	DISTRITO: Anta	PROVINCIA: Anta
DEPARTAMENTO: Cusco	FECHA: 16/07/2022	ESCALA: Indicada	PLANO: P-04

PLANO HIDRÁULICO DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO



A=105m²
 Q=0.78Lps.
 ALFALFA. @0.3m

LEYENDA	
	TUBERIA DE PVC DE 1" C-10
	TUBERIA DE PVC DE 3/4" C-10
	TUBERIA DE PVC DE 1/2" C-10
	MANGUERA DE GOTEO AUTOCOMPENSADA 15.2 mm
	VÁLVULA DE BOLA 1"
	VÁLVULA DE AIRE 1"
	FILTRO 1"
	BOMBA 1HP

ESPECIFICACIONES MANGUERA	
Manguera de goteo autocompensada 15.2 mm	
Clase:	
Caudal gotero: 1.6 l/h	
Distancia entre goteros: 0.3 m	
Distancia entre laterales: 0.2 m	
Espesor: 0.6 mm	

CAUDALES	
Caudal válvulas: 0.78 l/s	

Qgot (l/s)	1.60
Nº Lat. por hilera	1.00
D. Lateral (m)	0.20
D. Gotero (m)	0.30
Capacidad de riego	26.67

Sector	1
Turno	1
Válvula por turno	1
Área del sector (Ha)	0.0105
Área del sector (Ha)	0.0105
Caudal de válvula (l/s)	0.78
Caudal de válvula (m ³ /h)	2.8
Caudal de turno (l/s)	0.78
Caudal de turno (m ³ /hr)	2.8
Tiempo de riego por turno (h)	0.43
Tiempo de riego por turno (min)	26

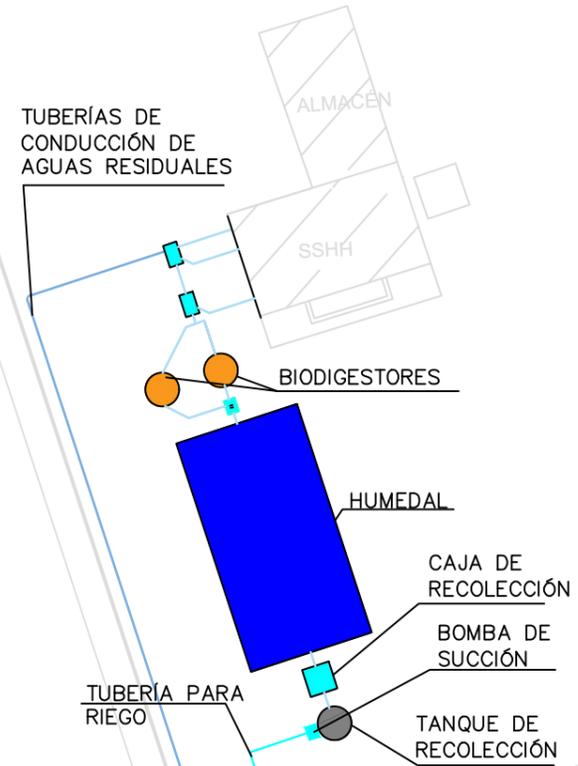
35.00

PARAMETROS DE DISEÑO AGRONÓMICO GOTEO		
Descripción	Unidad	Valores
Area de Proyecto	ha	1.0105
Cultivo		Alfalfa
Tipo de Suelo (Según Analisis de suelos)		Franco Limoso
Infiltración básica permitida (pendiente y textura suelos)	mm/hr	9.78
Densidad aparente	gr/cm ³	1.13
Capacidad de Campo (CC)	%	38.00
Punto de Marchitez (PMP)	%	11.80
Profundidad de raíz	cm	120.00
% Agotamiento	%	38.40%
Dosis Neta de Riego de Almacenamiento Suelo y Cultivo	mm	136.42
Dosis Bruta de Riego de Almacenamiento Suelo y Cultivo	mm	151.58
Eto	mm/día	3.08
Kc		
Etc	mm/día	3.54
Precipitación Efectiva	mm/día	0.14
Lamina Neta de Riego	mm/día	3.40
Frecuencia Máxima entre cada riego	día	40.00
Eficiencia aplicación	%	90 %
Lamina Bruta a Reponer	mm/día	3.78
Q gotero	lph	1.60
Presión Nominal de Operación	bar	1.00
Nº de laterales de riego	Nº	1.00
Distancia entre laterales	m	0.20
Distancia entre goteros	m	0.30
Frecuencia adoptada en el sistema de Riego por goteo	días	3.00
Demanda Neta Total a reponer	días	10.21
Demanda Bruta Total a reponer	mm/día	11.34
Precipitación horaria del sistema (pph)	mm/hr	26.67
	m ³ /ha/hr	266.67
	l/s/ha	74.07
Tiempo máximo de riego	horas/día	1.00
Tiempo de riego por turno	horas/día	0.43
Tiempo de riego por turno	min/día	26.00
Tiempo por cambio de posición	hr	0
Tiempo de riego por turno de operación	hr	0.43
Nº Turnos / día	N	1.00
Tiempo de Riego por día	horas	0.43
Numero días por riego	días	1.00
Nº Turnos totales por riego	Nº	1
Area del Proyecto	ha	1.0105
Area por turno	ha	1.0105
Area máxima por turno	ha	1.0105
Capacidad máxima del sistema por turno	m ³ /hr/turno	2.8
		0.78

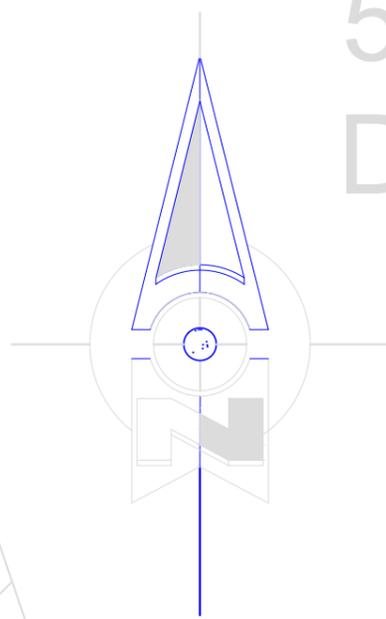
 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA			
PROPUESTA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA 50106 HAPARQUILLA			
DISEÑO DEL SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO			
INSTALACIONES: Institución Educativa 50106 Haparquilla	COMUNIDAD: Haparquilla	DISTRITO: Anta	PROVINCIA: Anta
DEPARTAMENTO: Cusco	FECHA: 16/07/2022	ESCALA: 1/80	PLANO: P - 05

PARCELA DE CULTIVOS

E.P.M. 50106 DE HAPARQUILLA



N.M.



RIEGO POR GOTEO EN ALFALFA

BLOQUE A

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA			
PROPUESTA DE TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA 50106 HAPARQUILLA			
DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE TECNOLOGÍAS DE LOS SISTEMAS PROPUESTOS			
INSTALACIONES: Institución Educativa 50106 Haparquilla	COMUNIDAD: Haparquilla	PROVINCIA: Anta	DISTRITO: Anta
DEPARTAMENTO: Cusco	FECHA: 02/02/2023	ESCALA: 1/250	PLANO: P - 06