

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**“SOSTENIBILIDAD DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO  
VERTICAL, PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS  
CON FINES DE REÚSO”**

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

**LEYDA ALEXANDRA GARCÍA ROSPIGLIOSI**

**LIMA – PERÚ**

**2021**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**

**FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA**

**“SOSTENIBILIDAD DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO  
VERTICAL, PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS  
CONTAMINADAS CON FINES DE REÚSO”**

TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

**INGENIERA AGRÍCOLA**

Presentado por:

**BACH. LEYDA ALEXANDRA GARCIA ROSPIGLIOSI**

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

Mg. Sc. ALFONSO CERNA VÁSQUEZ  
Presidente

Mg. Sc. ROSA MARÍA MIGLIO TOLEDO  
Asesora

Ing. MANUEL HUMBERTO BARRENO  
GALLOSO  
Miembro

Ing. LAWRENCE ENRIQUE QUIPUZCO  
USHÑAHUA  
Miembro

LIMA – PERU

2021

### **Dedicatoria**

A Janeth, Maritza, Cristina y Patricia, mujeres fuertes, formadoras de generaciones en libertad y forjadoras de mi camino.

A Jessica, Raquel y Cesar, mi familia elegida, mi soporte incondicional, mi calma y claridad.

## **Agradecimiento**

Al proyecto LiWa (Lima Water) y a la Universidad de Stuttgart por darme la oportunidad de realizar esta investigación.

A la Universidad Nacional Agraria La Molina, por brindarme la formación académica, los recursos, los valores y el entusiasmo.

A la Ing. Rosa Miglio, por su invaluable guía, compromiso y soporte en el desarrollo de esta tesis.

A la Arq. Rossana Poblet, por el apoyo y la confianza depositada en mí.

A Erwin, por acompañarme y afrontar conmigo los días más difíciles de la investigación.

A Pierina por brindarme el orden y la motivación necesarios para culminar este trabajo.

A Samanta, por las interminables reflexiones y escuchar mis más delirantes ideas.

## ÍNDICE GENERAL

I.	Introducción.....	1
1.1.	Justificación de la Investigación.....	2
1.2.	Alcance del Estudio.....	4
1.3.	Objetivos de la Investigación.....	4
1.3.1.	Objetivo general:.....	4
1.3.2.	Objetivos específicos.....	5
II.	Revisión de Literatura.....	6
2.1.	Aguas Residuales.....	6
2.1.1.	Principales contaminantes.....	6
2.1.2.	Parámetros de caracterización de aguas residuales.....	7
2.2.	Tratamiento de Aguas Contaminadas.....	8
2.2.1.	Etapas de tratamiento.....	9
2.2.2.	Sistemas de tratamiento.....	11
2.3.	Humedales Artificiales.....	13
2.3.1.	Tipos de humedales artificiales.....	14
2.3.2.	Componentes de un humedal artificial de flujo subsuperficial.....	16
2.3.3.	Mecanismos de eliminación de los contaminantes.....	18
2.3.4.	Consideraciones básicas de diseño.....	20
2.3.5.	Eficiencias de remoción de contaminantes.....	24
2.4.	Marco Normativo Relacionado.....	26
III.	Materiales y metodos.....	30
3.1.	Desarrollo de la Investigación.....	30
3.1.1.	Proyecto LiWa.....	30
3.1.2.	Eco Parque Peruano – Alemán.....	31
3.1.3.	Sistema de tratamiento de aguas contaminadas.....	33
3.2.	Hipótesis.....	42
3.3.	Materiales utilizados para la evaluación del sistema.....	42
3.3.1.	Monitoreo del sistema.....	42
3.3.2.	Evaluación socioambiental y económica.....	43
3.4.	Metodología.....	44
3.4.1.	Puesta en marcha del sistema.....	44

3.4.2.	Monitoreo del sistema.....	45
3.4.3.	Evaluación de impactos sociales y ambientales.....	49
3.4.4.	Evaluación económica y financiera .....	53
IV.	Resultados y discusión. ....	56
4.1.	Puesta en marcha del sistema .....	56
4.1.1.	Programación de funcionamiento del sistema. ....	56
4.1.2.	Variación de la densidad de plantas con respecto al tiempo.....	56
4.1.3.	Sensibilización a la población para la aceptación del proyecto.....	58
4.2.	Monitoreo del sistema .....	60
4.2.1.	Evaluación de parámetros operacionales del sistema .....	60
4.2.2.	Evaluación de parámetros de calidad de agua .....	63
4.3.	Evaluación de Impactos Sociales y Ambientales .....	72
4.3.1.	Evaluación de percepción social.....	72
4.3.2.	Evaluación de Impacto y Respuesta Social .....	76
4.3.3.	Evaluación de Impactos Ambientales.....	77
4.4.	Evaluación Económica y Financiera .....	79
4.4.1.	Flujo de caja de la inversión: .....	79
4.4.2.	Valor Actual Neto (VAN).....	80
4.4.3.	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	84
V.	Conclusiones. ....	85
VI.	Recomendaciones. ....	87
VII.	Referencias Bibliográficas.....	88
VIII.	Anexos.....	93

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de los sistemas activos de tratamiento de aguas residuales.....	12
Tabla 2: Clasificación de los sistemas pasivos de tratamiento de aguas residuales .....	12
Tabla 3: Clasificación de los sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales.....	13
Tabla 4: Mecanismos de remoción en los sistemas de tratamiento basados en macrófitas. 18	
Tabla 5: Parámetros de diseño de humedales de flujo subsuperficial horizontal.....	23
Tabla 6: Parámetros de diseño de humedales de flujo subsuperficial vertical .....	23
Tabla 7: Parámetros de diseño de humedales de flujo subsuperficial vertical .....	24
Tabla 8: Porcentaje de remoción de los humedales de flujo horizontal (HFH)y de flujo vertical (HFV) para el tratamiento de aguas grises .....	25
Tabla 9: Normativa relacionada al proyecto.....	26
Tabla 10: Límites máximos permisibles (LMP).....	27
Tabla 11: Directrices recomendadas sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en agricultura .....	29
Tabla 12: Ubicación geográfica del proyecto.....	33
Tabla 13: Distribución de lecho filtrante en humedal .....	35
Tabla 14: Medidas del tanque de sedimentación.....	36
Tabla 15: Tiempos del ciclo de funcionamiento de la automatización del sistema .....	38
Tabla 16: Dimensiones del humedal .....	39
Tabla 17: Detalle de red de tuberías en el humedal.....	40
Tabla 18: Dimensiones de la cisterna de almacenamiento .....	41
Tabla 19: Ubicación de puntos de monitoreo.....	46
Tabla 20: Parámetros por punto de muestreo .....	47
Tabla 21: Frecuencia de monitoreo .....	48
Tabla 22: Características de toma y conservación de muestras.....	49
Tabla 23: Atributos y valores a considerar para la determinación de la importancia del impacto .....	52
Tabla 24: Clasificación de impactos según su valor obtenido.....	53
Tabla 25: Valor de importancia a asignar del factor ambiental.....	53
Tabla 26: Resumen de resultados promedios de parámetros operacionales.....	60
Tabla 27: Resultados máx, mín. y prom. de carga orgánica aplicada al humedal.....	62
Tabla 28: Resultados máximo y mínimo de carga hidráulica aplicada al humedal. ....	62
Tabla 29: Resultados promedio de parámetros de calidad de agua. ....	64
Tabla 30: Matriz de involucrados.....	77
Tabla 31: Matriz de valoración de impactos ambientales .....	78
Tabla 32: Flujo de caja – Costos sustitutos del escenario 1: Pago a red publica.....	81
Tabla 33: Flujo de caja – Costos sustitutos del escenario 2: Pago a proveedores .....	82
Tabla 34: Valor actual neto – Costos sustitutos del escenario 1: Pago a red publica.....	83
Tabla 35: Valor actual neto – Costos sustitutos del escenario 2: Pago a proveedores .....	83
Tabla 36: TIR – Costos sustitutos del escenario 1: Pago a red publica.....	84
Tabla 37: TIR – Costos sustitutos del escenario 2: Pago a proveedores .....	84
Tabla 38: Resultados de potencial de hidrogeno (pH) .....	112
Tabla 39: Resultados de conductividad eléctrica (C.E.).....	112

Tabla 40: Resultados de turbiedad.....	112
Tabla 41: Resultados de sólidos suspendidos.....	113
Tabla 42: Resultados de sólidos sedimentables.....	113
Tabla 43: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).....	113
Tabla 44: Coliformes fecales.....	114
Tabla 45: Resultados de contenido de parásitos.....	115
Tabla 46: Impactos que afectaran los factores identificados.....	126
Tabla 47: Asignación de Valores de Corrección de los Factores.....	128
Tabla 48: Clasificación de impactos según su valor obtenido.....	128
Tabla 49: Costo de inversión inicial del proyecto.....	138
Tabla 50: Costo de operación del sistema.....	139
Tabla 51: Costo de mantenimiento del sistema.....	139
Tabla 52: Costo de servicios eléctricos para funcionamiento del sistema.....	140
Tabla 53: Costo de dotación de agua para tratamiento.....	140
Tabla 54: Costo de facturación de red pública.....	140
Tabla 55: Costo de abastecimiento por cisternas.....	141
Tabla 56: Beneficios monetarios por costos sustitutos del humedal artificial.....	141
Tabla 57: Flujo de caja – Costos sustitutos del escenario 1: Pago a red publica.....	142
Tabla 58: Flujo de caja – Costos sustitutos del escenario 2: Pago a proveedores.....	143
Tabla 59: Tasas de interés del BVR - Tasa de referencia de la política monetaria.....	144
Tabla 60: Valor actual neto – Costos sustitutos del escenario 1: Pago a red publica.....	145
Tabla 61: Valor actual neto – Costos sustitutos del escenario 2: Pago a proveedores.....	145
Tabla 62: TIR – Costos sustitutos del escenario 1: Pago a red publica.....	146
Tabla 63: TIR – Costos sustitutos del escenario 2: Pago a proveedores.....	146

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Etapas de la línea de agua, ordenadas secuencialmente de izquierda a derecha, en el tratamiento de las aguas residuales (Alianza por el Agua, 2008).....	11
Figura 2: Tipos de humedales (García & Corzo, 2008) .....	15
Figura 3: Componentes de un humedal artificial (adaptado de García & Corzo, 2008) .....	17
Figura 4: Evolución de la concentración de materia en suspensión a lo largo de un humedal artificial (Píriz A., 2000) .....	19
Figura 5: Exigencia de LMP de vertimientos y LMP para reúso (SUNASS. 2015) .....	27
Figura 6: Vista de área sin proyecto (Fotografía: Eva Nemcova) .....	32
Figura 7: Vista panorámica del proyecto, (Fotografía: Evelyn Merino Reyna, 2014).....	32
Figura 8: Vista satelital de la ubicación del proyecto (Fuente: Google Earth) .....	33
Figura 9: Principio del tratamiento de aguas de canal en el humedal tipo WTL-Rotaría (Memoria Descriptiva - Tratamiento de Aguas de Canal en Humedal Artificial WTL-ROTARIA para el uso en Riego del Parque en la Florida – Chuquitanta).....	34
Figura 10: Vista de corte del pretratamiento y tratamiento primario .....	37
Figura 11: Vista de corte del humedal artificial. ....	38
Figura 12: Vista frontal del tablero de automatización. ....	42
Figura 13: Esquema de ubicación de puntos de muestreo.....	47
Figura 14: Comportamiento de la vegetación respecto al tiempo .....	57
Figura 15: Recubrimiento vegetal (4ta semana), se observa el crecimiento del Vetiver y el Paraguitas no desarrollado.....	57
Figura 16: Recubrimiento vegetal (Semana 18), se observa el Vetiver en primera línea y Paraguitas desarrollados en segunda línea.....	58
Figura 17: Imágenes posteriores a la primera poda (Semana 20), se observa la predominancia de Vetiver.....	58
Figura 18: Talleres participativos con la comunidad (LiWa, 2014).....	59
Figura 19: Imágenes de capacitaciones realizadas a los directivos y personal responsable de la operación (LiWa, 2014).....	60
Figura 20: Resultados de potencial de hidrogeno (pH) .....	65
Figura 21: Resultados de conductividad eléctrica (C.E.) .....	66
Figura 22: Resultados de turbiedad .....	67
Figura 23: Sólidos suspendidos .....	68
Figura 24: Sólidos sedimentables .....	69
Figura 25: Demanda biológica de oxígeno (DBO5).....	70
Figura 27: Coliformes fecales .....	71
Figura 28: Resultados de contenido de parásitos .....	72
Figura 28: Resultados sobre datos generales de los encuestados .....	73
Figura 29: Resultados sobre contaminación percibida .....	74
Figura 30: Resultados de percepción sobre el parque recreacional.....	75
Figura 30: Resultados de percepción sobre el humedal .....	76
Figura 32: Petrifilm™ E. coli Count Plate Results from Most Probable Number (MPN) Results Conversion Table (3M Microbiology, 2004).....	114
Figura 33: Acciones del proyecto susceptibles a generar impactos .....	127

## **ANEXOS**

1. Panel Fotográfico .....	94
2. Planos Definitivos .....	105
3. Resultados de Laboratorio.....	111
4. Evaluación Social.....	116
5. Desarrollo de Matriz de Evaluación Ambiental.....	125
6. Desarrollo Del Análisis Económico Y Financiero.....	136

## **RESUMEN**

La crisis hídrica que se presenta en el mundo ha impulsado la búsqueda constante de herramientas tecnológicas y procesos para el mejoramiento continuo en la gestión de los recursos hídricos. En este contexto, los humedales artificiales brindan una solución en el tratamiento de agua contaminada, imitando el proceso de depuración que se da en los bofedales o humedales naturales, generando una solución amigable con el medio ambiente y eficiente en la reducción de contaminantes. Por lo expuesto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la sostenibilidad de un humedal artificial ubicado en un parque público, midiendo su eficiencia en el tratamiento de agua contaminada con fines de reúso en riego, comparando la calidad de agua del afluente y del efluente; así mismo, se midió su impacto ambiental y social mediante el uso de la matriz de Leopold y encuestas y entrevistas de percepción social respectivamente, finalmente se evaluó su sostenibilidad económica utilizando indicadores de rentabilidad financiera. Los resultados de esta evaluación mostraron que los humedales artificiales son técnica, social, ambiental y económicamente viables y sostenibles para su utilización en el tratamiento de aguas contaminadas con fines de reutilización en el riego de áreas verdes, en centros poblados que no cuentan con instalaciones de abastecimiento de agua potable.

## **PALABRAS CLAVE**

Humedal artificial, Tratamiento de agua, Evaluación, Eficiencia, Socioambiental, Rentabilidad.

## **SUMMARY**

The water crisis in the world has prompted the constant search for technological tools and processes for continuous improvement in the management of water resources. In this context, artificial wetlands provide a solution for the treatment of contaminated water, imitating the purification process that occurs in natural wetlands, generating an environmentally friendly and efficient solution in the reduction of pollutants. Therefore, the objective of this research was to evaluate the sustainability of an artificial wetland located in a public park, measuring its efficiency in the treatment of contaminated water for reuse in irrigation, comparing the water quality of the influent and effluent; likewise, its environmental and social impact was measured using the Leopold Matrix and social perception interviews, respectively, and finally its economic sustainability was evaluated by using financial profitability indicators. The results of this evaluation showed that artificial wetlands are technically, socially, environmentally, and economically viable and sustainable for their use in the treatment of contaminated water for reuse in the irrigation of green areas, in populated areas that do not have drinking water supply facilities.

## **KEY WORDS**

Artificial wetland, Water treatment, Evaluation, Water quality, Socio-environmental, Profitability.

## **I. INTRODUCCIÓN.**

A nivel mundial se ha estimulado el desarrollo de proyectos e investigaciones para diseñar tecnologías alternativas para el tratamiento de aguas residuales con menores costos de construcción, energía y explotación. Una de las innovaciones desarrolladas en los últimos años han sido los humedales artificiales, los cuales imitan las características y la capacidad de reciclaje de los pantanos naturales, convirtiéndose así en un medio eficiente para la absorción y filtración de contaminantes presentes en las aguas residuales.

La frecuencia en el uso de humedales artificiales para el tratamiento de aguas contaminadas ha despertado el interés de distintas instituciones tanto públicas como privadas, originando que en el Perú cada vez se hayan desarrollado un mayor número de investigaciones sobre la eficiencia de este tipo de sistema alternativo para el tratamiento de agua contaminada. En consecuencia, se han construido prototipos y unidades experimentales que funcionan bajo diferentes condiciones técnicas propias del humedal artificial (dimensiones, estratos filtrantes, vegetación, etc.). Sin embargo, factores externos como las condiciones climáticas, el entorno social y ambiental son fundamentales para garantizar la sostenibilidad de la planta de tratamiento. En este contexto se enmarca la necesidad de evaluar la sostenibilidad de humedales artificiales bajo condiciones técnicas, ambientales y sociales propias de nuestro país y su interacción con las comunidades.

Entre los años 2008-2013, se desarrolló en Lima la fase principal del proyecto LiWa (Gestión Sostenible del Agua y las Aguas Residuales en Centros de Crecimiento Urbano Afrontando el Cambio Climático), el cual tuvo como uno de sus objetivos elaborar y proponer estrategias eficaces para la planificación y gestión del agua. En el marco de este proyecto y contando con la colaboración de la Universidad de Stuttgart, se concibió la instalación de un humedal artificial para el tratamiento de aguas contaminadas con fines de reutilización en riego de áreas verdes en el Asentamiento Humano La Florida II, Chuquitanta, San Martín de Porres, Lima.

Este asentamiento está clasificado como zona urbana por el INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática), es una zona rodeada de áreas agrícolas por estar ubicado en el valle del río Chillón. Tiene una población aproximada de 480 habitantes, con un promedio de 5 habitantes por hogar; se caracteriza por ser un área en crecimiento, cuentan con servicio de electricidad y en el año 2018 se iniciaron las obras para las instalaciones de agua y alcantarillado. Hasta entonces el agua era abastecida a través de camiones cisterna y las aguas residuales domésticas eran vertidas al entorno a través de sistemas de percolación o directamente a fuentes de agua (canales). La zona carecía de áreas verdes, por estos motivos, se consideró el área idónea para la instalación de un parque.

El proyecto LiWa decidió entonces la construcción de un área recreacional denominada Eco Parque Peruano Alemán “Parque de los niños” en la comunidad de La Florida II; debido a que la única fuente de agua disponible era un canal de regadío que transportaba aguas contaminadas, se instaló un sistema de tratamiento conformado por una rejilla como pretratamiento, un tanque de sedimentación para el tratamiento primario, un humedal artificial de flujo vertical sub superficial para el tratamiento secundario y un reservorio para almacenar el efluente tratado previo a su utilización en el riego del área recreacional.

El diseño fue ejecutado por la empresa AKUT Perú SAC para tratar las aguas contaminadas provenientes del canal de regadío “San José” el cual transporta las aguas derivadas del río Chillón, para finalmente utilizar su efluente en el riego de 598.16 m<sup>2</sup> de áreas verdes. El proyecto fue construido y puesto en marcha en agosto del 2014.

El presente documento describe la investigación desarrollada sobre este humedal artificial y tiene como objetivo principal evaluar su sostenibilidad frente a factores sociales, técnicos y económicos.

## **1.1. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La Autoridad Nacional del Agua (ANA) estima que aproximadamente el 80% del recurso de agua dulce del país, es utilizado para el regadío de cultivos y áreas verdes, en gran medida sin un tratamiento previo debido al alto costo que este proceso conlleva. No obstante, “cuando el agua residual se acumula, la descomposición de la materia orgánica crea un desequilibrio ecológico que perturba a la comunidad, además de la presencia de numerosos

microorganismos causantes de varias enfermedades que afectan la vida” (Silva & Zamora, 2005).

La presente investigación se realizó en el asentamiento humano la Florida II en el distrito de San Martín de Porres. El principal problema de esta comunidad es la escasez de agua potable, motivo por el cual, las áreas verdes de la comunidad, tanto las zonas de cultivo como recreativas, son regadas con las aguas procedentes del canal de irrigación “San José” el cual conduce aguas contaminadas derivadas del río Chillón.

El problema se solucionó en gran medida con la participación del Proyecto LiWa, a través del cual se construyó en la zona, específicamente en el área recreativa denominada “Parque de los Niños”, un sistema de tratamiento del agua contaminada de fácil operatividad y mantenimiento, de tal manera que pueda ser operado por los pobladores de la comunidad. Dicho sistema está conformado por una rejilla, un tanque de sedimentación y un humedal artificial de flujo vertical, los cuales mejoran la calidad del agua del canal para la irrigación de una determinada área verde.

La iniciativa del humedal nació bajo la necesidad de irrigar esta área verde con un agua de calidad adecuada, dado que la posibilidad de comprar agua tratada suponía un costo adicional difícil de asumir por la comunidad y para las autoridades.

La investigación permitió realizar el monitoreo del sistema de tratamiento durante su operación, donde se caracterizó el agua residual a la entrada y salida del tratamiento, se evaluaron los parámetros operativos y finalmente se hizo el seguimiento de la operación y manejo del sistema por parte de los grupos de interés involucrados en el proyecto. Esto permitió evaluar la sostenibilidad e impacto Socio – Ambiental de este sistema de tratamiento frente a la comunidad y su entorno como una solución a la problemática de escasez y calidad de agua para el riego de áreas verdes.

Estas características hicieron de este proyecto un prototipo de parque ecológico que podría funcionar para centros poblados pequeños con escasez de recursos hídricos; y solucionar los problemas de calidad de agua en el riego de áreas verdes de forma natural y a una adecuada relación de beneficio/costo.

## **1.2. ALCANCE DEL ESTUDIO**

Esta investigación evaluó la sostenibilidad de un humedal artificial de flujo vertical, como sistema pasivo de tratamiento de aguas contaminadas, cuyo efluente se utiliza en el riego de áreas verdes recreativas.

El humedal en mención está ubicado en una zona urbana, por lo que tanto el sistema como su efluente están en contacto directo con la población. En este sentido, la sostenibilidad del sistema se evaluó identificando los parámetros técnicos y operacionales, caracterizando la calidad del efluente, monitoreando la relación del sistema con el entorno en el aspecto ambiental y social y finalmente evaluando económica y financieramente la inversión.

La investigación se dividió en dos partes: la primera de carácter descriptivo en la cual se identificó y caracterizó el funcionamiento del sistema de tratamiento, para finalmente realizar el diagnóstico de su eficiencia en el tratamiento de agua contaminada bajo los lineamientos y normativas ambientales vigentes en el Perú; la segunda parte de la investigación fue de carácter exploratorio, en la cual se realizó el seguimiento y sondeo para determinar la factibilidad social, ambiental y económica del sistema como una nueva alternativa de tratamiento a implementarse en comunidades del país afectadas por la escasez de agua.

Mediante el cumplimiento de los alcances planteados se pudo comprobar la hipótesis de la investigación la cual indica que el humedal artificial de flujo subsuperficial y vertical es sostenible técnica, social, ambiental y económicamente, y su implementación brinda soluciones concretas a los problemas de escasez y calidad de agua para el riego de áreas verdes.

## **1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1. Objetivo general:**

El objetivo principal fue evaluar la sostenibilidad de un sistema de tratamiento de aguas contaminadas, mediante el uso de un humedal artificial de flujo vertical, con fines de reúso en el riego de las áreas verdes del “Parque de los Niños” en el asentamiento La Florida II, San Martín de Porres, Lima.

### **1.3.2. Objetivos específicos.**

- Evaluar los principales parámetros de operación del humedal artificial: carga hidráulica y orgánica, tiempo de retención, caudal de operación, entre otros.
- Monitorear y evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento mediante la comparación de las calidades del afluente y efluente, bajo parámetros físicos – químicos y biológicos, y verificar el cumplimiento de los estándares y exigencias mínimas en base a la normatividad vigente.
- Medir el grado de aceptación del sistema de tratamiento por la población usuaria del parque y entidades u organizaciones involucrados.
- Evaluar el impacto social y ambiental del proyecto mediante la identificación de factores del entorno susceptibles a ser contaminados o perturbados.
- Evaluar la sostenibilidad económica y financiera mediante los indicadores de rentabilidad.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. AGUAS RESIDUALES

Metcalf & Eddy (1996), definen que el agua residual es el agua de la cual se desprende la comunidad, una vez ha sido contaminada durante los diferentes usos para los cuales ha sido empleada. Desde el punto de vista de las fuentes de generación, se puede definir el agua residual como la combinación de los residuos líquidos, o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de residencias como de instituciones públicas y establecimientos industriales y comerciales, a los que pueden agregarse, eventualmente, aguas subterráneas, superficiales y pluviales

Debido a la falta de medios de tratamiento adecuados para el cumplimiento de las normativas de vertimientos, las aguas residuales son uno de los principales contaminantes de las fuentes de agua del país.

#### 2.1.1. Principales contaminantes

Como lo establece Betancort et ál. (2006), los principales contaminantes a controlar o eliminar de las aguas contaminadas son los siguientes:

- **Objetos gruesos:** Objetos grandes, de tamaños mayores a 5 cm. tales como trozos de madera, productos textiles, plásticos, etc.
- **Partículas de suelo:** compuestas por gravas, arenas, arcillas y otros de origen mineral u orgánico.
- **Grasas y aceites:** Sustancias que provienen de actividades domésticas e industriales y que forman una capa superficial de contaminante que no se mezcla con el agua.

- **Residuos con requerimientos de oxígeno:** Compuestos que se degradan o descomponen fácilmente en presencia de oxígeno, tales como residuos orgánicos provenientes de camales, entre otros.
- **Nutrientes:** Son compuestos que favorecen el crecimiento de microorganismos en el agua y cuyo exceso puede ser altamente dañino para el agua superficial y subterránea si es vertida y acumulada sobre el suelo. Se trata por ejemplo de nitrógeno, fosforo o carbono los cuales provienen de excretas humanas, fertilizantes o detergentes.
- **Patógenos:** Se trata de organismos como hongos, virus, bacterias, entre otros; los cuales son capaces de generar o transmitir enfermedades.
- **Contaminantes emergentes:** Se trata de contaminantes relativamente nuevos provenientes de productos de cuidado personal, limpieza, medicamentos como antibióticos, entre otros. Estos contaminantes son difíciles de eliminar en plantas de tratamiento convencionales.

### 2.1.2. Parámetros de caracterización de aguas residuales

Betancort et ál. (2006), indican los principales parámetros con los cuales es posible caracterizar las aguas residuales:

- **Sólidos en suspensión:** Son partículas contaminantes que permanecen en suspensión en el agua, tienen un tamaño mayor a 0.45 micras y están compuestos por sólidos sedimentables (los cuales tienen densidades mayores que el agua), y no sedimentables, (los cuales tienen densidades menores que el agua).
- **Aceites y grasas:** Este parámetro es cuantificable a través de la extracción de los aceites y grasas mediante la utilización de un disolvente. El proceso implica la posterior evaporación del disolvente y el pesaje del contaminante extraído.
- **Demanda biológica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>):** Es la cantidad en miligramos (mg O<sub>2</sub>) de oxígeno disuelta por litro de agua (L), medida en un proceso de 5 días de oxidación biológica de materia orgánica.

- **Demanda química de oxígeno (DQO):** Es la cantidad en miligramos (mg O<sub>2</sub>) de oxígeno disuelta por litro de agua (L) necesaria para oxidar la materia orgánica del agua mediante reacciones químicas.
- **Nitrógeno:** Este contaminante se presenta en las aguas residuales principalmente en forma de nitrógeno orgánico, amoníaco, nitratos y nitritos. Su cuantificación se realiza mediante métodos espectrofotométricos, los cuales se basan en la interacción entre las partículas contaminantes y radiación electromagnética.
- **Fósforo:** Este contaminante se presenta en las aguas residuales principalmente como fosfatos orgánicos y polifosfatos. De igual manera su cuantificación se desarrolla mediante métodos espectrofotométricos.
- **Organismos patógenos:** Estos organismos se caracterizan y cuantifican mediante parámetros como coliformes totales, coliformes fecales, entre otros.

## 2.2. TRATAMIENTO DE AGUAS CONTAMINADAS

Carrión (2008), señala que el tratamiento de aguas residuales consiste en un conjunto de procesos físicos químicos y biológicos, cuyo objetivo es producir agua limpia o reutilizable, mediante la eliminación y/o reducción de contaminantes físicos, químicos y biológicos introducidos por el uso humano cotidiano del agua.

La norma peruana OS.090 establece que el objetivo del tratamiento de las aguas residuales es mejorar su calidad para cumplir con las normas de calidad del cuerpo receptor o las normas de reutilización.

El tratamiento de aguas contaminadas requiere de un cuidadoso estudio basado en el caudal a tratar, el área disponible para la instalación de la planta de tratamiento, la viabilidad económica, el uso del agua tratada o características para su vertimiento, entre otros. Con relación a esto, la solución más adecuada de tratamiento es la más eficiente, menos costosa y con más facilidades de instalación (Rossi, 2010).

### **2.2.1. Etapas de tratamiento**

El Ministerio del Ambiente (2009), en su Manual para Municipios Ecoeficientes, señala que el tratamiento de aguas residuales puede dividirse en las siguientes etapas: Pretratamiento o tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario. Así mismo, describe cada etapa de la siguiente manera:

#### **a. Pretratamiento**

Tiene como objetivo la retención de sólidos gruesos flotantes como papeles, plásticos, plantas, ramas, etc. con el fin de facilitar el tratamiento posterior. En algunas ocasiones esta etapa es obviada por los diseñadores, sin embargo, con un correcto análisis del afluente se puede determinar la necesidad de su instalación ya que son necesarias para evitar problemas ocasionados por el paso de objetos gruesos que puedan obstruir las tuberías o componentes que continúan con el proceso.

Durante esta etapa se suelen utilizar cribas o rejillas con una determinada separación o abertura para realizar el proceso de separación de objetos o contaminantes gruesos, también conocido como un proceso de desbaste.

#### **b. Tratamiento primario**

Se denomina tratamiento primario al proceso que permite remover material en suspensión. Este proceso permite quitar entre el 60 al 70% de sólidos suspendidos totales y hasta un 30% de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) orgánica sedimentable presente en el agua contaminada.

Durante esta etapa se pueden utilizar procesos de precipitación física o química como tanques sépticos, Imhoff, tanques de sedimentación primaria, tanques de flotación, lagunas primarias en sistemas de lagunas de estabilización, entre otros. Cabe resaltar que algunos sistemas mencionados, pueden ser utilizados también en tratamientos secundarios, sin embargo, su utilización durante el tratamiento primario ha tenido usos eficientes exitosos.

#### **c. Tratamiento secundario**

El tratamiento secundario se caracteriza por la inclusión de procesos biológicos o bioquímicos generados por microorganismos, es decir, que mediante este proceso se realiza una oxidación de la materia orgánica biodegradable con lo cual se logran eficientes

resultados en la remoción de contaminantes orgánicos, reduciendo entre el 50% y el 95% de la DBO.

Cabe señalar que, según la Fundación Universitaria Iberoamericana (FUNIBER, 2014), el proceso biológico realizado durante la etapa de tratamiento secundario puede clasificarse como:

- Tratamiento biológico de tipo natural: son aquellos tratamientos que no requieren o que su requerimiento de instalaciones mecánicas o químicas son mínimas
- Tratamiento biológico de instalación: son aquellos procesos que requieren de mecanismos e instalaciones adecuadas para su funcionamiento
- Tratamiento de separación de sólidos suspendidos de naturaleza biológica: son los procesos que se llevan a cabo para el tratamiento de los residuos obtenidos en la depuración de aguas contaminadas.

Así mismo, otra posibilidad de subdivisión del tratamiento biológico es por la presencia de oxígeno durante el proceso de oxidación o descomposición de la materia orgánica, dividiéndose así en Sistemas Aerobios (oxidación con presencia de oxígeno) o Sistemas Anaerobios (descomposición en ausencia de oxígeno) (FUNIBER, 2014).

Durante este proceso se suelen utilizar biofiltros o filtración biológica, percolación, lodos activados, entre los que se encuentran los convencionales y los de aireación extendida y lagunas de estabilización de los tipos facultativas y aireadas, entre otros.

#### **d. Tratamiento terciario**

El tratamiento terciario depende del objetivo del efluente tratado, ya sea para su reutilización en diferentes ámbitos o para su disposición o vertimiento final. Esta etapa tiene como objetivo la remoción de nutrientes y contaminantes más específicos como nitrógeno, fósforo, detergentes, microorganismos patógenos, entre otros que ocasionan espuma y eutrofización.

Es muy común que en esta etapa de tratamiento se usen procesos como: precipitación química de nutrientes, procesos de filtración, destilación, flotación, ósmosis inversa, cloración, entre otros.

### 2.2.2. Sistemas de tratamiento

Los sistemas de tratamiento de aguas contaminadas están conformados por procesos que se ordenan de forma secuencial y no necesariamente va a incluir las cuatro etapas antes mencionadas (ítem 2.1). Estos procesos y etapas empleadas dependerán de los requerimientos de eliminación de contaminantes con objetivo eliminar la mayor cantidad posible.

El Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas (Alianza por el Agua, 2008) presenta un esquema que resume los distintos tratamientos, el objeto de estos y la naturaleza de los procesos que en ellos tienen lugar (ver Figura 1).



**Figura 1: Etapas de la línea de agua, ordenadas secuencialmente de izquierda a derecha, en el tratamiento de las aguas residuales (Alianza por el Agua, 2008).**

#### a. Sistemas de tratamiento activo

Los sistemas de tratamiento activo son procesos en los cuales se utiliza energía y productos químicos, estos son generalmente de alto costo y requieren de supervisión y mantenimiento permanentes.

Según la información proporcionada por Fundación Universitaria Iberoamericana (2014), Chávez I. (2017) y López E. et ál. (2002), estos sistemas de tratamiento son los más comunes y se pueden resumir y clasificar como se observa en la Tabla 1:

**Tabla 1: Clasificación de los sistemas activos de tratamiento de aguas residuales**

Pretratamiento	Tratamiento Primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarenadores de flujo inducido.</li> <li>• Tamices rotativos</li> <li>• Dilaceración.</li> <li>• Desengrasado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coagulación o Floculación química</li> <li>• Decantación mecánica</li> <li>• Flotación por disolución o inyección de aire</li> <li>• Corrección de pH por inducción de ácido sulfúrico o lechada de cal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lagunas aireadas o de aireación</li> <li>• Lodos activados</li> <li>• Reactores mecanizados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Absorción por filtros de carbón activo.</li> <li>• Desnitrificación</li> <li>• Osmosis.</li> <li>• Intercambio iónico</li> <li>• Tamizado o Nanofiltración</li> <li>• Membranas cerámicas</li> <li>• Desinfección física (Luz UV)</li> <li>• Desinfección química (Cloro)</li> </ul>

Fuente: Adaptado de Fundación Universitaria Iberoamericana (2014), Chávez I. (2017) y López E. et ál. (2002)

### **b. Sistemas de tratamiento pasivo**

Los sistemas de tratamiento pasivo son una alternativa de tratamiento, que logra la eliminación de las sustancias contaminantes de las aguas residuales a través de mecanismos y procesos naturales, los cuales no requieren de aditivos químicos o procesos mecanizados. En estos sistemas un buen número de procesos de descontaminación son ejecutados por sinergia de diferentes comunidades de organismos (García & Corzo, 2008).

Según la información proporcionada por Fundación Universitaria Iberoamericana (2014), Chávez I. (2017) y López E. et ál. (2002), estos sistemas se pueden resumir y clasificar como se observa en la Tabla 2

**Tabla 2: Clasificación de los sistemas pasivos de tratamiento de aguas residuales**

Pretratamiento	Tratamiento Primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rejas</li> <li>• Desarenadores simples.</li> <li>• Desengrasado por separación natural.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sedimentación.</li> <li>• Flotación por diferencia de densidades.</li> <li>• Zanjas o canales de caliza para corrección de pH ácido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lagunas de estabilización.</li> <li>• Percolación y bio filtración</li> <li>• Humedales artificiales</li> </ul>	No existen actualmente

Fuente: Adaptado de Fundación Universitaria Iberoamericana (2014), Chávez I (2017) y López E. et ál. (2002)

Dentro de los sistemas de tratamiento pasivos se encuentran los sistemas naturales, los cuales son también conocidos como tecnologías no convencionales o sistemas verdes y cuyo uso ha aumentado gracias a su bajo costo de inversión, a que requieren de poco personal para su mantenimiento y operación, no presentan consumo energético o se reduce al necesario para bombeos, y finalmente, no generan grandes cantidades de lodos de forma continua. Estos pueden clasificarse en dos categorías (ver Tabla 3), según el tratamiento se dé en el terreno o en el cuerpo de agua (García & Corzo, 2008).

**Tabla 3: Clasificación de los sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales**

Sistemas Naturales de Tratamiento de Aguas Residuales					
Basados en la Aplicación del Agua en el Terreno	Basados en los Procesos que Suceden en la Masa de Agua				
<table border="1"> <tr> <td>Aplicación subsuperficial</td> <td>Aplicación superficial</td> </tr> <tr> <td>Zanjas y lechos filtrantes, Humedales artificiales de flujo Subsuperficial</td> <td>Filtros verdes Infiltración – Percolación, Filtros de Arena</td> </tr> </table>	Aplicación subsuperficial	Aplicación superficial	Zanjas y lechos filtrantes, Humedales artificiales de flujo Subsuperficial	Filtros verdes Infiltración – Percolación, Filtros de Arena	<p>Sistemas con plantas flotantes</p> <p>Lagunaje natural</p> <p>Humedales artificiales de flujo superficial</p>
Aplicación subsuperficial	Aplicación superficial				
Zanjas y lechos filtrantes, Humedales artificiales de flujo Subsuperficial	Filtros verdes Infiltración – Percolación, Filtros de Arena				

Fuente: Guía práctica de Diseño y Construcción y Explotación de Sistemas de Flujo Sub Superficial (García & Corzo, 2008)

Debido a los fines de la presente investigación, detallaremos específicamente los sistemas naturales conocidos como Humedales Artificiales.

### 2.3. HUMEDALES ARTIFICIALES

Los humedales artificiales son sistemas diseñados y construidos para utilizar las funciones naturales de los humedales, de su vegetación, los suelos y de sus poblaciones microbianas para el tratamiento de aguas contaminadas (The Interstate Technology & Regulatory Council, 2003).

Estos sistemas se caracterizan por ser estanques poco profundos en los que se siembran especies vegetales que contribuyen a la formación de una capa bacteriana (biofilm), gracias al cual se produce la depuración del agua a través de procesos microbiológicos, biológicos, físicos y químicos (Alarcón M. et ál, 2018).

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

Según Delgadillo et ál (2010), los humedales se pueden clasificar en base al tipo de vegetación que se siembre para su funcionamiento (Macrófitas). En este sentido, éstas pueden ser humedales de macrófitas flotantes o humedales de macrófitas enraizadas.

Dentro de los humedales de macrófitas enraizadas se tiene la clasificación más común, la cual se da en base al tipo de flujo. En base a lo antes mencionado, los humedales se pueden clasificar como sistemas de flujo superficial o libre (FWS) y los sistemas de flujo subsuperficial (SFS) (Delgadillo et ál, 2010).

#### **a. Sistemas de flujo superficial (FWS)**

Los humedales de flujo libre o superficial son aquellos en los cuales, el nivel del agua fluye sobre el sustrato de suelo que tiene sembradas las plantas, es decir que el agua se encuentra en contacto directo con la atmosfera. Para que esto suceda, el sustrato de suelo debe tener cierto nivel de impermeabilización o estar protegido por un material impermeable (Lara J, 1999).

#### **b. Sistemas de flujo subsuperficial (SFS).**

En estos sistemas el agua fluye únicamente a través del sustrato donde se encuentran enraizadas las plantas y que sirve para el crecimiento de la película microbiana (biofilm), la cual crece adherida al medio granular y a las raíces y rizomas de las plantas, y tiene un papel fundamental en los procesos de depuración del agua (Lara, 1999).

Según García & Corzo (2008), las principales diferencias entre los sistemas de flujo subsuperficial y los superficiales son que los primeros tienen mayor capacidad de tratamiento, bajo riesgo de contacto del agua contaminada con las personas, bajo riesgo de aparición de insectos. Así mismo, los humedales de flujo subsuperficial pueden clasificarse según el sentido de circulación del agua en humedales de flujo horizontal o flujo vertical.

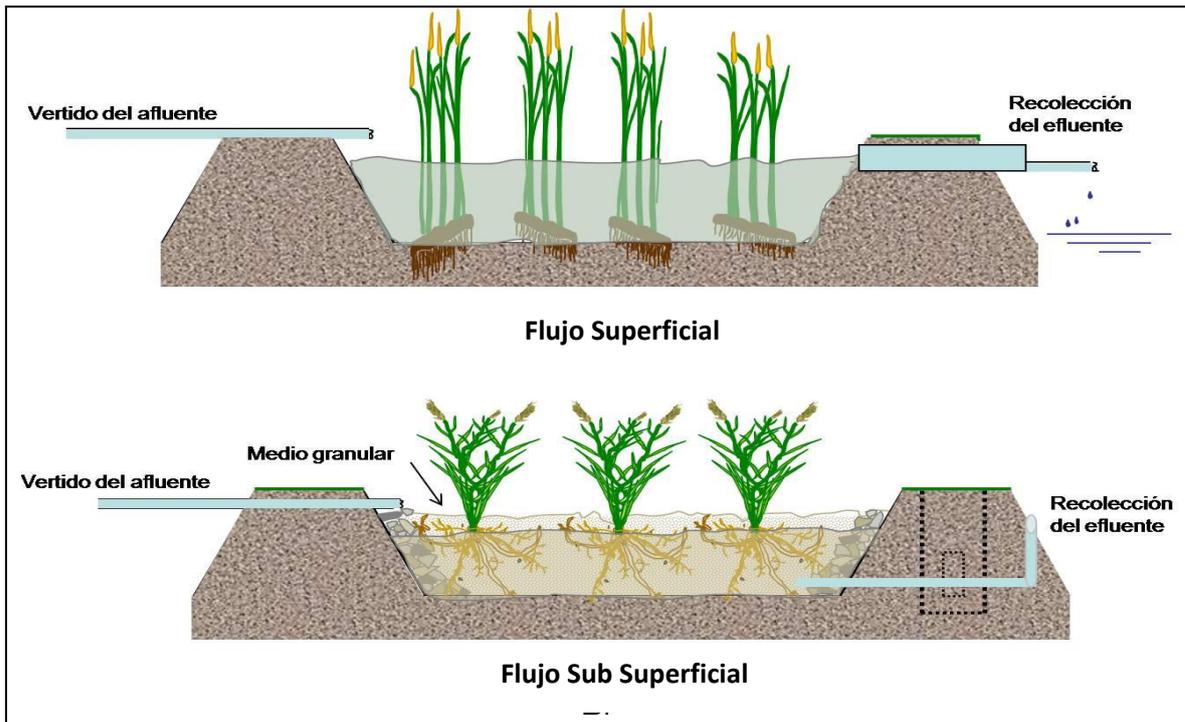


Figura 2: Tipos de humedales (García & Corzo, 2008)

- **Humedales de flujo horizontal**

Estos sistemas se caracterizan por el ingreso de agua de forma permanente. El flujo ingresa por la parte superior de un extremo del humedal y es recogida por un tubo de drenaje en la parte inferior del otro extremo. El flujo de agua contaminada es tratado a medida que fluye de forma lateral de un extremo a otro a través del medio poroso constituido por una cama comúnmente de arena, grava y especies vegetales acuáticas sembradas (Delgadillo et ál, 2010).

- **Humedales de flujo vertical**

Como su nombre sugiere, en estos sistemas el flujo de agua contaminada atraviesa el medio poroso desde arriba hacia abajo y de forma intermitente, es decir que el agua ingresa en forma de pulsos permitiendo periodos de saturación y de descanso con lo cual se estimula el suministro de oxígeno. El agua ingresa por el área superficial gracias a sistemas de tubería que funcionan a goteo o chorros de agua y el recojo del flujo se realiza en el fondo de la cama de filtración mediante tuberías de drenaje (Delgadillo et ál, 2010).

### **2.3.2. Componentes de un humedal artificial de flujo subsuperficial**

Autores como Garcia & Corzo (2008) y la Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo (2006), han definido las partes o componentes físicos de los humedales artificiales de flujo subsuperficial como se describen a continuación (Ver Figura 3).

#### **a. Estructura de entrada y salida del sistema**

Las estructuras de entrada y salida de los humedales están constituidas por sistemas de tuberías dispuestas superficialmente o semi enterradas en el lecho filtrante. Estos sistemas de tuberías permiten dividir el caudal equitativamente antes de ser vertido sobre el medio granular.

Del mismo modo, la estructura de salida está compuesta por una tubería o conjunto de las mismas, perforadas y dispuestas en el fondo del lecho filtrante.

#### **b. Medio granular**

La función principal del medio granular o lecho filtrante, es eliminar los sólidos finos que contienen las aguas contaminadas previamente tratadas, y proporcionar la superficie y el medio adecuado para el desarrollo de microorganismos que se encargarán de degradar los contaminantes. Así mismo, constituye el área que será ocupada por las raíces de las plantas macrófitas, las cuales también tienen participación en el proceso de tratamiento.

En el medio granular ocurren procesos como la retención de la materia en suspensión, la degradación de la materia orgánica, la asimilación de los nutrientes, y la eliminación de patógenos. En este sentido es importante la adecuada selección de materiales que lo conforman, para esto se utilizan criterios como la granulometría, la porosidad, la permeabilidad y la resistencia física; del mismo modo debe ser limpio (exento de finos) y permitir un buen desarrollo de las plantas y de la biopelícula.

Una característica particular es que en los humedales verticales el medio granular generalmente es heterogéneo ya que se disponen dos o tres capas horizontales con distinta granulometría para que el paso del agua por el lecho no sea excesivamente rápido o lento.

### c. Vegetación

Las plantas sembradas en el humedal constituyen el componente más importante del humedal artificial dado que las raíces de las plantas ayudan a incrementar la filtración y el desarrollo de los microorganismos en el medio granular, así mismo permiten la introducción de oxígeno permitiendo la formación de una población microbiana aeróbica en zonas cercanas a las raíces (biopelícula o biofilm), amortiguan las variaciones ambientales y asimilan nutrientes. Además, las plantas cumplen otras funciones tales como proveer un hábitat conveniente para la vida silvestre y proporcionar al sistema una apariencia estética o paisajística.

Las especies utilizadas son macrófitas emergentes típicas de las zonas húmedas, como el carrizo (*Phragmites*), el Papiro Paragüitas (*Cyperus albostratus*), la espadaña (*Typha*), los juncos (*Scirpus*) o el Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*).

### d. Tubería de aireación.

Como su propio nombre lo indica, se trata de un tubo que se coloca desde la profundidad del lecho filtrante y sirve para airear el lecho en profundidad proporcionando mayor cantidad de oxígeno para mejorar y favorecer así los procesos de degradación aeróbica.

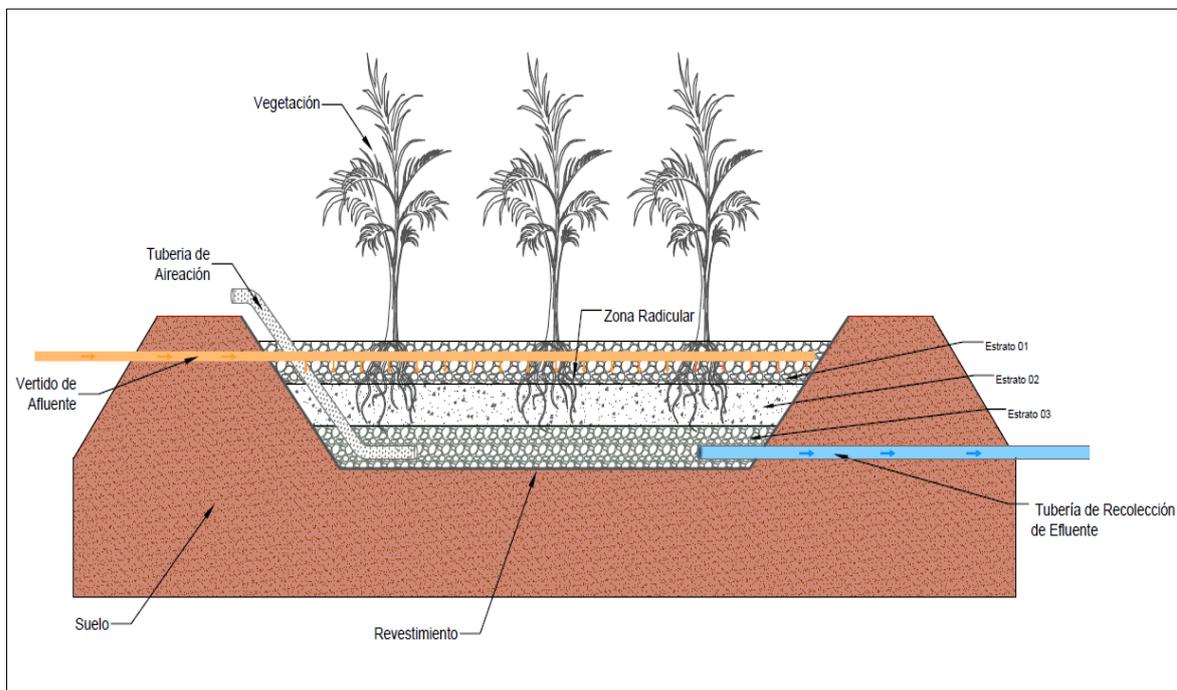


Figura 3: Componentes de un humedal artificial (adaptado de García & Corzo, 2008)

### 2.3.3. Mecanismos de eliminación de los contaminantes

Distintos autores explican los diversos mecanismos y procesos por los cuales se realiza la reducción o eliminación de contaminantes. Tal es el caso de Kolb P. (1998) y Hoffmann et ál (2011) que sintetizan los mecanismos de remoción que se producen durante el tratamiento de las aguas contaminadas, el resumen se presenta en la Tabla 4.

**Tabla 4: Mecanismos de remoción en los sistemas de tratamiento basados en macrófitas**

Parámetro evaluado	Mecanismos de remoción
Sólidos suspendidos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sedimentación</li><li>• Filtración</li><li>• Descomposición durante largos periodos de tiempo por bacterias especializadas en el lecho de arena</li></ul>
Materia orgánica	<ul style="list-style-type: none"><li>• Degradación microbiana (aeróbica y anaeróbica)</li><li>• Sedimentación y filtración, posteriormente convertidas a DBO<sub>5</sub> soluble</li></ul>
Nitrógeno amoniacal	<ul style="list-style-type: none"><li>• Amonificación seguida por nitrificación y desnitrificación amoniacal</li><li>• Absorción por las plantas</li></ul>
Fósforo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Absorción por el lecho de arena</li><li>• Absorción por las plantas</li><li>• Precipitación con aluminio, hierro y calcio</li></ul>
Patógenos	<ul style="list-style-type: none"><li>• Sedimentación y filtración</li><li>• Absorción por el Biofilm</li><li>• Depredación por protozoarios</li><li>• Excreción de antibióticos por las raíces de las macrófitas</li></ul>

Fuente: Adaptado de Design of a constructed wetland (pilot plant) for the reclamation of the river Besós (Kolb P, 2008) y Revisión Técnica de Humedales Artificiales (Hoffmann et al, 2011)

Así mismo, Garcia & Corzo (2008) y Lara J. (1999) describen algunos procesos que se dan en los humedales artificiales durante la depuración de aguas contaminadas, de la siguiente manera:

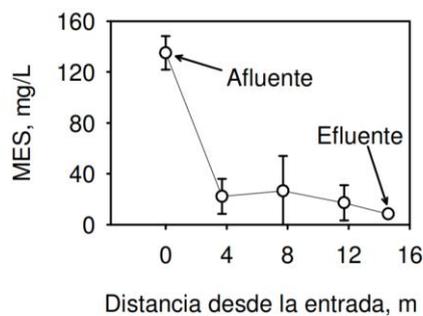
#### **a. Remoción de DBO**

En los humedales artificiales el proceso de remoción de materia orgánica es muy rápido, es el resultado de la interacción de numerosos procesos físicos, químicos y bióticos que suceden de forma simultánea, por lo que cerca del 50% de la DBO es removida en los primeros metros del humedal. Esto se debe a que la materia orgánica particulada es filtrada durante su paso a través del medio granular, y la restante se convierte en partículas más pequeñas que pueden ser hidrolizadas por enzimas extracelulares que se encuentran dentro del material granular y cercano a las raíces de las plantas (Biopelícula).

### b. Remoción de materia en suspensión

La remoción de materia en suspensión se da mediante la combinación de diferentes procesos físicos como la sedimentación y el tamizado, que en conjunto se denominan filtración en el medio granular. Gracias a estos procesos suele obtenerse efluentes con concentraciones muy bajas de sólidos suspendidos.

Al igual que en la remoción de DBO, en el caso de los humedales de flujo horizontal, la mayor parte de la eliminación de la materia en suspensión sucede cerca de la zona de entrada. Mientras que en los sistemas verticales el mayor porcentaje de retención de la materia en suspensión ocurre en los primeros centímetros del lecho filtrante.



**Figura 4: Evolución de la concentración de materia en suspensión a lo largo de un humedal artificial (Píriz A., 2000)**

Un factor importante en la eliminación de sólidos suspendidos es la conductividad hidráulica, ya que, de ocasionarse obstrucciones, el flujo de agua se vería afectado y como consecuencia la eficiencia de tratamiento también bajaría.

### c. Remoción de patógenos

Como se ha mostrado en la Tabla 4, la eliminación de microorganismos es un proceso que depende de factores como la sedimentación, filtración, la adsorción, entre otros. En los sistemas de humedales la eliminación es dependiente del tiempo de permanencia y del medio granular, ya que mientras menor es el diámetro de los vacíos entre partículas granulares, mayor será el porcentaje de remoción.

Para evaluar la eficiencia de eliminación de los patógenos se suele medir la presencia de microorganismos indicadores de la contaminación fecal, como son por ejemplo los coliformes fecales.

### **2.3.4. Consideraciones básicas de diseño.**

Con la finalidad de centralizar la revisión de literatura a la investigación, se tratará el presente ítem en relación a los humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical.

#### **a. Requisitos generales**

Según Hoffmann et ál. (2011), los requisitos generales para poder utilizar los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales son:

- Debe tener suficiente espacio disponible para su instalación, ya al ser un "sistema de baja carga" requiere de un mayor espacio que los sistemas convencionales.
- Es recomendable que su instalación no se realice en climas que tengan períodos largos de heladas. Sin embargo, es posible adaptar el diseño los humedales artificiales de flujo subsuperficial para ser utilizado en climas fríos (Jenssen et ál., 2008).
- El humedal no debe encontrarse bajo sombra en su totalidad. Es importante que reciba la luz solar.
- La vegetación que se utilice en la instalación debe estar adaptada al clima del entorno y para crecer parcialmente sumergidas bajo condiciones de luz y de sombra.
- Los humedales artificiales son los más resistentes a los afluentes tóxicos que los sistemas convencionales, debido a su alto tiempo de retención y baja carga.
- Es necesario capacitar al personal de mantenimiento sobre las tareas básicas que se necesitan realizar en la operación del sistema.
- Los humedales de flujo vertical siempre necesitan bombas o de lo contrario sifones que carguen por pulsos, mientras que los humedales de flujo horizontal pueden funcionar sin bombas.

En cuanto a los humedales de flujo subsuperficial vertical específicamente, menciona:

- El nivel superior del sustrato filtrante debe mantener un mismo nivel y las tuberías de distribución generalmente van semi enterradas o cubiertas con grava para evitar la acumulación de agua durante los períodos de bombeo.

- Las tuberías de distribución deben ser diseñadas y colocadas de manera uniforme sobre la superficie del humedal para asegurar una mejor distribución del afluente. Así mismo, se debe seleccionar adecuadamente el tamaño y longitud exacta de las tuberías, el diámetro y el espaciamiento entre los agujeros que permitirán la distribución del agua pretratada.
- Se recomienda que la distancia entre tubos de drenaje no exceda los 5 m. y que estos estén cubiertos de grava para permitir su adecuado funcionamiento.
- La pendiente en el fondo de los humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical debe estar entre 0,5% - 1% en dirección a la salida, para asegurar el flujo de agua contaminada a una velocidad no excesiva ni extremadamente lenta.
- La profundidad del sustrato permeable debe ser como mínimo 50 cm.; en el fondo y en la superficie se deben colocar 20 cm. y 10 cm. de grava respectivamente para cubrir las tuberías de drenaje y distribución. Así mismo, se debe dejar al menos unos 15 cm. de borde libre para la acumulación de agua.
- El área de superficie específica requerida es generalmente de 3 - 4 m<sup>2</sup>/PE en las regiones frías y de 1 - 2 m<sup>2</sup>/PE en regiones cálidas. Sin embargo, dependiendo del objetivo de reutilización del efluente, la legislación y la carga específica, estos valores pueden variar. Según Platzer, et ál. (2007), se tienen buenas experiencias con el diseño de humedales de flujo vertical en climas cálidos, con alrededor de 1 y 2 m<sup>2</sup>/PE.
- Para las aguas grises y aguas residuales la carga orgánica por unidad de superficie debe limitarse a 20 g DQO/m<sup>2</sup>/d en los climas fríos (DWA, 2006; ÖNORM, 2009). Sin embargo, se han tenido buenos resultados con humedales de flujo vertical diseñados en climas cálidos, con alrededor de 60 - 70 g DQO/m<sup>2</sup>/d, que corresponde a alrededor de unos 30 - 35 g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>/d.
- La carga hidráulica para humedales de flujo vertical en climas fríos no debe exceder a los 100 - 120 mm/d (DWA, 2006). Mientras que en climas cálidos la carga hidráulica de aguas contaminadas puede ser aplicadas hasta unos 200 mm/d. Durante los eventos de lluvia, se puede aplicar una carga hidráulica de corto plazo de hasta 500 mm/d.

## **b. Diseño de humedales artificiales**

Según Delgadillo et ál. (2010), para un adecuado diseño del humedal artificial, el flujo debe romper la resistencia creada por la vegetación, la capa de sedimentos, raíces y sólidos acumulados en el sustrato filtrante. La energía para romper esta resistencia está dada por la pérdida de carga entre el ingreso y salida del humedal, para lo cual se le asigna al fondo del humedal una pendiente con una salida de altura variable. Así mismo, para este propósito se debe asumir un flujo en condiciones uniformes y de tipo pistón.

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

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

Por otro lado, Hoffmann et ál. (2011) menciona que el diseño de los humedales está en función de los siguientes parámetros:

- Área por persona en  $m^2/PE$ , donde PE significa persona equivalente.
- Carga orgánica por área superficial en  $g\ DBO_5/m^2/d$  o  $g\ DQO/m^2/d$ .
- Carga hidráulica en  $mm/d$ . o  $m^3/m^2/d$ .
- Oferta y demanda de oxígeno ( $kg\ O_2/d$ ).

Delgadillo et ál. (2010), indica que para un correcto diseño de humedales artificiales de flujo subsuperficial se deberán determinar factores como el área necesaria para su instalación, la profundidad del lecho filtrante, pendientes, materiales para el lecho filtrante y relación de largo vs ancho.

Los valores usuales para estos parámetros de diseño de humedales de flujo subsuperficial horizontal y vertical se muestran en la Tablas 5 y Tabla 6 respectivamente.

**Tabla 5: Parámetros de diseño de humedales de flujo subsuperficial horizontal**

Parámetros	Unidad	Intervalo	Valor Usual
• Tiempo de retención hidráulico	• Días	• 4 – 15	• 7
• Profundidad agua	• m	• 0,1 - 0,8	• 0.6
• Área	• m <sup>2</sup> /heq	• 2,5 – 5	
• Carga orgánica	• gDBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> dia	• 3 - 7,5	• < 11
• Carga orgánica	• kgDBO <sub>5</sub> /heq.dia	• < 70	
• Carga hidráulica	• m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia	• 0,1 - 0,2	
Parámetros Constructivos	Unidad	Intervalo	Valor Usual
• Grava ingreso salida	• mm	• 50 – 100	• 50
• Grava media	• mm	• 3 – 12	
• Coeficiente uniformidad		• 3 – 5	• < 5
• Profundidad del medio	• m	• 0.70 – 1.5	• 0.7
• Pendiente	• %	• 0 – 1	• 0.5
• Relación largo - ancho		• 2:1 – 7:1	• 3:1
Drenaje	Unidad	Intervalo	Valor Usual
• Tubería perforada - tamaño	• Pulgada	• 3 – 4	• 4
Distribución de agua	Unidad	Intervalo	Valor Usual
• Tubería perforada - canal	• Pulgada	• 2 – 4	• 3

Fuente: Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales (Delgadillo O., 2010)

**Tabla 6: Parámetros de diseño de humedales de flujo subsuperficial vertical**

Parámetros Constructivos	Unidad	Intervalo	Valor Usual
• Arena fina lavada	• mm	• 0.25 – 0.75	• 0.35
• Grava fina	• mm	• 2 – 8	• 2 - 5
• Coeficiente uniformidad	• %	• 3 – 6	• < 4
• Profundidad del medio	• cm	• 45 – 90	• 60
• Porcentaje de finos	• %	• 2 – 5	• < 4
Tubería Drenaje	Unidad	Intervalo	Valor Usual
• Tamaño	• Pulgada	• 3 – 4	• 4
• Pendiente	• %	• 0.1 – 1	• 0.5
• Grava de drenaje	• mm	• 20 – 40	• 40
Tubería de Distribución de agua	Unidad	Intervalo	Valor Usual
• Diámetro tubería	• Pulgada	• 1 – 2	• 1.5
• Distancia entre tuberías	• m	• 0.5 – 1.2	• 0.6
• Orificio de distribución	• mm	• 3 – 8	• 6
• Distancia entre orificios	• m	• 0.5 – 1.2	• 0.6
Parámetros de Diseño	Unidad	Intervalo	Valor Usual
• Carga hidráulica	• l/m <sup>2</sup> .dia.	• 40 – 60	• 50
• Carga orgánica	• kg DBO/m <sup>2</sup> .dia	• 0.0025 – 0.01	• < 0.005
Dosificación	Unidad	Intervalo	Valor Usual
• Frecuencia	• Veces/día	• 4 – 24	• 12
• Volumen/orificio	• l/orif.dosis	• 0.6 – 1.1	• 0.9
• Tiempo de aplicación	• minutos	• 2 – 15	• 5

Fuente: Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales (Delgadillo O., 2010)

Otros factores a tener en cuenta son los que establece Hoffmann et ál. (2011) para el área requerida por persona equivalente, la cual puede variar en base a diferentes factores como clima, carga hidráulica y carga orgánica. En la Tabla 7 se muestra la variación del área por persona equivalente según el tipo de clima.

**Tabla 7: Parámetros de diseño de humedales de flujo subsuperficial vertical**

Ítem	Clima frío, temperatura media anual < 10°C		Clima caliente, temperatura media anual > 20°C	
	H. de Flujo Horizontal	H. de flujo Vertical	H. de Flujo Horizontal	H. de flujo Vertical
Área Por persona atendida (m <sup>2</sup> /PE)	8	4	3	1.2

Fuente: Revisión Técnica de Humedales Artificiales (Hoffmann et ál., 2011)

La mejor manera de minimizar el tamaño (superficie requerida) de un humedal artificial es un eficiente pretratamiento que disminuye significativamente la carga orgánica. La carga orgánica que entra en el humedal artificial (en g/d) es igual al caudal del afluente (m<sup>3</sup>/d) multiplicado por la concentración de DBO<sub>5</sub> o DQO (en mg/l) de las aguas residuales que son pretratadas (Hoffmann et ál., 2011).

### 2.3.5. Eficiencias de remoción de contaminantes

La eficiencia de remoción de contaminantes es variable según parámetros climatológicos, carga orgánica e hidráulica aplicadas, entre otros. Sin embargo, existen diversos estudios que brindan una aproximación sobre la eficiencia de tratamiento en los humedales artificiales.

Kadlec & Wallace (2009), señalan que, en cuanto a la eficiencia en la eliminación de DBO, los humedales de flujo vertical presentan eficiencias de eliminación superiores al 80% y en humedales de flujo horizontal superiores al 70%; esta ligera diferencia se debe principalmente al modo de alimentación del afluente, dado en que los sistemas de flujo horizontal la alimentación es continua, mientras que, en los sistemas de flujo vertical, la alimentación es intermitente. En cuanto a los sólidos suspendidos, ambos sistemas mantienen una eficiencia de eliminación superior al 85%.

Hoffmann et ál. (2011), también ha descrito diferencias en la eficiencia de remoción de contaminantes estableciendo que la relación de eliminación de la DBO<sub>5</sub> y los Sólidos Totales pueden llegar hasta un 99%, mientras que la remoción total del nitrógeno puede llegar a ser hasta un 40%.

**Tabla 8: Porcentaje de remoción de los humedales de flujo horizontal (HFH) y de flujo vertical (HFV) para el tratamiento de aguas grises**

Contaminantes	Humedales de Flujo Horizontal (Morel & Diener, 2006)	Humedales de Flujo Vertical (Ridderstolpe P., 2004)
DBO <sub>5</sub>	80-90%	90-99%
SST (Sólidos totales)	80-95%	90-99%
NT (Nitrógeno total)	15-40%	30%
PT (Fosforo total)	Las tasas de eliminación del fósforo dependen de las propiedades del material del filtro, de la longitud y del tiempo durante el cual el humedal ha estado operando.	

Fuente: Revisión Técnica de Humedales Artificiales (Hoffmann et al, 2011).

Por otro lado, Lara J. (1999), indica que en casos de humedales en Norteamérica y Europa que han recibido agua residual de variada calidad y con diferentes valores de DBO<sub>5</sub> (de hasta 150 mg/l), se han logrado valores en el efluente menores a 20 mg/l en todos los casos; razón por la cual afirma que estos valores de salida pueden lograrse sin tener en cuenta la concentración de DBO de entrada. El mismo autor explica que esto puede deberse a la producción de DBO residual debido a la descomposición de los residuos de las plantas y otras materias orgánicas presentes en el humedal, por lo que es imposible diseñar un sistema para una salida de concentración cero en DBO, independientemente de su tiempo de retención hidráulica

Finalmente, en cuanto a la eficiencia de los humedales artificiales para la eliminación de patógenos (coliformes fecales, parásitos entre otros) también se muestran diferencias entre los sistemas verticales y horizontales. En este caso la remoción de coliformes totales, coliformes fecales y estreptococos fecales en humedales de flujo horizontal es superior a la eficiencia de remoción en sistemas de flujo vertical, encontrándose porcentajes de remoción de 88.1% a 92.6% y 65.1% a 85.6% respectivamente (Vymazal J., 2005), mientras que la remoción de parásitos puede llegar a tener una eficiencia de casi el 100% según Ávila et ál. (2013)

## 2.4. MARCO NORMATIVO RELACIONADO

El marco normativo es el conjunto general de normas, criterios, metodologías, lineamientos y sistemas, que establecen la forma en que deben desarrollarse las acciones para alcanzar objetivos determinados. Estos están establecidos por las autoridades competentes en el tema de interés.

En la Tabla 9 se presenta el marco normativo vigente en el Perú, relacionado a los recursos hídricos, y al entorno ambiental, social y político.

**Tabla 9: Normativa relacionada al proyecto**

<b>Normatividad General</b>		
<b>Instrumento Legal</b>	<b>Fecha</b>	<b>Descripción</b>
Constitución Política del Perú	1993	Constitución Política del Perú de 1993. Título III, Capítulo II “Del Ambiente y los Recursos Naturales”.
Ley N° 28245	08/06/04	Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
D.S. N° 008-2005-PCM	28/01/05	Reglamento de Ley Marco del Sistema Nacional de Gestión Ambiental.
Ley N° 27446	16/03/01	Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental.
Ley N° 26842	20/07/97	Ley General de Salud.
Ley N° 28611	13/09/05	Ley General del Ambiente y sus Modificatorias
<b>Normativa Específica</b>		
<b>Instrumento Legal</b>	<b>Fecha</b>	<b>Descripción</b>
D.L. N° 17752	29/07/69	Ley General de Aguas.
D.S. N° 004-2017-MINAM	19/12/15	Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua.
D.L. N° 1081	28/06/08	Creación del Sistema Nacional de Recursos Hídricos.
Ley 29338	22/03/09	Ley General de Recursos Hídricos.
D.S. N° 022-2009-VIVIENDA	27/11/09	Modificación de Norma Técnica OS. 090 “Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales”
D.S. N° 003-2010-MINAM	17/03/10	Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales
D.S. N° 273-2013-VIVIENDA	24/10/13	Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales - PTAR

Respecto a los alcances de la presente investigación, la normativa específica relacionada al proyecto establece, a través de la Ley de Recursos Hídricos (Capítulos VI y VII), la normativa que define los procedimientos, autorizaciones y requisitos a cumplir para el vertimiento y reúso de las aguas residuales tratadas. En la ley mencionada se establece que el reúso de aguas residuales debe ser autorizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Así mismo, en su Artículo 145, literal “a” establece que podrá autorizarse este reúso únicamente cuando se cumpla con la condición de ser sometidos a los tratamientos previos

y que cumplan con los parámetros de calidad establecidos para los usos sectoriales, cuando corresponda.

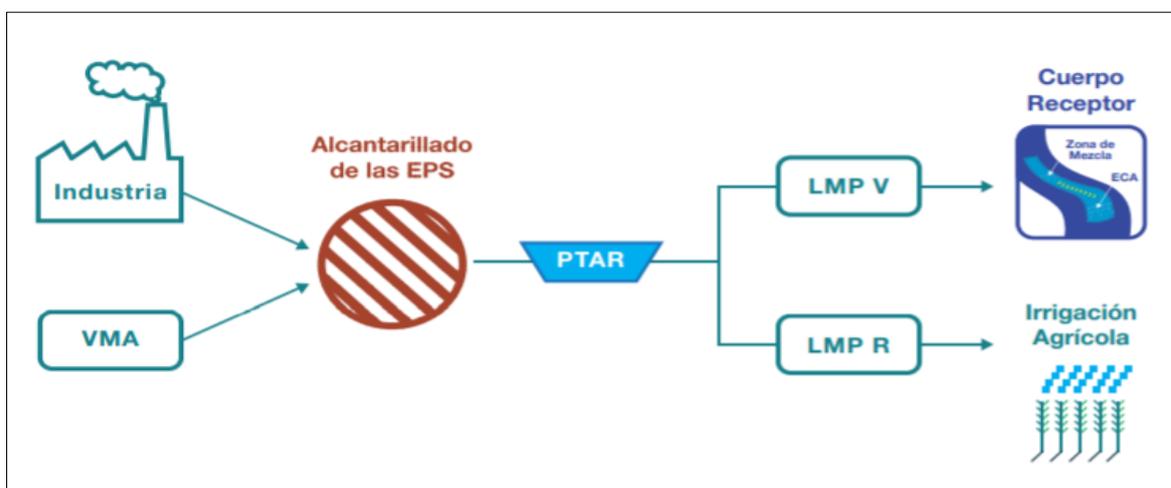
En este sentido, la normativa que regula los parámetros de calidad de un efluente tratado es el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM con el cual se establecen los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales (ver Tabla 10 en la cual se muestran los LMP vigentes).

**Tabla 10: Límites máximos permisibles (LMP)**

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua
Aceites y grasas	mg/l	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	10,000
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

La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento – SUNASS (2015) menciona que en el caso de vertimiento del efluente a un cuerpo de agua se debe garantizar cumplimiento de los LMP en el efluente de una PTAR y a su vez del cumplimiento del ECA-Agua después de la zona de mezcla y viceversa. Por otro lado, para el caso del reúso de las aguas tratadas, se deben aplicar los LMP correspondientes a la actividad en la que se hará el reúso.



**Figura 5: Exigencia de LMP de vertimientos (LMP-V) y LMP para reúso (LMP-R) (SUNASS. 2015)**

El humedal artificial instalado, tiene como objetivo el reúso de las aguas tratadas en el riego de áreas verdes, esta actividad no cuenta con una normativa específica que regule los parámetros de calidad del efluente. Al respecto, en el Artículo 150 de la mencionada Ley de Recursos Hídricos se establece que las solicitudes de autorización de reúso de aguas residuales tratadas serán evaluadas tomándose en cuenta los valores que establezca el sector correspondiente a la actividad a la cual se destinará el reúso del agua o, en su defecto, las guías correspondientes de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó las Guías de Reúso de Aguas Residuales en Agricultura, como una de las principales directrices en la reutilización de aguas contaminadas en riego. La primera publicación de dichas directrices se realizó en 1989, en ella se establecen los valores mínimos a cumplirse para la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en agricultura (Ver Tabla 11).

Una segunda publicación de las directrices de la OMS se realizó en año 2006, en las cuales se define la calidad del agua residual a reutilizar en función de la evaluación del riesgo para la salud de los que participan en la cadena del reúso: el consumidor de los productos, los agricultores y la población aledaña.

Si se comparan los valores de ambas guías de la OMS, los valores de la guía del 2006 son menos restringidos para el riego de cultivos de consumo directo, siempre que se implementen las medidas de protección de la salud humana adicionales al tratamiento de las aguas residuales. Por otro lado, para el riego de otros cultivos, la guía del 2006 es más estricta respecto a la remoción de organismos patógenos que la guía de 1989 y pone más atención a la seguridad de los regantes. Sin embargo, en ambas guías se establece igual grado de remoción de huevos de helmintos y de remoción de patógenos para el riego (por inundación, goteo o aspersión). (SUNASS, 2015).

Cabe resaltar que las Guías de Reúso de Aguas Residuales en Agricultura del 2006, no son utilizadas por la Autoridad Nacional del Agua con el propósito de regular la calidad de los efluentes dado que no establecen valores específicos, estos deben ser fijados por cada país.

**Tabla 11: Directrices recomendadas sobre la calidad microbiológica de las aguas residuales empleadas en agricultura<sup>a</sup>**

Categoría	Condiciones de aprovechamiento	Grupo Expuesto	Nemátodos intestinales <sup>b</sup> (media aritmética N° de huevos por litro)	Coliformes fecales (media geométrica N° por 100 ml)	Tratamiento de aguas residuales necesario para lograr la calidad microbiológica exigida
A	Riego de cultivos que comúnmente se consumen crudos, campos de deportes, parques públicos <sup>c</sup>	Trabajadores, consumidores, usuarios	≤ 1	≤ 1000 <sup>d</sup>	Series de estanques de estabilización que permiten lograr la calidad microbiológica indicada o tratamiento equivalente
B	Riego de cultivos de cereales industriales y forrajeros, praderas y árboles <sup>e</sup>	Trabajadores	≤ 1	No se recomienda ninguna norma	Retención en estanques de estabilización por 8 a 10 días, o eliminación equivalente de helmintos y coliformes fecales
C	Riego localizado de cultivos en la categoría B, cuando ni los trabajadores ni el público están expuestos	Ninguno	Sin aplicación	No es aplicable	Tratamiento previo según lo exija la tecnología de riego por no menos que sedimentación primaria

Guías de Reúso de Aguas Residuales en Agricultura (OMS, 1989)

<sup>a</sup> En casos específicos, se deberían tener en cuenta los factores epidemiológicos, socioculturales y ambientales de cada lugar y modificar las directrices de acuerdo a ello

<sup>b</sup> Especies *Ascaris* y *Trichuris* y anquilostomas

<sup>c</sup> Durante el periodo de riego

<sup>d</sup> Conviene establecer una directriz más estricta (≤ 200 coliformes fecales por 100 ml) para prados públicos, como los de los hoteles, con los que el público puede entrar en contacto directo.

<sup>e</sup> En el caso de los árboles frutales, el riego debe cesar dos semanas antes de cosechar la fruta y esta no se debe recoger del suelo. No es conveniente regar por aspersión.

### **III. MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

La investigación tiene como objetivo la evaluación de la sostenibilidad técnica, ambiental, social y económica de la utilización de humedales artificiales como método de tratamiento para aguas residuales con fines de reutilización en riego.

Con tal fin se evaluó la sostenibilidad de un humedal artificial instalado en un área recreacional denominada Eco Parque Peruano Alemán “Parque de los niños”, el cual tiene contacto directo con el entorno ambiental y social, al ser un área de libre acceso a la comunidad.

El humedal, trata las aguas procedentes del río Chillón, las cuales llegan al parque a través del canal San José. Estas aguas son tratadas en el sistema que incluye una rejilla como pretratamiento, un tanque de sedimentación como tratamiento primario y el humedal como tratamiento secundario. Los efluentes son utilizados para el riego de las áreas verdes del Eco Parque al cual pertenece el sistema.

El Eco Parque y el humedal artificial fueron diseñados y construidos por iniciativa del proyecto LiWa (Lima Water), el cual se enfocó en la búsqueda de nuevas estrategias para la gestión de las aguas residuales en la ciudad de Lima y Callao.

##### **3.1.1. Proyecto LiWa**

El Proyecto LiWa (Gestión Sostenible del Agua y las Aguas Residuales en Centros de Crecimiento Urbano Afrontando el Cambio Climático), fue un proyecto de investigación aplicada. Siendo uno de nueve proyectos a nivel mundial, conformante del Programa alemán “Investigación para el Desarrollo Sostenible de Mega-ciudades del Futuro”, enmarcado en las Metas del Milenio al 2015 de las Naciones Unidas. Su fase inicial se llevó a cabo del

2005 al 2007 y su fase principal del 2008 al 2013. El proyecto estuvo asociado con diversas instituciones educativas, instituciones gubernamentales y no gubernamentales de Perú y Alemania.

Sus principales objetivos fueron:

- Investigar las consecuencias del cambio climático y el desarrollo de otros factores para la situación del agua y saneamiento en Lima y Callao en el año 2030-2040
- Diseñar y aplicar herramientas e instrumentos para que la ciudad pueda enfrentar estas consecuencias del cambio climático (Escenarios, Modelos, Gobernanza, Tarifas, Educación, etc.).
- Elaborar y proponer estrategias eficaces y sostenibles para la adaptación al cambio, y la planificación y gestión del agua, considerando la eficiencia energética y el cambio climático.

### **3.1.2. Eco Parque Peruano – Alemán**

#### **a. Descripción general**

El proyecto Eco Parque Peruano Alemán “Parque de los niños” consta de un área verde de recreación pública, construido en un espacio de 598.16 m<sup>2</sup> perteneciente a la asociación de pobladores La Florida II Etapa, Chuquitanta, en el distrito de San Martín de Porres.

Por la parte posterior del área donde está construido el parque, pasa el canal denominado “Canal San José”, cuyas aguas son utilizadas para la irrigación de las áreas verdes cercanas. Sin embargo, sus aguas provenientes del río Chillón no son aptas para el contacto humano dado su grado de contaminación; por tal motivo, el proyecto LiWa contempló la construcción del sistema de tratamiento mediante un Humedal Artificial WTL-ROTARIA. El tratamiento fue desarrollado de acuerdo a las normativas y legislación existentes en otros países y con la experiencia de la empresa AKUT Perú SAC en el área de tratamiento de efluentes (No existe normativa nacional para la construcción de humedales artificiales).

El Eco Parque Peruano Alemán “Parque de los niños” fue financiado por el Proyecto Liwa, con el apoyo de la Municipalidad Distrital de San Martín de Porres y fue inaugurado en setiembre del año 2014. Está conformado por áreas verdes, áreas recreativas, sistema de

tratamiento de aguas contaminadas y además cuenta con un sistema automatizado de riego por aspersión y por goteo (Ver fotografías en el Anexo N° 1).



Figura 6: Vista de área sin proyecto (Fotografía: Eva Nemcova)



Figura 7: Vista panorámica del proyecto, 1) Sistema de tratamiento – humedal artificial y reservorio, 2) Área verde recreacional, 3) Área de juegos (Fotografía: Evelyn Merino Reyna, 2014)

## b. Ubicación

La ubicación política es la siguiente:

Asentamiento: La Florida II Etapa  
Localidad: Chuquitanta  
Distrito: San Martín de Porres  
Departamento: Lima

La ubicación geográfica se muestra en la Tabla 12 y Figura 8:

**Tabla 12: Ubicación geográfica del proyecto**

Proyecto	Coordenadas UTM - WGS84	
	Norte	Este
Eco Parque Peruano Alemán “Parque de los niños”	8677524	271017



**Figura 8: Vista satelital de la ubicación del proyecto (Fuente: Google Earth)**

### 3.1.3. Sistema de tratamiento de aguas contaminadas

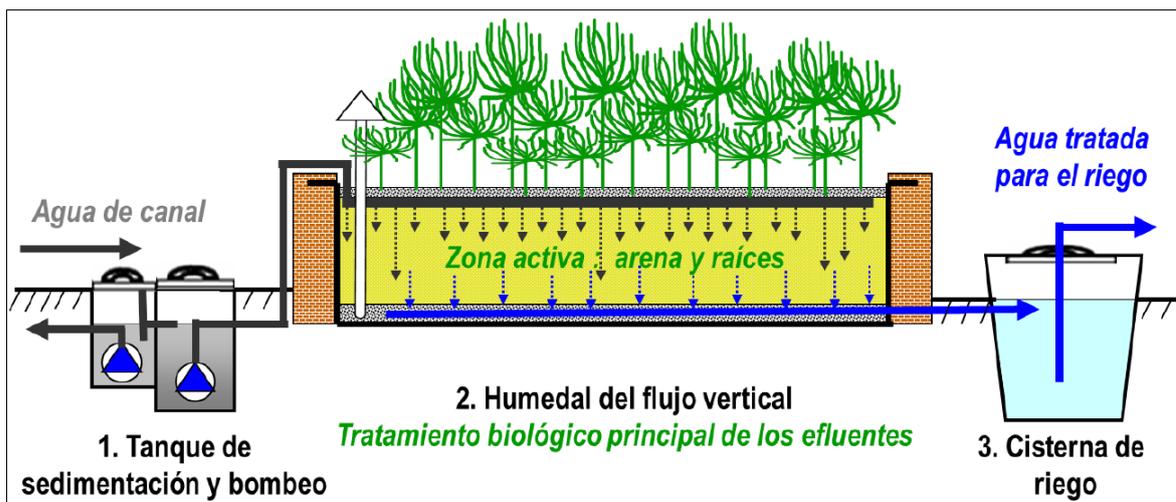
La finalidad del tratamiento fue la utilización del agua de canal, para la irrigación de áreas verdes, buscando un sistema eficiente de tratamiento con buena relación beneficio/costo.

### a. Descripción del sistema

La ventaja del agua captada de un canal es que no contienen tantos patógenos y materia orgánica como la presente en los desagües en general; aprovechando esta característica se realizó un diseño de tratamiento para garantizar la calidad del agua para el riego.

Las aguas del canal fueron captadas a través un by-pass y de una rejilla para reducir la presencia de partículas grandes. Desde allí se condujo hacia un tanque de sedimentación para retener partículas finas, las que luego son retornadas al canal con una bomba de lodo. El agua clarificada pasa por pulsos de bombeo hacia el humedal.

El tratamiento principal ocurre en el humedal de flujo vertical, tipo WTL- ROTARIA. La entrada de agua en el humedal es controlada por válvulas, que permiten alternar la superficie de trabajo del humedal para recuperar su permeabilidad. Esto asegura la durabilidad y el correcto funcionamiento del sistema.



**Figura 9:** Principio del tratamiento de aguas de canal en el humedal tipo WTL-Rotaría (Memoria Descriptiva - Tratamiento de Aguas de Canal en Humedal Artificial WTL- ROTARIA para el uso en Riego del Parque en la Florida – Chuquitanta).

El agua tratada es almacenada en un reservorio y se tiene la posibilidad de almacenar dentro del mismo humedal, utilizando hasta un 30% de su capacidad. El diseño fue realizado de manera que el mantenimiento y la operación de la planta sea de fácil manejo; siendo necesaria una capacitación del personal de mantenimiento y la elaboración de un manual de operación como material de apoyo.

## **b. Diseño**

El humedal tipo WTL-ROTARIA está constituido por: lecho de arena gruesa lavada, llamada también medio filtrante; lecho de grava en el fondo, que sirve para la protección del dren, y lecho de confitillo arriba, que tiene una función de distribución y estética, además evita la acumulación de agua en la superficie (ver Tabla 13).

**Tabla 13: Distribución de lecho filtrante en humedal**

Espesor de capas	Valor
Confitillo de dren	15 cm
Arena gruesa sin polvo	50 cm
Confitillo de protección superficial	10 cm
Borde libre	15 cm
Profundidad total	90 cm

- **Demanda de agua**

El agua pasa por el canal San José cada dos días, durante aproximadamente seis horas seguidas. Por su parte, el agua requerida para el riego es utilizada cada 3 días en un área total de 598.16 m<sup>2</sup>, habiéndose estimado un requerimiento hídrico de 39 m<sup>3</sup>/semana.

- **Pretratamiento**

El agua del canal ingresa al sistema de tratamiento a través de un by pass que tiene una rejilla de 20 mm. de abertura, la cual tiene la función de separar físicamente las partículas grandes contenidas en el agua, y que han sido arrastradas en su recorrido, y retenerlas para que no ingresen al tanque de sedimentación.

- **Tratamiento primario**

El tratamiento primario ocurre en un tanque de sedimentación previsto de dos cámaras. El tanque tiene un borde libre de 100 cm. que corresponde a la altura del canal y 250 cm. de profundidad efectiva (tirante de agua), lo que permite la retención de los sólidos más finos que entren en la unidad (Ver planos en el Anexo N° 2).

Esta unidad fue diseñada para garantizar un periodo de retención de 1.5 horas. Como se ha mencionado anteriormente, el agua pasa por el canal San José durante 6 horas seguidas

aproximadamente, por lo que se concluye que el tanque de sedimentación funciona en 4 periodos (de 1.5 horas) acumulando 5 m<sup>3</sup> en cada uno, teniendo, así como resultado un volumen de 20 m<sup>3</sup> de agua a tratar.

Para garantizar el funcionamiento, esta unidad tiene un volumen total de 6 m<sup>3</sup> distribuido en dos cámaras. Las dimensiones se presentan en la Tabla 14. Cada cámara tiene la mitad de las dimensiones presentadas.

**Tabla 14: Medidas del tanque de sedimentación**

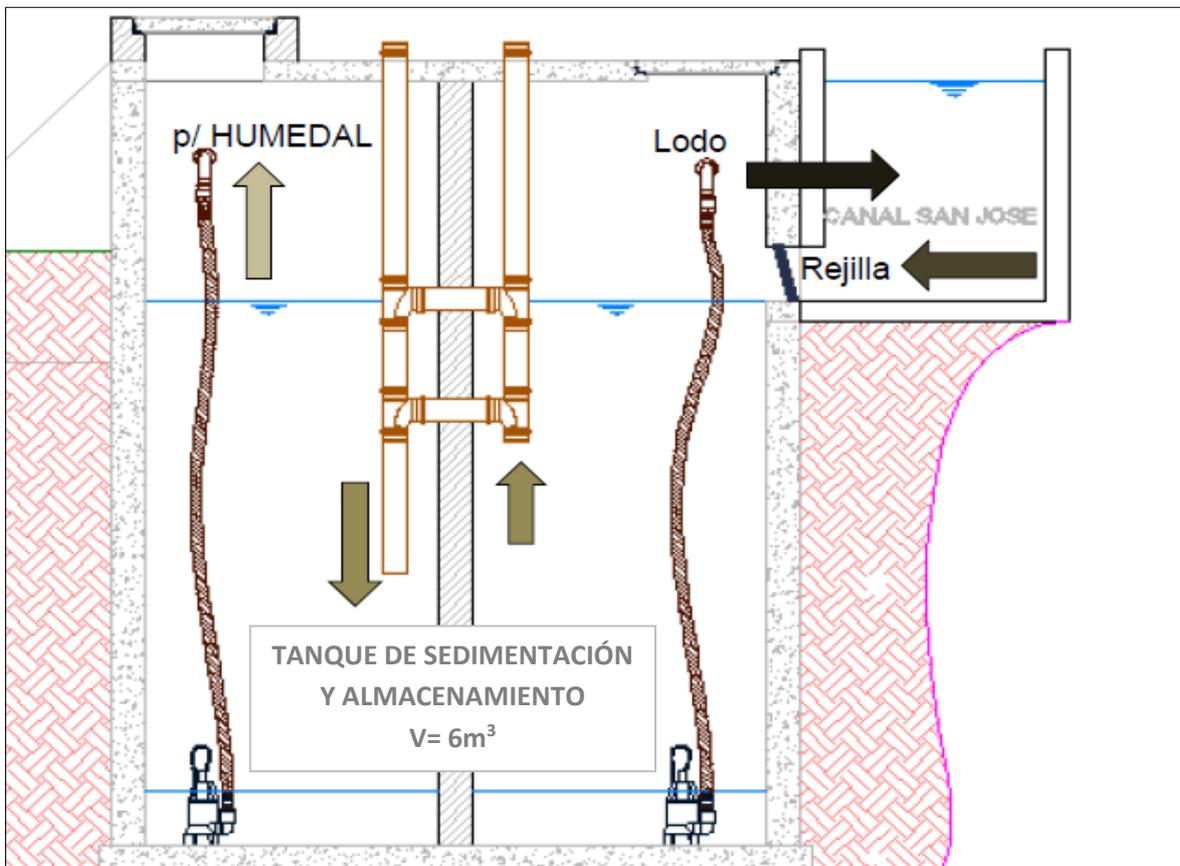
Característica	Dimensión
Cámaras	2 Und.
Ancho útil	100 cm
Largo útil	250 cm
Altura	250 cm
Volumen	6.00 m <sup>3</sup>
Área útil	2.50 m <sup>2</sup>

En la cámara 1 se encuentra instalada una bomba sumergible monofásica marca DAB modelo FEKA VX de 0.75 HP de potencia, que permite devolver los sólidos y el lodo que pasen por la rejilla; esta bomba se activa automática o manualmente. El pase del agua clarificada hacia la segunda cámara se realiza a través de tres tuberías distribuidas al ancho de la pared. Estas tuberías fueron instaladas para permitir el pase del agua clarificada de la primera cámara hacia la segunda, a una profundidad de 40 cm. (Ver planos en el Anexo N° 2).

El diseño de las tuberías, que permiten el pase del agua de una cámara a la otra, corresponde a un sistema de sifón, se da para evitar que se creen corrientes de agua que dejen pasar las grasas y sedimentos entre las cámaras. Sin embargo, para garantizar este funcionamiento es necesario la respiración de las tuberías y el control dentro de ellas, es por ello que las tuberías salen por encima del techo del tanque de sedimentación.

En la cámara 2 también se instaló una bomba sumergible monofásica marca DAB modelo FEKA VX de 0.75 HP que permite enviar por pulsos, el agua clarificada al humedal. Esta bomba está programada para activarse automáticamente según la programación establecida o puede activarse manualmente.

El esquema de las estructuras de pretratamiento y tratamiento primario se puede observar en la Figura 10



**Figura 10: Vista de corte del pretratamiento y tratamiento primario**

Ambas bombas se encuentran programadas y funcionan automáticamente en un ciclo de 48 horas haciendo 3 recargas al sistema, dos de 7,5 m<sup>3</sup> y la tercera de 4,5 m<sup>3</sup>, lo que permite llegar a los 19.5 m<sup>3</sup> requeridos.

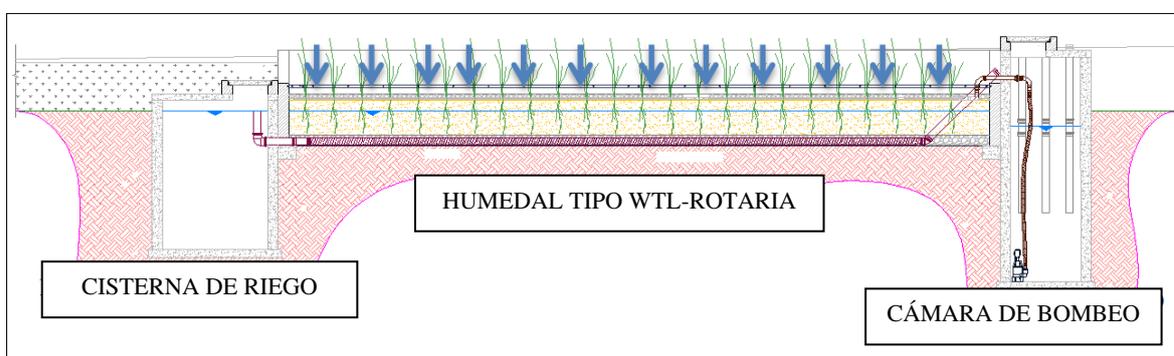
Los tiempos de funcionamiento de la automatización se explican en la Tabla 15. El ciclo comienza cuando el agua del canal que entra al tanque de sedimentación llega al nivel de trabajo en la cámara 2. El nivel de trabajo en la cámara 2 es el mismo que el nivel de agua en el largo efectivo de la cámara, es decir 250 cm. En cambio, en la cámara 1 el nivel de trabajo es menor que el nivel de agua, por el sistema de sifonamiento que se tiene en él, por lo tanto, el nivel de trabajo de esta unidad es de 200 cm. Las bombas se desactivan automáticamente según la programación dada o por seguridad en el nivel mínimo, a 25 cm del suelo.

**Tabla 15: Tiempos del ciclo de funcionamiento de la automatización del sistema**

Tiempo	Hora	Funcionamiento	Observación
1	0:00	Bomba 2 ON Cámara 2	Cámara llena, el agua llega al nivel de trabajo por primera vez. Inicia el ciclo.
2	0:15	Bomba 2 OFF	Cámara semivacía, agua en el nivel mínimo
3	3:45	Bomba 2 ON Cámara 2	Independiente del nivel del agua, la bomba 2 trabaja por segunda vez
4	4:00	Bomba 2 OFF	Cámara semivacía, agua en el nivel mínimo
5	24:00	Bomba 2 ON Cámara 2	Independiente del nivel del agua, la bomba 2 trabaja por tercera vez
6	24:15	Bomba 2 OFF	Cámara semivacía, agua en el nivel mínimo
7	25:00	Bomba 1 ON Cámara 1	El lodo acumulado del ciclo es regresado al canal.
8	25:06	Bomba 1 OFF	Cámara aun con agua pero sin lodo.
9	48:00	Cámara 2 Bomba 2 ON	Si el agua llega al nivel de trabajo el ciclo comienza nuevamente, antes no.

- **Humedal WTL-Rotaria.**

El tratamiento principal se da biológicamente en el humedal artificial. El agua clarificada en el tratamiento primario es distribuida uniformemente en la superficie del humedal, desde allí desciende por medio del filtro de arena y es colectada en la parte inferior del humedal para ser almacenada en la cisterna de riego, como se muestra en la Figura 11.



**Figura 11: Vista de corte del humedal artificial.**

La oxigenación del sistema debe ser asegurada, por esta razón la alimentación del agua en la superficie del humedal es intermitente. El agua pretratada es enviada al humedal en 3

pulsos que han sido programados según la necesidad hídrica del proyecto. El funcionamiento del sistema se diseñó automatizado, pero tiene la opción de ser operado manualmente.

El área del humedal es de 50 m<sup>2</sup> (5,0 m. x 10,0 m.). Tiene una profundidad total de 0,90 m., los primeros 50 cm del fondo están debajo del nivel del suelo nivelado y los 40 últimos cm quedan sobre la superficie.

En la Tabla 16 se presentan las dimensiones totales del humedal.

**Tabla 16: Dimensiones del humedal**

Característica	Dimensión
Ancho útil	500 cm
Largo útil	1000 cm
Altura	75 cm
Volumen	37.50 m <sup>3</sup>
Área útil	50.00 m <sup>3</sup>

El humedal de flujo vertical fue diseñado para ser parte del paisaje en forma de jardinera, además de aprovechar al máximo los espacios y tener la mayor área posible para árboles y plantas. El humedal está construido en concreto, de manera que una de sus paredes se convierte en muro de contención y permite nivelar el suelo del declive natural que hay en el lugar. Por otro lado, los otros tres muros que conforman el humedal tienen una altura efectiva de 40 cm. Está revestido con geomembrana (HDPE) de 1mm de espesor, para garantizar su impermeabilización y evitar la pérdida del agua tratada. La geomembrana está anclada alrededor de toda la pared interna del humedal con la ayuda de platinas de aluminio y tornillos de acero inoxidable.

El efluente pretratado es transportado hacia el humedal impulsado por una bomba sumergible de 0,75 HP a través de una tubería de 50 mm. de diámetro nominal. Esta tubería reparte el caudal en 4 líneas de tuberías, que están agrupadas en dos unidades, y a la entrada de cada unidad se tiene una válvula que permite dar el mantenimiento al humedal y/o permite descansar las unidades para la recuperación de la permeabilidad del material filtrante.

En la entrada de cada unidad se ha colocado una reducción de 50 a 38 mm. que permiten el enlace con los tubos extendidos a lo largo del humedal que realizan la distribución uniforme del agua a tratar en la superficie.

Los tubos están manualmente perforados cada 50 cm. por ambos lados (con agujeros de 8 mm.) diametralmente. En el extremo final, los tubos están cerrados con tapas removibles, las cuales no se encuentran pegadas para poder dar el mantenimiento adecuado. La distancia entre los tubos de distribución es de 1,25 m. al eje de tubería estando el primer y el último tubo colocados a 62.5 cm. del borde del humedal.

La Tabla 17 presenta el resumen de las conexiones para el humedal artificial de flujo vertical (WTL- ROTARIA), Así mismo el detalle se puede apreciar en los planos adjuntos en el Anexo N° 2.

**Tabla 17: Detalle de red de tuberías en el humedal**

Características	Valor
Tubería troncal	50 mm
Tubería de distribución	38 mm
Longitud de los tubos de distribución	960 cm
Separación entre tubos	125 cm
Diámetro de perforación	8 mm
Separación entre las perforaciones	50 cm
Par de perforaciones	19

- **Plantas para el humedal**

En el humedal se instaló el Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), que puede crecer hasta 1 metro de altura, y el Paragüita (*Cyperus albostriatus*) que puede crecer hasta 1,5 metros de altura. Ambos forman un eficaz sistema de raíces y son resistente en caso de fases sin agua e incluso en situaciones con altas concentraciones de sal y nutrientes. Además, su crecimiento puede ser mejor controlado que otras plantas.

- **Almacenamiento del agua tratada**

El agua que ha sido tratada en el humedal, es colectada en tuberías de drenaje al fondo del humedal. Esta agua es enviada para su almacenamiento a una cisterna, en donde se encuentra instalado el sistema de irrigación.

La capacidad de almacenamiento del agua tratada está diseñada para tres días, que es la frecuencia de irrigación del parque. Como se buscó ocupar el menor espacio posible del parque se tienen dos tipos de almacenamiento: el primero dentro del mismo humedal y el segundo en la cisterna donde está colocada la bomba para el riego; las dimensiones de esta última se muestran en la Tabla 18.

A la entrada de la cisterna, el tubo que viene del humedal se encuentra conectado con un codo que eleva unos 50 cm el nivel del agua dentro del humedal. Es importante mantener este nivel en la fase de arranque del sistema, para asegurar el crecimiento de las plantas y del biofilm.

El tirante de agua dentro del humedal es de 50 cm. Considerando que el área es de 50 m<sup>2</sup> y la porosidad del material filtrante de 30 %, se puede almacenar hasta unos 6 m<sup>3</sup> dentro del humedal.

Las dimensiones de la cisterna de almacenamiento están resumidas en la Tabla 18.

**Tabla 18: Dimensiones de la cisterna de almacenamiento**

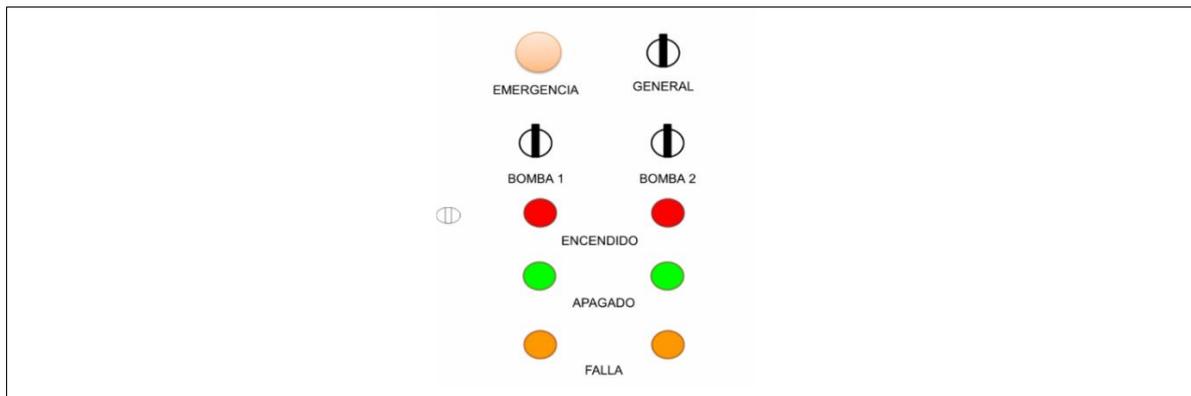
Característica	Dimensión
Ancho útil	200 cm.
Largo útil	150 cm.
Altura	200 cm.
Volumen	6.00 m <sup>3</sup>
Área útil	3.00 m <sup>3</sup>

- **Cámara de instalaciones eléctricas**

Las instalaciones eléctricas se encuentran ubicadas en una caseta subterránea, las dimensiones de esta unidad son de 1.00 m. de ancho x 1.50 m. de largo y una profundidad de 2 m.

Dentro de la caseta se ha instalado el panel de automatización o CLP, donde se realiza la programación de las bombas.

En la parte externa del tablero se encuentran localizadas la llave de emergencia, la llave general, las llaves selectoras de cada bomba y las luces indicadoras como se muestra en la Figura 12.



**Figura 12: Vista frontal del tablero de automatización.**

### **3.2. HIPÓTESIS**

Mediante el cumplimiento de los objetivos planteados se espera comprobar la siguiente hipótesis:

El humedal artificial de flujo subsuperficial y vertical es sostenible técnica, social, ambiental y económicamente; y su implementación brinda soluciones concretas a los problemas de escasez y calidad de agua para el riego de las áreas verdes del área recreativa denominada “Parque de los Niños” ubicada en el distrito de San Martín de Porres, departamento de Lima.

### **3.3. MATERIALES UTILIZADOS PARA LA EVALUACION DEL SISTEMA**

Los materiales utilizados en la evaluación del humedal artificial se describen a continuación:

#### **3.3.1. Monitoreo del sistema**

##### **a. Evaluación de parámetros de operación y funcionamiento**

Consistió en la evaluación del funcionamiento del sistema de tratamiento instalado para lo cual se utilizaron los siguientes materiales:

- Wincha
- Cronometro
- Guantes descartables

#### **b. Evaluación de parámetros de calidad de agua**

Consistió en la evaluación de parámetros físicos y químicos en la calidad de agua del afluente y efluente

- Equipo Multiparametro (pH, C.E.)
- Medidor de parámetros múltiples con entrada HQ40d
- LDO para medición de DBO
- Turbidímetro Portátil 2100Q
- Balanza
- Conos Imhoff
- Agua destilada
- Buffer BOD Nutrient
- Filtros 47 mm Ø
- Caldo m-FC
- Filtros membrana 0.45u
- Etiquetas
- Guantes descartables
- Botellas de muestreo - 1lt, 5lts
- Mascarillas

#### **3.3.2. Evaluación socioambiental y económica**

Consistió en la toma de datos y posterior procesamiento de resultados

- Útiles de escritorio (Lapiceros, hojas, etc.)
- Laptop
- Cámara fotográfica

### **3.4. METODOLOGÍA**

La metodología para la evaluación está referida a las actividades específicas y procesos realizados para obtener resultados cualitativos o cuantitativos que permitieron comparar y caracterizar las variables técnicas, económicas, sociales y ambientales del sistema.

Para realizar dicha evaluación, se consideraron las siguientes actividades:

- Compilación de información del sistema de tratamiento.
- Monitoreo periódico del sistema para observar el crecimiento de las especies vegetales, presencia de vectores, aniegos, atoros, etc.
- Toma de muestras de agua de ingreso y salida del sistema y análisis físico y biológico.
- Elaboración y toma de encuestas a usuarios del parque y pobladores aledaños
- Recopilación y organización de los datos obtenidos.
- Análisis de los resultados obtenidos.

En este sentido para la evaluación se establecieron las siguientes etapas:

#### **3.4.1. Puesta en marcha del sistema**

Durante esta etapa se realizaron las siguientes actividades:

##### **a. Funcionamiento del sistema.**

Se evaluó la eficiencia del sistema automatizado, mediante la observación del encendido y apagado de bombas en periodos de prueba.

##### **b. Variación de la densidad de plantas en el humedal con respecto al tiempo.**

Se observó la variación de la densidad de plantas en el humedal, medida respecto al tiempo. Se utilizaron gráficos de área (m<sup>2</sup>) vs tiempo (semana), y se calcularon porcentajes de cubrimiento vegetal respecto a la totalidad del área superficial del humedal; también se observó el crecimiento de la vegetación.

##### **c. Sensibilización a la población para la aceptación del proyecto.**

Previo a la puesta en marcha del sistema y a la realización de la presente investigación se realizaron actividades para capacitar y concientizar a los habitantes de la zona beneficiaria

sobre el funcionamiento del sistema instalado, de tal manera que pueda ser aceptado y valorado íntegramente.

### 3.4.2. Monitoreo del sistema

Se evaluaron los siguientes parámetros:

#### a. Parámetros de operación y funcionamiento.

Se evaluaron:

- **Tiempo de retención hidráulico del tanque de sedimentación:**

El tiempo de retención hidráulico es el tiempo que una unidad de fluido permanece en el tanque de sedimentación. Se define como el cociente entre volumen total y el caudal a tratar.

Este parámetro se midió con la siguiente fórmula:

$$T = \frac{\text{Vol}}{Q}$$

Dónde:

T: Tiempo de retención (h).

Vol: Volumen del tanque de sedimentación en m<sup>3</sup>

Q: Caudal de entrada del tanque de sedimentación (m<sup>3</sup>/h)

- **Carga orgánica aplicada en el humedal:**

Se halló la relación de la masa de contaminantes orgánicos por unidad de tiempo y superficie, utilizando la siguiente fórmula:

$$CS = \frac{Q \times \text{DBO}}{S}$$

Dónde:

CS: Nivel máximo permitido de carga orgánica en forma de DBO<sub>5</sub> (g/día/m<sup>2</sup>).

S: Área superficial en m<sup>2</sup>

DBO: Carga DBO<sub>5</sub> (mg/L)

Q: Caudal (L/día).

- **Carga hidráulica aplicada al humedal:**

Permitió hallar el volumen de agua tratada por unidad de superficie. Se define como el cociente entre el caudal de entrada y el área superficial del humedal (S)

$$CH = \frac{Q}{As}$$

Dónde:

Q: Caudal de circulación en el humedal (m<sup>3</sup>/s)

S: Área superficial del humedal (m<sup>2</sup>)

CH: Carga hidráulica aplicada (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>día o m/día).

**b. Parámetros de calidad de agua**

Para medir la eficiencia del humedal se analizaron muestras de agua en diferentes puntos del sistema, de tal manera que se hizo un contraste entre el afluente y el efluente.

Se estableció una metodología en base a lineamientos del Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales aprobado por la Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA.

- **Tipo de muestra de agua**

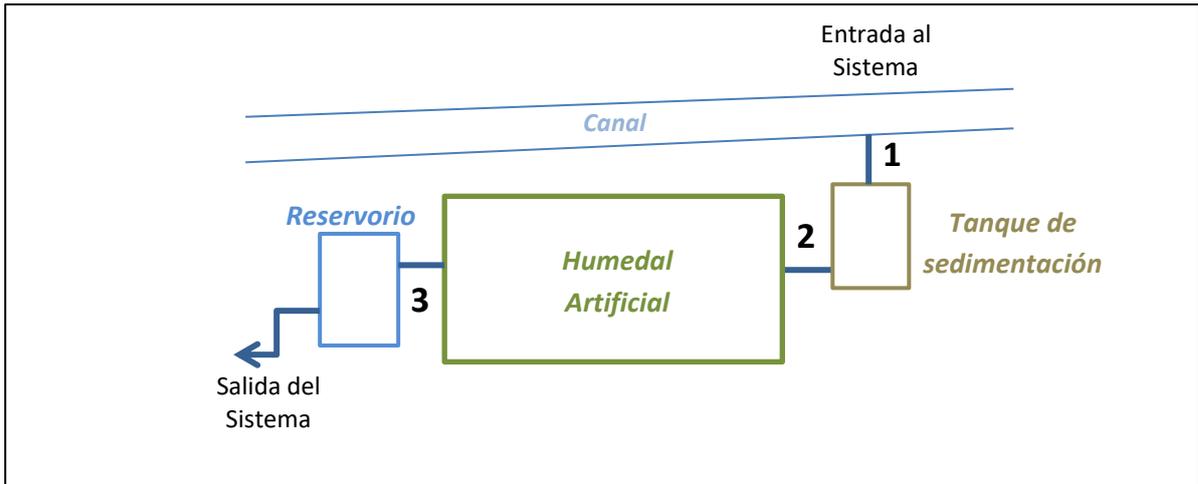
Se tomaron muestras simples (puntuales) del afluente y efluente para su análisis individual.

- **Ubicación de puntos de muestreo**

Se establecieron tres puntos principales de muestreo. Su ubicación se muestra en la Tabla 19 y Figura 13:

**Tabla 19: Ubicación de puntos de monitoreo**

<b>Punto de Muestreo</b>	<b>Numero</b>	<b>Codificación de la Muestra</b>
Toma o ingreso al sistema	1	EI - (N° de muestreo)
Salida del tanque de sedimentación	2	ES - (N° de muestreo)
Salida del humedal	3	EH - (N° de muestreo)



**Figura 13: Esquema de ubicación de puntos de muestreo.**

- **Selección de parámetros**

Se definieron parámetros para controlar la eficiencia del sistema y para cumplir con las directrices de la OMS para reúso del efluente:

- pH
- Conductividad eléctrica (C.E.)
- Turbidez
- Sólidos suspendidos y sedimentables.
- DBO<sub>5</sub> (Demanda bioquímica de oxígeno)
- Coliformes fecales
- Parásitos.

En la Tabla 20 se muestran los parámetros evaluados en los diferentes puntos de muestreo.

**Tabla 20: Parámetros por punto de muestreo**

Análisis de Laboratorio	Punto de Muestreo		
	1	2	3
pH y C.E	•	•	•
Turbidez	•	•	•
Demanda biológica de oxígeno (DBO)	•	•	•
Sólidos sedimentables y disueltos	•	•	•
Coliformes Fecales	•		•
Parásitos	•		•

Cabe resaltar que se planteó la evaluación de Coliformes Fecales y Parásitos solo al ingreso y salida del sistema (dos puntos de muestreo) debido a que el proceso físico que pueda darse en el tanque de sedimentación no ocasiona variaciones en los valores de estos parámetros.

- **Frecuencia y numero de muestreos**

El monitoreo se realizó en dos etapas. La primera etapa durante los meses de avenida del primer año de funcionamiento y la segunda etapa durante los meses de avenida del segundo año de funcionamiento.

La frecuencia de muestreos se estableció semanalmente haciendo 4 muestreos para cada etapa (haciendo un total de 8 muestreos), a excepción de los análisis de parásitos que se evaluaron quincenalmente solo en la segunda etapa haciendo un total de 4 muestreos de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 21.

**Tabla 21: Frecuencia de monitoreo**

<b>Parámetro</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Total de muestreos</b>
pH / CE	Cada 7 días (Semanal)	8
Turbidez	Cada 7 días (Semanal)	8
Sólidos Sedimentales y Disueltos	Cada 7 días (Semanal)	8
DBO	Cada 7 días (Semanal)	8
Coliformes Fecales	Cada 7 días (Semanal)	8
Parásitos	Cada 15 días (Quincenal)	4

- **Metodología de muestreo.**

Las muestras de agua fueron recogidas a un tercio del tirante de la superficie del canal, donde la turbulencia es mínima y el cuerpo presenta condiciones homogéneas y en contra de la corriente al flujo de agua, evitando alterar las condiciones reales.

Al tomar la muestra, se evitó agitar los sedimentos que se encuentran en el fondo del canal o recolectar residuos grandes o partículas acumuladas en el punto de muestreo. En todo momento se tomaron precauciones de seguridad.

Las muestras fueron recolectadas y preservadas teniendo en cuenta cada uno de los parámetros considerados, siguiendo las instrucciones de preservación y transporte de muestras establecido en la Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA.

- Envases, volumen de muestra y conservación:

Las muestras de agua fueron recogidas en frascos de plástico esterilizado.

Como se observa en la Tabla 22, los volúmenes de muestras variaron según el análisis realizado, al igual que el método de preservación.

- Medidas de seguridad:

Durante la toma de muestras y realización de ensayos se utilizaron guantes descartables y mascarillas desechables para salvaguardar la salud e integridad del operador.

**Tabla 22: Características de toma y conservación de muestras**

Análisis	Recipiente	Vol. Mínimo	Preservación
Sólidos Sedimentales y Disueltos	P	1000 ml	Refrigerar $\leq 10^{\circ}\text{C}$
DBO	P	500 ml	Refrigerar $\leq 10^{\circ}\text{C}$
Coliformes Fecales	P	500 ml	Refrigerar $< 10^{\circ}\text{C}$
Parásitos	P	5000 ml	Mantenerse $\leq 4^{\circ}\text{C}$
pH / CE	P	200 ml	In Situ y/o en Laboratorio
Turbidez	P	200 ml	In Situ y/o en Laboratorio

- **Metodología de análisis de laboratorio**

Los análisis se realizaron en el Laboratorio de Saneamiento y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería Agrícola en la Universidad Nacional Agraria la Molina, a excepción del análisis de parásitos el cual fue realizado en el laboratorio Marino Tabusso (microbiología) de la Universidad antes mencionada.

### **3.4.3. Evaluación de impactos sociales y ambientales**

El objetivo de esta etapa fue identificar y evaluar los impactos sociales y ambientales generados por la construcción y operación del sistema de tratamiento.

### **a. Evaluación de percepción social**

La evaluación de percepción social se realizó mediante la aplicación de encuestas a los residentes de las áreas aledañas al proyecto, es decir, dentro del área de influencia del mismo; el objetivo fue identificar la percepción de la población respecto al sistema instalado. Se aplicó una encuesta de respuesta cerrada y de fácil aplicación comprendiendo 4 áreas de análisis:

- Datos generales
- Percepción sobre contaminación
- Percepción sobre el parque recreacional
- Percepción sobre el humedal artificial

El modelo de encuesta y sus resultados se presentan en el Anexo N° 4: Evaluación Social.

### **b. Evaluación de impacto y respuesta social**

Se evaluó de forma descriptiva el impacto y la respuesta que genera la instalación y funcionamiento del sistema de tratamiento en los grupos de interés y el entorno. Esto se realizó mediante la identificación de los principales actores y los procesos involucrados

- Gestión municipal y comunal.
- Procesos sociales para la adopción de la tecnología y participación ciudadana.
- Cambios en el entorno social.

### **c. Evaluación de impactos ambientales**

Para la identificación de impactos se desarrolló la metodología cualitativa basada en Vicente Conesa (1997) ampliamente desarrollada en el Perú e internacionalmente, debido a su versatilidad para adaptarse a diversos proyectos y en diversos medios, dicha metodología tiene su raíz en la matriz de Leopold (1971) desarrollada por el Servicio Geológico de EE.UU. (U.S. Geological Survey).

Para la identificación de impactos se utilizaron métodos matriciales de doble entrada de tipo Actividad-Factor, cruzando información entre “Actividades del proyecto susceptibles de producir impactos” y “factores del ambiente susceptibles a recibir impactos”

Para conocer la importancia del impacto identificado, se caracterizaron cuantitativamente los impactos en base a 9 criterios; el resultado fue la importancia del impacto o índice de incidencia, que es la severidad y forma de la alteración del factor afectado (Conesa, 1997). Los criterios utilizados se muestran en la Tabla 23.

Obtenido el valor de la importancia del impacto, se elaboró la matriz que permitió medir la intensidad o grado de incidencia de la alteración producida. En este sentido, se establecieron grados nominales para cada uno de los impactos y se clasificaron como se muestra en la Tabla 24, dónde:

- **Impacto ligero a muy bueno:** precisa un incremento en la calidad ambiental del factor.
- **Impacto compatible:** no precisa la aplicación de medidas correctoras, habrá recuperación inmediata.
- **Impacto moderado:** la recuperación requiere cierto tiempo, es aconsejable la aplicación de medidas correctoras.
- **Impacto severo:** la magnitud del impacto exige, para su recuperación, la introducción de medidas correctoras.
- **Impacto crítico:** la magnitud del impacto es superior al umbral aceptable. Se produce una pérdida permanente de la calidad de las condiciones ambientales, sin la posible recuperación de dichas condiciones. Es poco factible la introducción de medidas correctoras.

Como la importancia de un factor ambiental está en relación al entorno y a los otros factores ambientales, fue necesario utilizar un mecanismo el cual englobe en conjunto a todos ellos. Por lo cual, se ponderó el factor ambiental en relación al valor total del entorno; la ponderación del factor ambiental se expresó en unidades de importancia ponderada (UIP) y el valor que representa es la distribución relativa de mil unidades asignadas al total del entorno (Tabla 25).

**Tabla 23: Atributos y valores a considerar para la determinación de la importancia del impacto**

NATURALEZA (NA)		INTENSIDAD (IN)	
		Baja	1
Impacto beneficioso	+	Media	2
		Alta	4
Impacto perjudicial	-	Muy alta	8
		Total	12
EXTENSIÓN (EX)		MOMENTO (MO)	
Puntual	1	Largo plazo	1
Parcial	2	Medio plazo	2
Extenso	4	Inmediato	4
Total	8	Crítico	+4*
Crítica	+4*		
PERSISTENCIA (PE)		REVERSIBILIDAD (RV)	
Fugaz	1	Corto plazo	1
Temporal	2	Medio plazo	2
Permanente	4	Irreversible	4
SINERGIA (SI)		ACUMULACIÓN (AC)	
Sin sinergismo (simple)	1	Simple	1
Sinérgico	2	Acumulativo	4
Muy sinérgico	4		
EFECTO (EF)		PERIODICIDAD (PR)	
Indirecto (secundario)	1	Irregular o aperiódico y discontinuo	1
Directo	4	Periódico	2
		Continuo	4
RECUPERABILIDAD (MC)		IMPORTANCIA (I)	
Recuperable de manera inmediata	1	$I=NA(3IN+2EX+MO+PE+RV+SI+AC+EF+PR+MC)$	
Recuperable a medio plazo	2		
Mitigable	4		
Irrecuperable	8		

Fuente: Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental (Conesa V. 1997).

**Tabla 24: Clasificación de impactos según su valor obtenido**

Significancia del impacto	Valor
Muy Bueno	$75 < \text{Importancia}$
Bueno	$50 < \text{Importancia} \leq 75$
Moderado	$25 < \text{Importancia} \leq 50$
Ligero	$\text{Importancia} \leq 25$
Irrelevante y/o leve	$-25 \leq \text{Importancia}$
Moderado	$-50 \leq \text{Importancia} < -25$
Severo	$-75 \leq \text{Importancia} < -50$
Crítico	$\text{Importancia} < -75$

**Tabla 25: Valor de importancia a asignar del factor ambiental**

Importancia del factor ambiental	Valor
Muy alta	5
Alta	4
Moderada o media	3
Baja	5
Muy baja	1

Así mismo, se tuvo en cuenta la probabilidad de ocurrencia del impacto, por lo que se calificó el grado de certeza de que el impacto pueda generarse, estableciendo los siguientes rangos de probabilidad:

- **Cierto:** referido a la certeza absoluta de ocurrencia del impacto, al cual se le da una calificación de 1.0.
- **Muy probable:** pese a que no hay una certeza absoluta de que se presente el impacto, existe un alto riesgo de ocurrencia, cuyo valor de calificación es 0.9.
- **Probable:** Existe el riesgo de que se genere el impacto, con una calificación de 0.7.
- **Poco probable:** El riesgo de que se presente el impacto es mínimo, con calificación 0.5.

#### 3.4.4. Evaluación económica y financiera

##### a. Flujo de caja de la inversión:

La valoración económica total del humedal se obtuvo mediante el análisis de los costos de inversión y el valor económico obtenido de los beneficios del humedal. El flujo de caja de la inversión nos permitió proyectar los beneficio y costos del proyecto para un periodo de evaluación de 10 años.

Los costos de inversión fueron cuantificados en base a sus precios de mercado y estuvieron constituidos por:

- **Costos de construcción:** Hace referencia a la utilización de recursos humanos, materiales y equipos para ejecutar la construcción del proyecto (tanto en infraestructura civil como equipamiento electromecánico). Este costo fue analizado mediante la elaboración del presupuesto de obra donde se incluye el precio de mercado de todos los insumos, maquinaria y equipos, así como los costos de mano de obra y otros insumos como costos generales.
- **Costos de operación:** Hace referencia a la utilización de los recursos humanos para el manejo eléctrico del sistema. Fue analizado mediante la estimación de costos de mano de obra mensual para la operación de parques y áreas recreativas, ya sea en riego u otras actividades relacionadas.
- **Costos de mantenimiento:** Hace referencia a la utilización de los recursos humanos, materiales y equipos para mantener la eficiencia del sistema. Fue analizado mediante la asignación de un porcentaje de la inversión inicial el cual se proyecta utilizar cada 5 años para el mantenimiento del sistema.
- **Costos de servicios para funcionamiento:** Hace referencia a los costos de servicios básicos que complementan el funcionamiento del sistema de tratamiento. Este costo se estimó mediante el análisis de las tarifas de servicios eléctricos por el consumo durante el funcionamiento del sistema de tratamiento.

Para la valoración de beneficios se utilizó la siguiente metodología:

- **Beneficio de uso directo:** El beneficio económico de mercado, se obtiene del consumo de agua tratada para riego. Este beneficio se estimó mediante la metodología de costos evitados o costos sustitutos, dado que el agua utilizada para el riego de las áreas verdes puede valorizarse a través de los costos que supondrían comprar el recurso a los abastecedores como camiones cisterna o redes públicas.

Con este objetivo se calcularon los beneficios económicos en ambos escenarios.

- Beneficios por costos sustitutos de pago al suministro publico
- Beneficios por costos sustitutos de compra a proveedores (Camiones Cisterna)

### **b. Valor Actual Neto (VAN):**

Este cálculo proyecta el valor de un número de flujos de caja futuros, asignando una tasa de interés y descontando la inversión inicial. Obteniendo así el análisis comparativo que permite decidir entre realizar el proyecto y una segunda alternativa la cual puede ser la inversión del monto bajo una determinada tasa de interés ofrecida.

La fórmula a utilizar es la siguiente:

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Qn}{(1+r)^n}$$

Dónde:

I: Inversión inicial

N: Tiempo considerado (años)

Qn: Flujos de caja.

r: Tasa de interés (renta fija)

La interpretación de los valores que puede tomar el Valor Actual Neto se resume en:

- VAN > 0, La inversión produce ganancias por encima de la rentabilidad (r)
- VAN < 0, La inversión produce pérdidas por debajo de la rentabilidad (r)
- VAN = 0, La inversión no produce ganancias ni pérdidas.

### **c. Tasa Interna de Retorno (TIR)**

La Tasa Interna de Retorno es la rentabilidad que brinda el proyecto. Se calcula teniendo en consideración que la Tasa Interna de Retorno es la tasa de interés (renta fija) que permite que el Valor Actual Neto de la inversión sea igual a cero (VAN = 0)

Este indicador financiero considera que la inversión es rentable si la Tasa Interna de Retorno es igual o superior a la tasa de interés (renta fija) ofrecida por el mercado.

Entre varios escenarios a analizar, la inversión más conveniente será aquella que tenga una mayor Tasa Interna de Retorno.

## **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

### **4.1. PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA**

#### **4.1.1. Programación de funcionamiento del sistema.**

Durante las pruebas de funcionamiento del humedal se probaron las bombas de agua y lodo instaladas. Así mismo, se realizaron las pruebas hidráulicas de las tuberías, humedal y sistemas de riego. Obteniéndose los siguientes resultados:

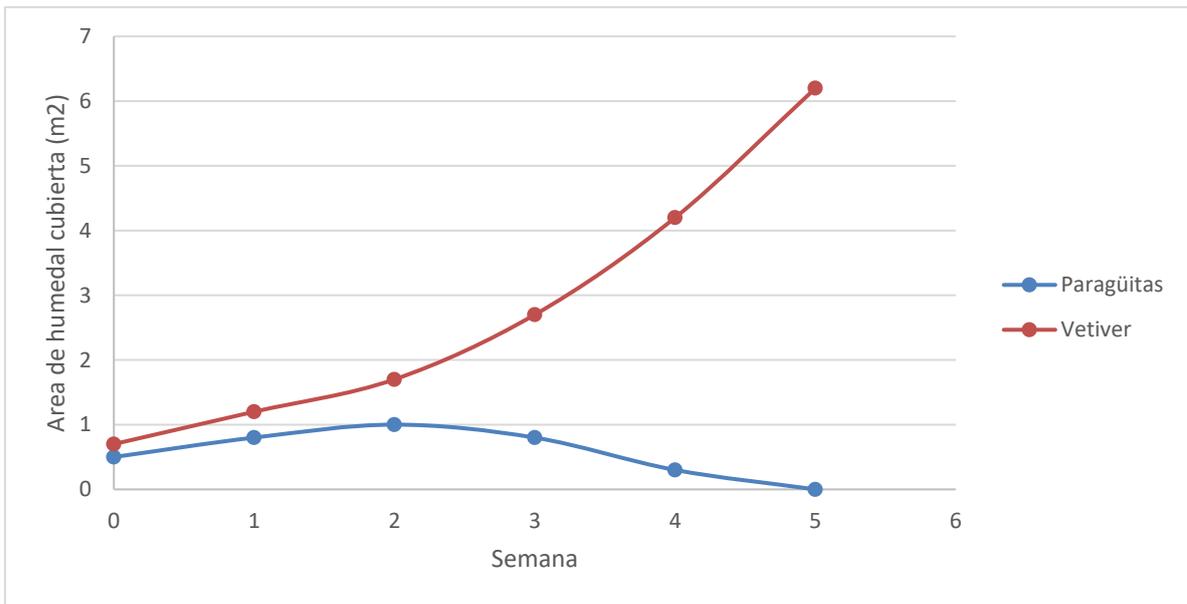
Las bombas funcionaron correctamente de acuerdo a lo programado. Sin embargo, se presentó el problema de irregularidad de presencia de agua en el canal durante todo el ciclo de trabajo, lo cual ocasionó que el sistema automático presente fallas.

Se identificó que el caudal de agua no era constante en el canal San José, la compuerta que permite el paso de agua se abre de 4 a 6 veces por semana durante la época de avenida, por un tiempo de 6 horas constantes, mientras que en épocas de sequía se abre solo 2 a 3 veces por semana por un tiempo promedio de 4 horas.

Para solucionar este problema se pidió la participación de los usuarios vecinos al parque, los cuales fueron oportunamente capacitados para el manejo manual del sistema, manipulando el tablero de control. Esta medida no perjudicó el funcionamiento del sistema y ha sido eficiente dadas las condiciones de irregularidad de caudales.

#### **4.1.2. Variación de la densidad de plantas en el humedal con respecto al tiempo.**

En una primera etapa, se sembraron dos especies de plantas: Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y Paragüitas (*Cyperus alternifolius*), sin embargo, durante el periodo de puesta en marcha (agosto y setiembre) se observó un desequilibrio en el crecimiento de ambas especies, notándose que el Paragüitas no crecía adecuadamente, tal como se muestra en la Figura 14:



**Figura 14: Comportamiento de la vegetación respecto al tiempo**

Después de las primeras 5 semanas se realizó el cambio, retirándose el Paragüitas, y colocándose vetiver en la totalidad del humedal, esto dio resultados favorables y se mejoró la relación de área de vegetación vs tiempo. Posteriormente se llegó a la totalidad de cubrimiento vegetal en 14 semanas, observándose que algunas especies de Paragüitas restantes lograron el desarrollo vegetativo adecuado. Finalmente, a las 20 semanas se realizó la primera poda.



**Figura 15: Recubrimiento vegetal (4ta semana), se observa el crecimiento del Vetiver y el Paragüitas no desarrollado.**



**Figura 16: Recubrimiento vegetal (Semana 18), se observa el Vetiver en primera línea y Paraguaitas desarrollados en segunda línea.**



**Figura 17: Imágenes posteriores a la primera poda (Semana 20), se observa la predominancia de Vetiver.**

#### **4.1.3. Sensibilización a la población para la aceptación del proyecto.**

Antes de la puesta en marcha del sistema se realizaron diversas actividades para incentivar la participación de los grupos de interés (comunidad, municipalidad, junta de regantes, etc.) en el proyecto, así como para proporcionar conocimiento sobre el funcionamiento e importancia de la tecnología instalada. Las actividades fueron las siguientes:

- Reuniones entre el proyectista (Proyecto LiWa) y la junta directiva de La Florida II Etapa, para el establecimiento de comunicación eficiente entre los diversos grupos de interés y coordinaciones sobre operación y mantenimiento del parque y el sistema de tratamiento
- Reuniones entre el proyectista (Proyecto LiWa) y representantes de la Municipalidad Distrital de San Martín de Porres, para el establecimiento de compromisos de trabajo conjunto en la construcción, operación y mantenimiento del parque y el sistema de tratamiento.
- Reuniones entre el proyectista (Proyecto LiWa), junta directiva de La Florida II Etapa y la Junta de Regantes de Chuquitanta, para el establecimiento de tarifa de agua para el funcionamiento del sistema de tratamiento y posterior riego de áreas verdes.
- Taller de participación ciudadana con presencia del proyectista (Proyecto LiWa), junta directiva y la comunidad de La Florida II Etapa, para el reconocimiento físico y concientización sobre la importancia y valoración del proyecto, así como para brindar información sobre el funcionamiento del sistema de tratamiento; e impartir medidas de prevención y cuidado del proyecto y absolución de consultas de la comunidad.
- Capacitación del proyectista (Proyecto LiWa) a personal seleccionado de la junta directiva y comunidad de La Florida II Etapa, para brindar información técnica sobre la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento y sistema de riego. Así mismo, hacer entrega del manual de operaciones.



**Figura 18: Talleres participativos con la comunidad de La Florida II Etapa (LiWa, 2014).**



**Figura 19: Imágenes de capacitaciones realizadas a los directivos y personal responsable de la operación (LiWa, 2014).**

## **4.2. MONITOREO DEL SISTEMA**

Se muestran a continuación los resultados de evaluación de los parámetros técnicos y operacionales:-

### **4.2.1. Evaluación de parámetros operacionales del sistema**

Los resultados obtenidos para los parámetros operacionales se resumen en la Tabla 26.

**Tabla 26: Resumen de resultados promedios de parámetros operacionales.**

Parámetro Operacional	Unidades	Resultado
• Tiempo de retención hidráulica del tanque de sedimentación		
Época de avenida	horas	1.85
Época de sequía	horas	1.23
• Cargas orgánicas aplicadas al humedal		
Máximo	g/d/m <sup>2</sup>	5.580
Mínimo	g/d/m <sup>2</sup>	0.508
• Cargas hidráulicas aplicadas al humedal		
En funcionamiento automático	mm/día	390
En funcionamiento manual	mm/día	120

#### **a. Tiempo de retención mínimo del tanque de sedimentación:**

Las características operacionales del tanque de sedimentación se definieron por la eficiencia en la remoción de sólidos y el tiempo de retención necesario para su adecuado funcionamiento. Cabe resaltar que el diseño original del tanque de sedimentación se realizó

para un tiempo de retención hidráulica de 1.5 horas y con funcionamiento automático, considerando un caudal de ingreso permanente. Debido a la oferta de agua irregular el sistema pasó a operarse de forma manual.

Durante la época de avenida, el flujo de agua por el canal fue de 6 horas continuas en promedio, produciendo un volumen de agua tratada de 19.5 m<sup>3</sup> (mínimo requerido según el diseño del sistema de riego); generando un caudal promedio necesario de:

$$Q = \frac{19.5}{6}$$

$$Q = 3.25 \text{ m}^3/\text{h}$$

y un tiempo de retención de:

$$T = \frac{\text{Vol. de sedimentador}}{\text{Caudal (Q)}} = \frac{6}{3.25}$$

$$T = 1.85 \text{ horas}$$

Durante la época de sequía el flujo de agua solo fue de 4 horas, por lo cual el caudal cambio a:

$$Q = \frac{19.5}{4}$$

$$Q = 4.88 \text{ m}^3/\text{h}$$

con un tiempo de retención de:

$$T = \frac{\text{Vol. de sedimentador}}{\text{Caudal (Q)}} = \frac{6}{4.88}$$

$$T = 1.23 \text{ horas}$$

El periodo de retención en época de avenida se encuentra en el rango recomendado en la Norma S.090 para el diseño de sedimentadores (1.5 a 2.5 horas); sin embargo, en época de sequía es ligeramente menor.

### **b. Cargas orgánicas aplicadas en el humedal:**

En base a los resultados del monitoreo del agua residual, se obtuvo el reporte de 8 mediciones de DBO en el agua del canal, como se verá más adelante, se presentó una alta variabilidad en estos resultados, por lo cual se calculó la carga orgánica máxima, mínima y promedio. Los resultados se muestran en la Tabla 27 (ver datos completos en Anexo N° 3).

**Tabla 27: Resultados máximo, mínimo y promedio de carga orgánica aplicada al humedal.**

Resultado	DBO aplicado al humedal (g/m <sup>3</sup> )	CS (g/m <sup>2</sup> /día)
Máximo	13.96	5.58
Mínimo	1.27	0.50
Promedio	5.07	2.03

Según la revisión de literatura, se establece un límite de 30 a 35 g/d/m<sup>2</sup> como carga orgánica aplicada a humedales de flujo vertical (Hoffmann et ál., 2011), en este sentido se puede observar que los valores obtenidos se encuentran muy por debajo de los límites establecidos dentro de los estándares de diseño recomendados y por lo tanto el humedal está en capacidad de soportar mayor carga.

### **c. Cargas hidráulicas aplicadas:**

De acuerdo a la variabilidad de operación de la PTAR, se obtuvieron dos cargas hidráulicas, una para operación manual y otra para la operación automática. En la Tabla 28 se observan estos resultados.

**Tabla 28: Resultados máximo y mínimo de carga hidráulica aplicada al humedal.**

Resultado	Volumen aplicado al humedal (m <sup>3</sup> /día)	CH (mm/día)
Máximo	19.50	390.00
Mínimo	6.00	120.00

Según las recomendaciones de diseño, los humedales verticales presentan un eficiente funcionamiento con cargas hidráulicas de hasta 200 mm/día y carga hidráulica de corto plazo de hasta 500 mm/d (Hoffmann et al, 2011), de acuerdo a los resultados obtenidos puede determinarse que los valores se encuentran dentro de las recomendaciones de diseño para un adecuado funcionamiento.

#### **4.2.2. Evaluación de parámetros de calidad de agua**

Los resultados promedio obtenidos para los parámetros de calidad de agua se resumen en la Tabla 29. Los resultados completos se muestran en el Anexo N° 3.

Como se puede apreciar en los resultados, el efluente cumple con los LMP y los estándares establecidos por la OMS.

**Tabla 29: Resultados promedio de parámetros de calidad de agua.**

Parámetro de calidad de agua	Unidad	Resultados obtenidos			Estándares de calidad establecidos		% de eficiencia promedio
		Entrada al sistema	Entrada al humedal	Salida del humedal	LMP*	Guías de la OMS**	
• Potencial de hidrogeno (pH)	-	7.69	7.56	7.54	6.5 – 8.5	-	-
• Conductividad Eléctrica (C.E.).	uS/cm	656.25	701.50	961.75	-	-	-
• Turbiedad	NTU	433.76	170.41	1.73	-	-	100%
• Sólidos Suspendidos	mg/L	3800	787.5	68.75	<150	-	98%
• Sólidos Sedimentables	ml/l	0.99	0.13	< 0.01	-	-	99%
• Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	9.68	5.07	2.08	<100	-	79%
• Coliformes Fecales	NMP/100ml	3807.07		495.06	< 10000	≤ 1000	87%
• Parásitos	N°/L	116.25		0	-	< 1	100%

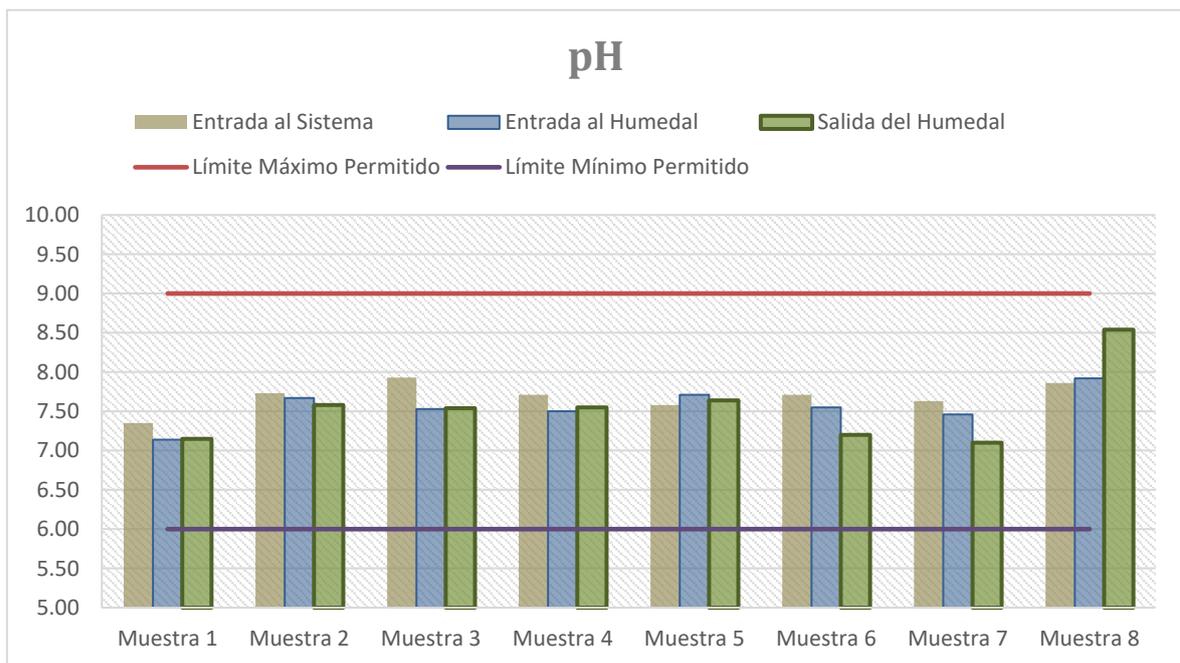
\*Límites máximos permisibles para vertimiento a la salida de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas

\*\* Guías de la Organización Mundial de la Salud para reúso de agua residual tratada

“-” Parámetro no contemplado en los estándares

### a. Resultados de Potencial de Hidrogeno (pH)

Respecto al pH se observa que el resultado tiende hacia la neutralidad lo cual favorece a la reutilización en riego de áreas verdes. El total de valores se encuentran dentro del rango establecido por los Límites Máximos Permisibles (Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM) a excepción del muestreo 8 en el cual podemos notar que el pH se incrementa notablemente, excediendo por 0.04 el límite máximo establecido, aumentando su alcalinidad durante el proceso de tratamiento.



**Figura 20: Resultados de potencial de hidrogeno (pH)**

Gomes Y. (2017), ha determinado una relación entre el pH con la vegetación utilizada, en ella se menciona que la Paragüitas tiene resistencia a pH neutros que van desde 6.5 a 8.5, mientras que el Vetiver puede resistir mayor alcalinidad con un pH de hasta 9.6; por lo que podemos afirmar que los resultados mostrados no afectarían el desempeño del humedal. Así mismo, establece que la reducción del pH está relacionada con la degradación de la materia orgánica, por lo que el ultimo muestreo rompiendo la tendencia a la reducción de pH puede ser resultado de una ausencia de oxigenación o saturación de los vacíos en el lecho filtrante, lo cual estaría afectando la capacidad de oxidación de la materia orgánica.

## b. Resultados de Conductividad Eléctrica

No hay un rango establecido en los Límites Máximos Permisibles para la Conductividad Eléctrica que permitan una comparación, sin embargo, claramente se puede notar que durante el proceso de tratamiento la conductividad aumenta, esto es debido al lavado del material filtrante que se produce durante el recorrido del efluente, arrastrando en dicho recorrido las sales y minerales que exudan las raíces de las plantas (Gomes Y. 2017).

Al igual que en la evaluación de pH, la conductividad sufre una variación de su tendencia en el muestreo 8, donde, en contraste con los demás muestreos, se reduce ligeramente reduciendo su contenido de minerales durante el proceso de tratamiento, esto puede ser consecuencia de igual manera a la saturación del material filtrante la cual disminuye la movilidad del agua en el estrato.

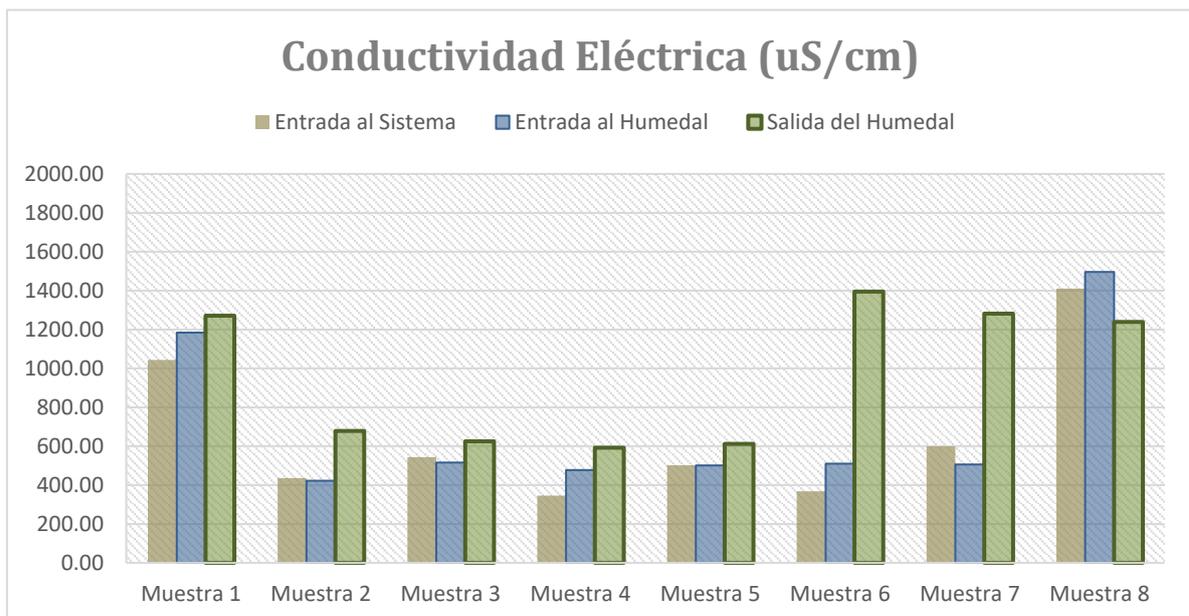


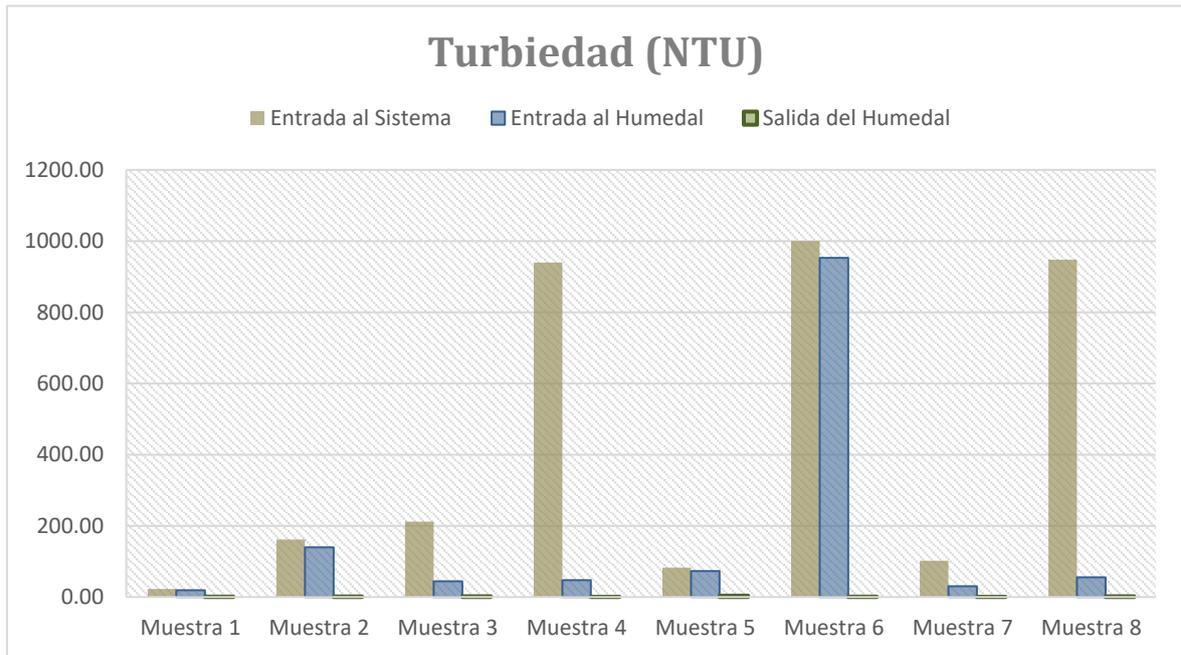
Figura 21: Resultados de conductividad eléctrica (C.E.)

## c. Resultados de Turbiedad

Los valores de ingreso al sistema son bastante variables, obteniéndose valores que van desde 23 NTU hasta 1000 NTU, esto se justifica debido a que la turbiedad es un parámetro que depende de los sólidos que contenga el afluente, así como otros agentes contaminantes que puedan afectar directamente al agua, variando su color y/o su contenido de sólidos.

Tras el paso del afluente por el sistema de tratamiento se produce la clarificación del agua gracias a los procesos de sedimentación y filtración, obteniéndose valores menores a 5 NTU. Es decir, que el sistema reduce la turbiedad en un porcentaje mayor al 95%.

Finalmente se puede resaltar que dentro de la norma de Límites Máximos Permisibles este parámetro no está normado, sin embargo, esto no resta importancia a la eficiencia del sistema de tratamiento para la reducción de la turbiedad.



**Figura 22: Resultados de turbiedad**

#### **d. Resultados de Sólidos Suspendidos**

Las cantidades de sólidos suspendidos medidos en miligramos por litro de agua que ingresan al sistema son variables, con valores que fluctúan entre 500 mg/l a 15600 mg/l, y su disminución después del paso del afluente por el tanque de sedimentación arroja valores entre 100 mg/l a 3000 mg/l, demostrando que el tanque de sedimentación reduce del 66% al 94% de los sólidos suspendidos presentes en el agua a excepción de la muestra 1 donde se obtiene una disminución de tan solo el 10%.

Continuando con el análisis de los resultados, podemos notar que tras el paso del afluente por el humedal se produce una disminución considerable de los sólidos suspendidos, obteniéndose valores despreciables menores a 100 mg/l a excepción de la muestra 1 donde se obtienen 200 mg/l. mostrando eficiencias de remoción superiores al 88%, validando así

los resultados esperados según autores como Kadlec & Wallace (2009) que estiman eficiencias superiores a 85%.

Finalmente, la eficiencia del sistema en conjunto (rejilla, tanque de sedimentación y humedal) varían entre el 90% al 99%.

La normativa vigente, establece como Límite Máximo Permissible el valor de 150 mg/l, esto significa que el sistema de tratamiento reduce los sólidos suspendidos hasta encontrarse por debajo del límite permitido (Ver Figura 23).

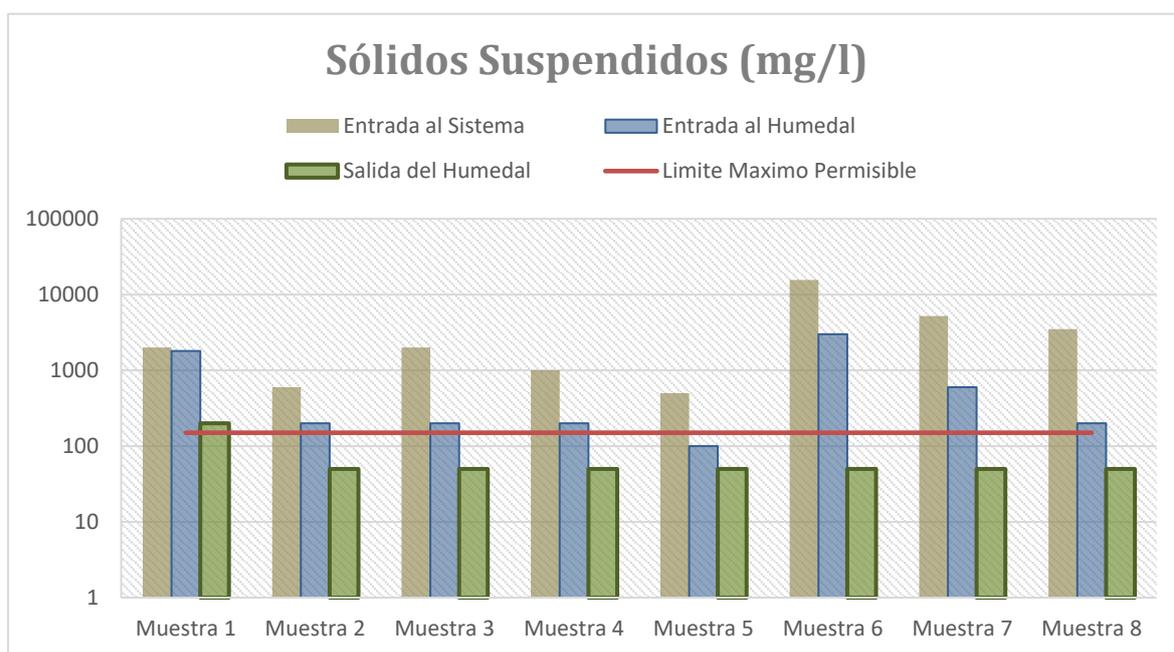


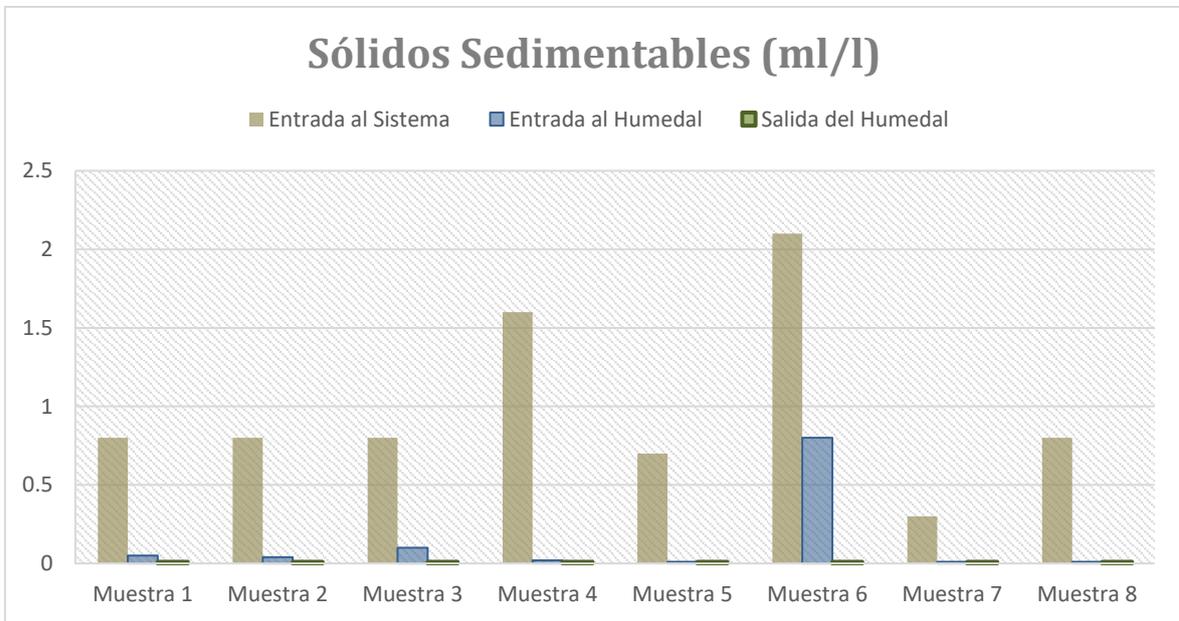
Figura 23: Sólidos suspendidos

#### e. Resultados de Sólidos Sedimentables

En la evaluación del parámetro de Sólidos Sedimentables podemos notar que los valores de ingreso varían de 0.3 ml/l a 2.1 ml/l y tras el paso por el tanque de sedimentación se obtienen valores entre 0.01 ml/l a 0.8 ml/l, demostrando que el tanque de sedimentación reduce aproximadamente entre el 88% y el 99% de los sólidos sedimentables presentes en el agua a excepción de la muestra 6 donde se obtiene una disminución de tan solo el 66%.

Por otro lado, puede notarse también que, tras el paso del afluente por el humedal, se produce la eliminación casi total de los sólidos sedimentables, obteniéndose en su totalidad valores despreciables menores a 0.1 ml/l.

Actualmente no existe una normativa que establezca un límite para este parámetro. Sin embargo, la eficiencia del sistema en conjunto (rejilla, tanque de sedimentación y humedal) se demuestra con el análisis de los resultados finales, obteniéndose eficiencias en las reducciones de sólidos sedimentables que varían entre el 97% al 100%.



**Figura 24: Sólidos sedimentables**

#### **f. Resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)**

Como podemos observar, los valores de entrada de la Demanda Bioquímica de Oxígeno varían de 2.68 mg/l a 15.37 mg/l, la reducción de los valores del parámetro en mención después del paso del afluente por el tanque de sedimentación varían de un 9% a un 70% obteniéndose valores que van de 1.27 mg/l a 13.96 mg/l.

Por su parte, el humedal, presenta eficiencias que van desde 9% a 86% obteniéndose valores que fluctúan entre 0.45 mg/l y 4.67 mg/l en el efluente. Esta variabilidad en las eficiencias de reducción del DBO<sub>5</sub> concuerdan con lo estipulado por Lara J. (1999), el cual, basado en casos dados en Norteamérica y Europa, afirma que los humedales respaldan su eficiencia en la reducción de DBO con la obtención de valores menores a 20 mg/l en todos los casos sin importar la concentración del afluente y que la concentración de salida no puede establecerse con un porcentaje fijo debido a que siempre existirá DBO residual que es producto de la descomposición de materia orgánica natural y restos de plantas que pertenecen al propio

humedal por lo que afirma que no se puede lograr valores de cero DBO independientemente de sus tiempos de retención hidráulica.

Cabe resaltar que después del tratamiento, el valor de Demanda Bioquímica de Oxígeno en el efluente se encuentra dentro de los Límites Máximos Permisibles (D.S. N° 003-2010-MINAM) el cual es de 100 mg/l.

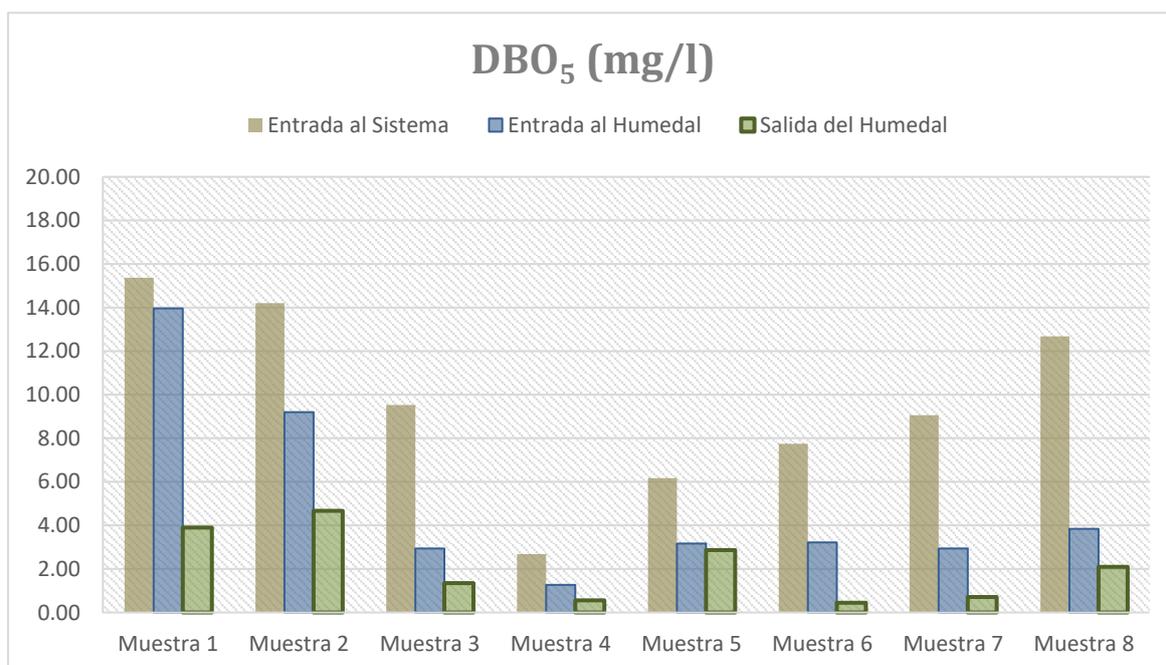


Figura 25: Demanda biológica de oxígeno (DBO5)

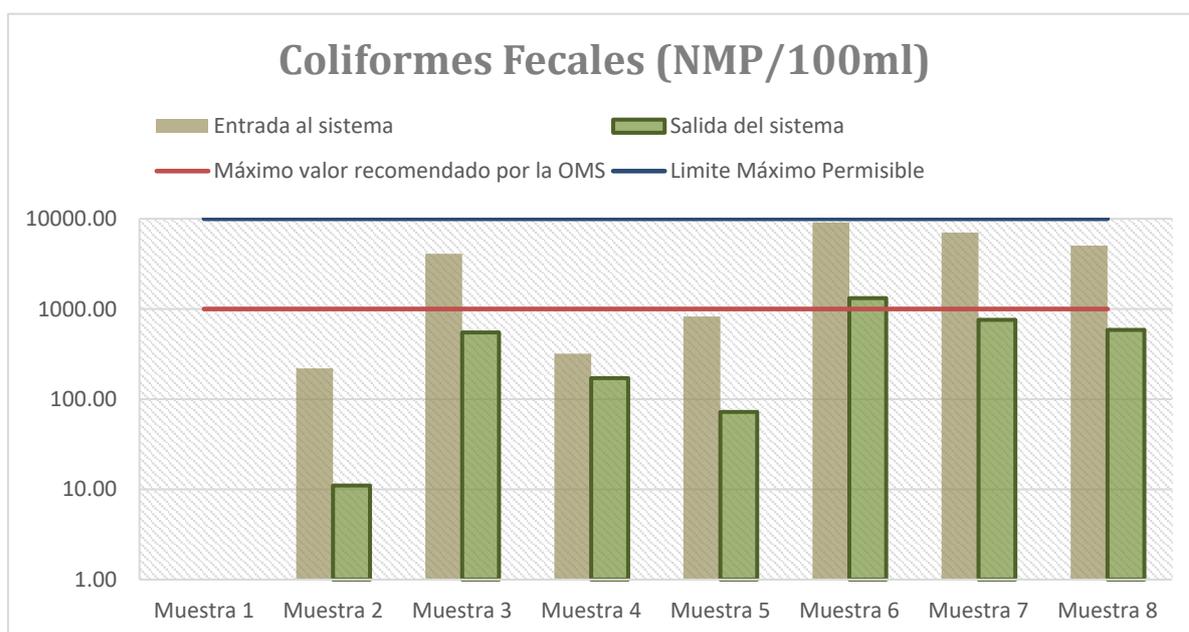
### g. Resultados de Coliformes Fecales

La unidad que se utiliza en la normativa es de Numero Más Probable por cada 100 mililitros de agua (NMP/100ml), mientras que los resultados obtenidos se tienen en unidades formadoras de colonia por cada 100 mililitros de agua (UFC/100ml). En este sentido, se realizó la conversión de UFC a NMP mediante la utilización de la tabla *Pretrifilm EC Plate Results Conversion* (3M Microbiology, 2004). Esta conversión se puede observar en el Anexo N° 3.

Como se puede observar en la Figura 27 los valores de coliformes fecales a la salida del sistema se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles (D.S. N° 003-2010-MINAM) y por debajo del máximo establecido por las Guías de Reúso de Aguas Residuales en Agricultura de la OMS (1989) que establece un máximo de  $10^3$  N°/100 ml, a excepción

de la muestra 6 en la cual se ha tenido un 85% de eficiencia, pero no se ha logrado el valor recomendado.

Así mismo, cabe resaltar que el sistema de tratamiento tiene una eficiencia en remoción de coliformes fecales que va desde el 85% hasta el 93%. Estos valores, a excepción de la muestra 4 (eficiencia de 43% en reducción de coliformes fecales), concuerdan con lo establecido por Vymazal J. (2005) que establece eficiencias que van del 65.1 % al 85.6% en patógenos.



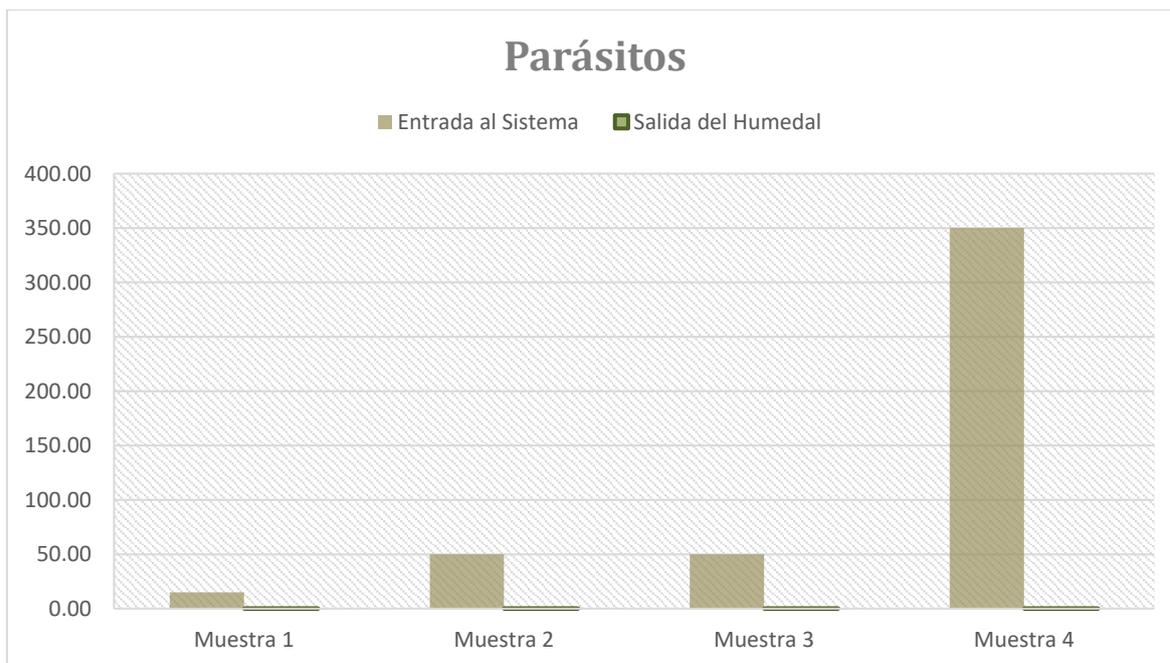
**Figura 26: Coliformes fecales**

#### **h. Resultados de Parásitos**

En la Figura 28 se muestran los resultados obtenidos para la medición del parámetro de contenido de Parásitos en número de especies encontradas por litro de agua ( $N^{\circ}/l$ )

Como se puede observar teniéndose valores de eliminación total de parásitos podemos afirmar que se cumple con las recomendaciones establecidas por la Organización Mundial de la Salud (1989) para el reúso de las aguas residuales, en el cual se establece que el contenido de parásitos en el agua debe ser menor o igual a 1 ( $\leq 1 N^{\circ}$  de huevos/ l).

En conformidad con lo estipulado por Ávila et ál. (2013), los resultados obtenidos muestran como el sistema puede disminuir en un 100% el contenido de parásitos en el agua tratada.



**Figura 27: Resultados de contenido de parásitos**

### **4.3. EVALUACION DE IMPACTOS SOCIALES Y AMBIENTALES**

La evaluación de impactos presentada en este capítulo es la última etapa de varios ciclos de análisis de los impactos ambientales y sociales reales y potenciales que fueron llevados a cabo durante la construcción y operación del sistema de tratamiento.

#### **4.3.1. Evaluación de percepción social**

Los resultados obtenidos en la mencionada encuesta se muestran en el Anexo 4: Evaluación Social y se resumen a continuación:

##### **a. Resultados sobre datos generales de los encuestados**

Como parte de los datos de entrada, de los 20 beneficiarios encuestados se tiene que el 55% es de género femenino mientras que el 45% restante es masculino y que su rango de edad varía de la siguiente manera: el 42% tiene entre 26 años y 35 años, un 32% tiene entre 36 y 45 años, un 16% tiene más de 45 años y finalmente un 10% de los encuestados tiene edades entre 18 y 25 años.

Así mismo, el 50% de los encuestados tiene de 4 a 5 años de residencia en la zona de estudio, el 30% tiene de 1 a 3 años y el 20% tiene más de 5 años de residencia en la zona. En cuanto

a su nivel de instrucción el 60% cuenta con secundaria concluida, el 25% cuenta con una carrera técnica y el 20% con nivel universitario.

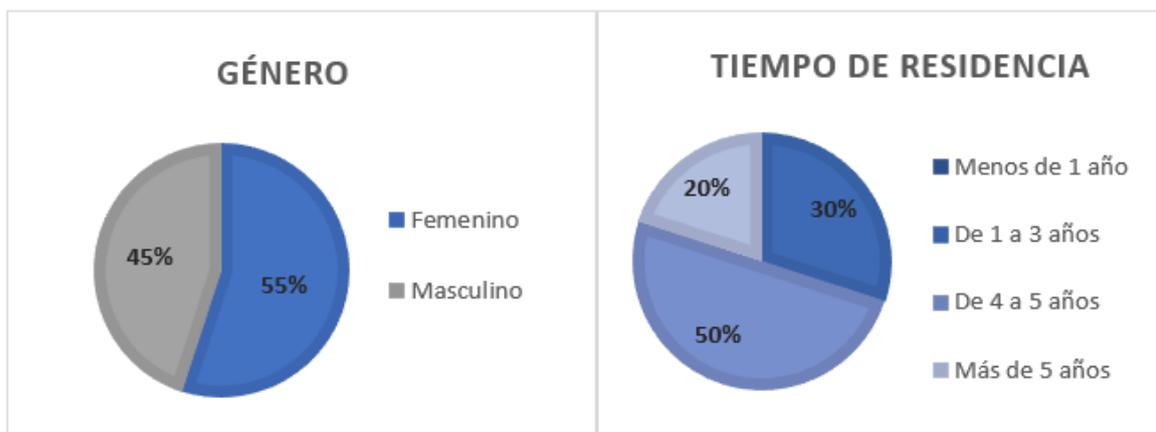


Figura 28: Resultados sobre datos generales de los encuestados

#### b. Resultados sobre contaminación percibida

Sobre la percepción de contaminación que tienen los pobladores del Asentamiento Humano La Florida II, se realizaron preguntas puntuales y los resultados se muestran a continuación.

El 100% de los encuestados considera que el agua con la que se riegan las áreas verdes de la zona se encuentra de medianamente a muy contaminada, debido al olor que expide, al color y a los sólidos que se pueden observar en el cauce.

Así mismo, se pudo constatar que el 10% de los encuestados manifestó que vierte contaminantes al canal, tratándose mayoritariamente de desperdicios sólidos (basura) y líquidos (efluentes de lavado y cocina). Esto debido a que se tienen deficiencias en los servicios de saneamiento básico en la zona, por lo que algunos pobladores suelen verter sus residuos a las fuentes de agua más cercanas o al suelo.

El 95% de los encuestados manifestó que el riego de las áreas verdes con agua contaminada si afecta su calidad de vida, generalmente a causa del olor que expide y los insectos que son atraídos por esta contaminación.

Finalmente, el 85% de los pobladores entrevistados considera que el Municipio de San Martin de Porres no hace una adecuada gestión de los contaminantes, no solo del agua, si no, de la basura y la quema de maleza producto de los cultivos que se encuentran a los alrededores; siendo este el principal motivo por el cual el 85% de los pobladores encuestados

estaría dispuesto a participar de un plan o programa para disminuir la contaminación en el agua.

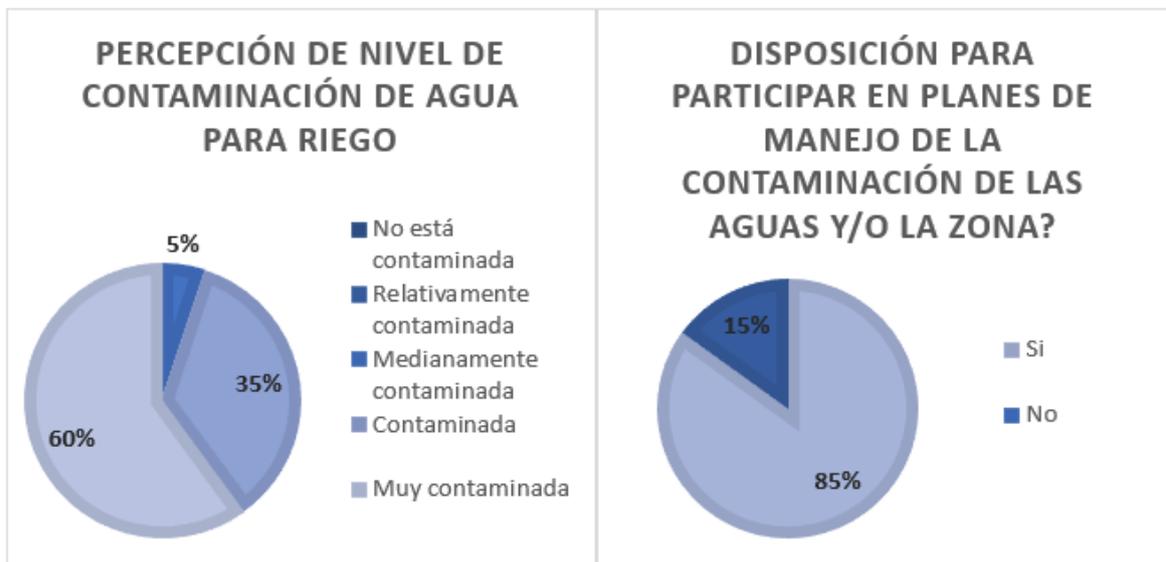


Figura 29: Resultados sobre contaminación percibida

### c. Resultados de percepción sobre el parque recreacional

Para conocer la percepción de los pobladores sobre el proyecto en específico se comenzó por la evaluación de la afectación que consideran tiene el parque en su totalidad sobre su vida cotidiana

Como resultado de esta evaluación se tiene que el 90% de los encuestados manifiesta no haber percibido molestias en el proceso de construcción del parque, el 10% restante manifiesta que la principal molestia percibida fue el ruido y el polvo producto de los procesos constructivos, siendo estos impactos negativos temporales.

Por otro lado, el 65% de los encuestados manifiesta que después de la construcción del parque, ha notado la presencia de animales no deseados, producto de la espesa vegetación que representa el humedal. De las especies identificadas, el 43% son roedores, el 36% son insectos y el restante se trataría de algunos artrópodos como gusanos.

Sobre la estética del parque, el 100% de los encuestados considera que el parque ha mejorado el paisaje en la zona, dado que no se contaba con áreas verdes recreativas y el área ahora ocupada por vegetación, antes se encontraba desierta e incluso con acumulación de desechos sólidos.

Es importante recalcar que, del total de encuestados, el 75% considera que no se está realizando una buena gestión del parque, esto debido a que consideran que el municipio no colabora lo suficiente en el cuidado del mismo, dejando la responsabilidad a la junta directiva de la zona. Por esta y otras razones el 85% de los encuestados estaría dispuesto a participar de un plan y/o programa de gestión y cuidado del parque.

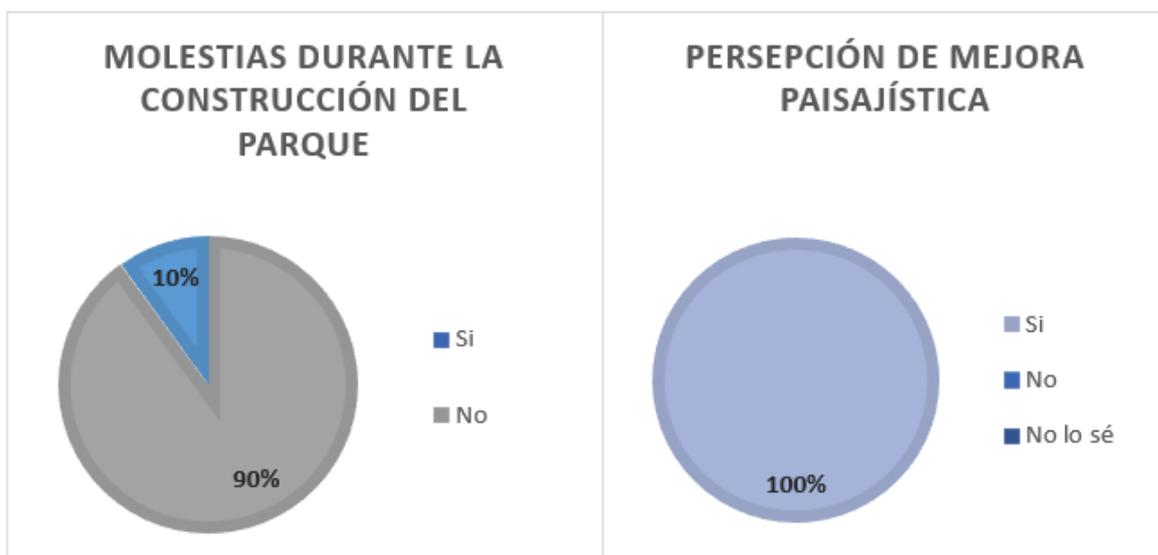


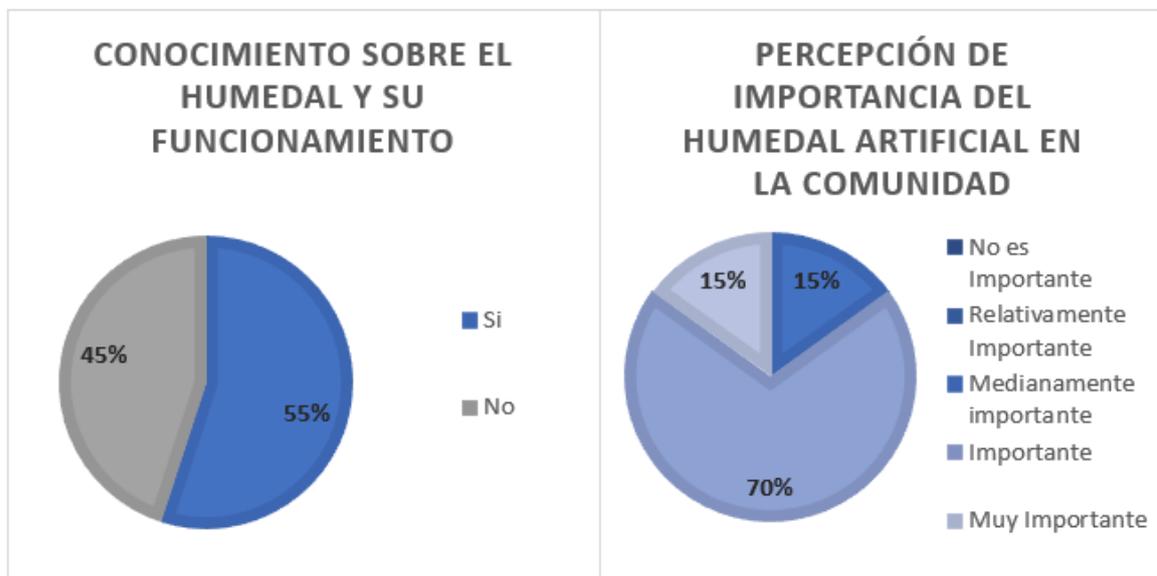
Figura 30: Resultados de percepción sobre el parque recreacional

#### d. Resultados de percepción sobre el humedal

En esta área de la encuesta se evaluó el conocimiento y percepción de la población con respecto al humedal construido en el parque.

Con respecto al humedal El 95% de los encuestados sabe que existe un humedal artificial en el parque, sin embargo, solo el 55% de los entrevistados manifiesta tener conocimiento de lo que es un humedal y como funciona este sistema de tratamiento.

Por último, el 100% manifiesta que no percibe ninguna molestia por la presencia y/o funcionamiento del humedal instalado y el 70% y 15 % considera que el humedal es importante y muy importante para la comunidad respectivamente, esto debido al conocimiento que se tiene sobre el proceso de purificación de agua que se da en él y que se utiliza para el riego, evitando la utilización de aguas contaminadas.



**Figura 31: Resultados de percepción sobre el humedal**

#### **4.3.2. Evaluación de Impacto y Respuesta Social**

Los grupos de interés identificados durante la evaluación, son los siguientes:

- Proyecto LiWa – Universidad de Stuttgart.
- Habitantes del A.H. La Florida II Etapa.
- Municipalidad Distrital de San Martín de Porres (Sub Gerencia de Parques, Jardines y Ambiente).
- Comisión de Regantes de Chuquitanta – Junta de Usuarios.
- Instituciones Educativas (Universidades, centros de investigación, colegios, etc.).

A continuación, se presenta la matriz de involucrados en la cual se pueden observar los compromisos y responsabilidades asumidos por cada grupo de interés.

**Tabla 30: Matriz de involucrados**

Grupo de Interés	Participación	Responsabilidades Asumidas	Beneficios
Proyecto LiWa – Universidad de Stuttgart	Impulsadores del proyecto y principales inversionistas	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gestión, planificación y ejecución del proyecto.</li> <li>Capacitación a la comunidad sobre la tecnología instalada y la operación del sistema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cumplimiento de metas organizacionales.</li> <li>Realización y fomento de la investigación.</li> <li>Difusión de la tecnología.</li> <li>Reconocimiento social.</li> </ul>
Habitantes del A.H. La Florida II Etapa.	Beneficiarios Directos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Operación del sistema</li> <li>Cuidado del parque</li> <li>Pago de tarifa de agua (S/.10.00)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mejora de calidad de agua para riego.</li> <li>Aumento de áreas verdes</li> <li>Mejora paisajística urbana.</li> <li>Aporte recreativo, social y ambiental.</li> <li>Tecnología innovadora.</li> <li>Solución parcial de gestión de residuos.</li> <li>Mejora de la organización comunal</li> </ul>
Municipalidad Distrital de San Martín de Porres. (Sub Gerencia de Parques, Jardines y Ambiente)	Principales colaboradores	<ul style="list-style-type: none"> <li>Apoyo logístico</li> <li>Donativo del área para la instalación del proyecto.</li> <li>Gestión del servicio eléctrico.</li> <li>Gastos de consumo energético</li> <li>Cuidado y mantenimiento del parque</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Impulso de tecnologías verdes y ambientalmente responsables</li> <li>Disminución en los costos de abastecimiento de agua para riego</li> <li>Aumento de áreas verdes y espacios recreativos</li> <li>Mejoramiento del paisaje y gestión del territorio</li> <li>Reconocimiento social e institucional</li> </ul>
Comisión de Regantes de Chuquitanta – Junta de Usuarios.	Involucrados indirectos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dotación de agua para riego</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mejoramiento de la gestión de los recursos hídricos.</li> <li>Ingreso por dotación de agua.</li> </ul>
Instituciones Educativas (Universidades, centros de investigación, colegios, etc.)	Apoyo y Asistencia técnica voluntaria	<ul style="list-style-type: none"> <li>Asistencia logística, técnica.</li> <li>Participación activa en el desarrollo del proyecto</li> <li>Seguimiento y monitoreo del sistema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fomento de la investigación.</li> <li>Visitas de capacitación.</li> <li>Adquisición de conocimiento y experiencia.</li> </ul>

### 4.3.3. Evaluación de Impactos Ambientales

El desarrollo de la Matriz de Impactos Ambientales se muestra en el Anexo N° 5, a continuación, se muestra el resultado.

**Tabla 31: Matriz de valoración de impactos ambientales**

Medio	Componente	Actividades de Proyecto		Factores Ambientales		Etapa de Construcción											Etapa de Operación				Etapa de Mantenimiento				TOTAL ETAPA DE CIERRE O ABANDONO	VALOR RELATIVO DEL IMPACTO	VALORACION FINAL		
						Unidad de Importancia Ponderada (UIP)		Probabilidad de Ocurrencia		Recursos		Movimiento de Tierra		Obras Civiles			Gestión de Residuos		Sistema de Tratamiento		Area recreacional		Instalaciones					Residuos	
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15									
						Adquisición de insumos y servicios	Transporte de materiales de construcción, maquinaria y equipos	Movimiento de tierra, nivelación y compactación	Construcción de estructuras y sistema de redes de tuberías	Siembra de especies vegetales	Instalación de servicio eléctrico	Manejo y disposición de residuos	Captación y derivación de agua	Proceso de tratamiento de agua	Crecimiento de vegetación en el humedal y area recreacional	Riego de area recreacional con agua tratada	Mantenimiento del sistema de tratamiento	Mantenimiento de area recreacional	Manejo de Lodos	Manejo de residuos									
TOTAL ETAPA DE CONSTRUCCION											TOTAL ETAPA DE OPERACIÓN				TOTAL ETAPA DE CIERRE O ABANDONO														
VALOR RELATIVO DEL IMPACTO											VALOR RELATIVO DEL IMPACTO				VALOR RELATIVO DEL IMPACTO														
Físico	Suelo	A	Calidad de Suelo	85	0.5			-27.00		27.00			0.00	0.00			25.00		25.00	1.06					0.00	0.00	1.06		
	Agua	B	Calidad de Agua	140	1.0			-16.00	-16.00				-32.00	-4.48			42.00		42.00	5.88	25.00			-26.00		-1.00	-0.14	1.26	
		C	Disponibilidad de Agua	101	0.9								0.00	0.00	-20.00	26.00		-20.00	-14.00	-1.27	22.00					22.00	2.00	0.73	
	Aire	D	Calidad de Aire	85	0.9			-22.00	-25.00	-19.00			22.00	-44.00	-3.37		32.00		32.00	2.45						0.00	0.00	-0.92	
	Ruido	E	Confort Sonoro	116	0.7			-16.00	-19.00	-16.00			-16.00	-67.00	-5.44		-17.00		-17.00	-1.38						0.00	0.00	-6.82	
Perceptual	Paisaje	F	Calidad Paisajística	116	1.0			-20.00	-20.00	25.00		26.00	11.00	1.28		36.00		36.00	4.18		22.00		21.00	43.00	4.99	10.44			
Biótico	Flora	G	Flora	101	0.7					31.00		31.00	2.19		38.00	33.00	71.00	5.02							0.00	0.00	7.21		
	Fauna	H	Fauna	70	0.7							0.00	0.00		33.00		33.00	1.62							0.00	0.00	1.62		
Economico	Empleo	I	Empleo	85	0.5	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	126.00	5.36		19.00	19.00	38.00	1.62	17.00	19.00		19.00	55.00	2.34	9.31				
Social	Salud	J	Salud	101	0.5			-20.00				20.00	0.00	0.00		23.00	37.00	60.00	3.03						0.00	0.00	3.03		
TOTAL						18.00	-20.00	-109.00	-53.00	101.00	18.00	70.00	2.50	-4.46	10	8	10	10	30.60	22.20	9	10	7	3	13.86	9.19	26.92		

La ejecución del proyecto tiene un efecto global positivo moderado de +26.92 debido a que se trataría exclusivamente de un mejoramiento, razón por la cual los escasos impactos negativos serán temporales y mitigables para dar lugar a un amplio listado de impactos positivos sobre la comunidad. Así mismo, es necesario precisar lo siguiente:

- Durante la Etapa de Construcción, se presentaron la mayor cantidad de impactos negativos, teniendo como resultado un impacto global de -4.46. Sin embargo, están categorizados como impactos irrelevantes o leves debido principalmente a que esta etapa fue temporal, por lo que sus efectos negativos fueron revertidos en el corto y mediano plazo.
- Durante la etapa de Operación, se presentan la mayor cantidad de impactos positivos, teniendo como resultado un impacto global de +22.20, tratándose de un proyecto que permite un mejor uso del recurso hídrico y que otorgó al ambiente y la comunidad una estructura que mejora principalmente la calidad paisajística, calidad del agua y calidad de aire, hecho que le otorga mayor relevancia frente a los casi nulos impactos negativos en esta etapa.
- Durante la Etapa de Mantenimiento, los impactos son positivos (+9.19), debido a que el mantenimiento del sistema de tratamiento y del área recreativa servirá para mantener o retornar las condiciones iniciales del proyecto, preservar la naturalidad y eficiencia de las estructuras, para garantizar el funcionamiento del mismo.

En el Anexo N° 5 se muestra el proceso de elaboración de la matriz de valoración de impactos ambientales.

#### **4.4. EVALUACIÓN ECONÓMICA Y FINANCIERA**

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en el análisis financiero realizado al proyecto. El desarrollo del cálculo se muestra en el Anexo N° 6.

##### **4.4.1. Flujo de caja de la inversión:**

###### **a. Flujo de caja: Escenario 1 (Sistema de pago a la red pública):**

El cálculo del flujo de caja con proyección a un periodo de 10 años obtenido en el escenario para costos sustitutos a los pagos a la red pública, se presenta en la Tabla 32.

A través de este análisis se pudo observar que el flujo de caja es positivo, así mismo se pudo obtener que el tiempo de recuperación de la inversión supera el tiempo de evaluación, para este escenario corresponde a 16 años.

**b. Flujo de caja: Escenario 2 (Sistema de compra a camiones cisterna):**

El cálculo del flujo de caja con proyección a un periodo de 10 años, obtenido en el escenario para costos sustitutos a los pagos a la red pública, se presenta en la Tabla 33. A través de este análisis se pudo calcular el tiempo de recuperación de la inversión el cual para este escenario corresponde a 3 años.

La diferencia en los tiempos de recuperación de inversión se debe a la diferencia de los costos evitados o sustitutos, dado que el pago al servicio de red pública es menos costoso que la adquisición del servicio a través de proveedores como camiones cisterna.

#### **4.4.2. Valor Actual Neto (VAN)**

**c. Valor Actual Neto: Escenario 1 (Sistema de pago a la red pública):**

El Valor Actual Neto (VAN) obtenido para el escenario de costos sustitutos por pago a servicio de abastecimiento por red pública es de -29318.10. Los detalles del cálculo se muestran en la Tabla 34. Este resultado corresponde a un  $VAN < 0$ , por lo que el proyecto puede considerarse no rentable para un periodo de evaluación de 10 años.

**d. Valor Actual Neto: Escenario 2 (Sistema de compra a camiones cisterna):**

El Valor Actual Neto (VAN) obtenido para el escenario de costos sustitutos por pago a servicio de abastecimiento a través de camiones cisterna es de 187,549.44. Los detalles del cálculo se muestran en la Tabla 35. Este resultado corresponde a un  $VAN > 0$ , por lo que el proyecto puede considerarse rentable para un periodo de evaluación de 10 años.

Se puede determinar de esta forma que la instalación del sistema de tratamiento en una zona con falta de abastecimiento de agua potable por red pública y que reciban el servicio a través de camiones cisterna, se considera el escenario de mayor aprovechamiento de inversión, afirmación que se puede realizar en base a que este escenario tiene Valor Actual Neto positivo.





**Tabla 34: Valor actual neto – Costos sustitutos del escenario 1: Pago a red publica**

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo de Caja Económico (FCE)	-S/63,586.29	S/4,109.59									
Tasa de Interés Promedio (r)		3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%
Valor Actual Neto (VAN)	-S/63,586.29	3972.63	3840.23	3712.25	3588.53	3468.94	3353.33	3241.57	3133.54	3029.11	2928.16
											<b>-29318.00</b>

**Tabla 35: Valor actual neto – Costos sustitutos del escenario 2: Pago a proveedores (Cisterna)**

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo de Caja Económico (FCE)	-S/63,586.29	S/30,117.17									
Tasa de Interés Promedio (r)		3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%
Valor Actual Neto (VAN)	-S/63,586.29	29113.46	28143.20	27205.28	26298.61	25422.16	24574.92	23755.92	22964.21	22198.89	21459.07
											<b>187549.44</b>

#### 4.4.3. Tasa Interna de Retorno (TIR)

##### a. Tasa Interna de Retorno: Escenario 1 (Sistema de pago a la red pública):

El cálculo de la TIR con proyección a un periodo de 10 años, obtenido en el escenario para costos sustitutos por pago a servicio de abastecimiento por red pública, tiene un resultado de -7.24%

**Tabla 36: Tasa interna de retorno – Costos sustitutos del escenario 1: Pago a red pública**

VAN	Tasa de Interés
0	TIR = -7.24%

##### b. Tasa Interna de Retorno: Escenario 2 (Sistema de compra a camiones cisterna):

El cálculo de la TIR con proyección a un periodo de 10 años, obtenido en el escenario para costos sustitutos por pago a servicio de abastecimiento a través de camiones cisterna, tiene un resultado de 46.31%.

**Tabla 37: Tasa interna de retorno – Costos sustitutos del escenario 2: Pago a proveedores (Cisterna)**

VAN	Tasa de Interés
0	TIR = 46.31%

Se corrobora la afirmación de que la instalación del sistema de tratamiento en una zona con falta de abastecimiento de agua potable por red pública y que reciban el servicio a través de camiones cisterna, es el escenario de mayor aprovechamiento de inversión, dado que su TIR es mayor a la renta fija considerada ( $r = 3.45\%$ ).

## V. CONCLUSIONES.

- De acuerdo a la evaluación de los parámetros de operación y funcionamiento, el humedal está trabajando con una carga orgánica que varía entre 0.5 g/d/m<sup>2</sup> a 5.5 g/d/m<sup>2</sup>, y con cargas hidráulicas entre 120 mm/día a 400 mm/día. Estos parámetros, se encuentran dentro de lo recomendado para su adecuado funcionamiento según autores como Hoffmann et al (2011), Platzer, et al (2007), Delgadillo et ál (2010), entre otros; aunque por el área instalada, el humedal estaría en capacidad de recibir mayores cargas orgánicas.
- El sistema de tratamiento tiene eficiencias superiores al 90% en remoción de sólidos suspendidos, sólidos sedimentables y turbiedad. Respecto a la DBO, la variabilidad en el agua cruda, impide mostrar una tendencia y obtener un promedio; sin embargo se observa que en todos los resultados se obtienen valores menores a 5 mg/L a la salida del humedal, los que muestran una buena calidad de agua con fines de reúso.
- En el caso de los coliformes termotolerantes, se obtiene una eficiencia de remoción promedio del 85%, alcanzándose valores por debajo de 720 UCF/100 ml en la mayoría de casos, a la salida del humedal. Respecto a los parásitos, son eliminados al 100% en el humedal, encontrándose un valor de 0 huevos/L en todas las muestras. Este valor permite el reúso sin riesgo de acuerdo a la Guías de la OMS.
- Asimismo, los valores de calidad de agua obtenidos a la salida del tratamiento, se encuentran dentro de los rangos permitidos por los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales, establecidos por Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

- La evaluación social muestra resultados positivos para la adopción de la tecnología por parte de la comunidad, lo que se refleja en la predisposición a involucrarse en los planes de mejoramiento, en la adopción de compromisos y responsabilidades para la operación y mantenimiento del sistema de tratamiento. Por otro lado, se percibe la necesidad de difundir información periódicamente para mantener una continua educación ambiental y capacitación sobre el sistema de tratamiento instalado.
- La evaluación ambiental señala que el proyecto tiene un efecto global positivo moderado de +26.92, con lo cual se establece que su construcción beneficia a la población sin daños relevantes al medio ambiente. Sin embargo, es importante mencionar que el impacto negativo predominante se presentó durante la etapa de construcción, con un impacto global de -4.46, catalogado como leve o irrelevante, el cual es temporal y mitigable.
- La evaluación económica y financiera realizada para un periodo de 10 años, dio como resultado que el proyecto es rentable con un Valor Actual Neto mayor a cero y una Tasa Interna de Retorno mayor a la renta fija establecida ( $r = 3.45\%$ ) en situaciones en los que los beneficiarios son abastecidos de agua potable a través de camiones cisterna, en cuyo caso el valor de costos evitados o sustitutos de producción de agua tratada aumenta.
- Se concluye finalmente que, de acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación, el sistema de tratamiento con humedal artificial de flujo vertical es sostenible técnica, social, ambiental y económicamente; y su implementación brinda soluciones concretas a los problemas de escasez y calidad de agua para el riego de las áreas verdes del área recreativa denominada “Parque de los Niños” ubicada en el distrito de San Martín de Porres, departamento de Lima.

## **VI. RECOMENDACIONES.**

- Mantener la comunicación eficiente y participación responsable de los grupos de interés, tales como las autoridades municipales, organización vecinal y otros, durante todas las etapas del proyecto (planificación, construcción, operación y mantenimiento), de esta manera se asegurará el correcto manejo de la tecnología instalada y su perduración en el tiempo.
- Se recomienda en estos proyectos lograr el compromiso e involucramiento de la municipalidad distrital, para garantizar el apoyo técnico y económico durante la operación del sistema.
- Uno de los impactos negativos resultante durante el desarrollo de la evaluación ambiental, resulto ser el manejo de los lodos que se generan en el sedimentador, los cuales retornan al canal. En este caso se recomienda considerar la instalación de un sistema de tratamiento de lodos como lechos de secado o de mineralización para lodos.
- Finalmente se recomienda impulsar la instalación de humedales artificiales como tratamiento de aguas contaminadas con fines de reúso en riego de áreas verdes, siendo una iniciativa rentable económicamente, socialmente amigable y eficiente en la remoción de contaminantes, lo cual confluje en un valor ambiental de uso indirecto positivo debido a reducción de los riesgos a la salud de los beneficiarios y el mejoramiento de componentes ambientales externos (calidad de aire, paisaje, recreación, etc.).

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- 3M Microbiology. (2004). Petrifilm™ E. coli Count Plate Results from Most Probable Number (MPN) Results Conversion Table. EEUU
- Ávila C, Garfi M & Garcia J. (2013). Three-stage hybrid constructed wetland system for wastewater treatment and reuse in warm climate regions. *Ecological Engineering*, 61, 43-49. Netherlands.
- Agencia Suiza para la Cooperación y el Desarrollo, Proyecto ASTEC, UNI – RUPAP – Nicaragua & Programa de Agua y Saneamiento Region America Latina y El Caribe. (2006). Biofiltro: Una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades. Honduras.
- AKUT Perú. (2014). Proyecto Tratamiento de Aguas de Canal en Humedal Artificial WTL-ROTARIA para el uso en Riego del Parque en La Florida – Chuquitanta. Manual de Operación. Lima Water (LiWa). Lima, Peru.
- AKUT Perú. (2014). Proyecto Tratamiento de Aguas de Canal en Humedal Artificial WTL-ROTARIA para el uso en Riego del Parque en La Florida – Chuquitanta. Memoria Descriptiva. Lima Water (LiWa). Lima, Perú.
- Alarcón M., Lara J., Vidal G. & Zurita F. (2018). Humedales de tratamiento: alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicable a América Latina. Pontificia Universidad Javeriana. Colombia. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10554/34519>
- Autoridad Nacional del Agua (2019). Ley de los Recursos Hídricos – Ley N° 29338. Ministerio de Agricultura y Riego. Primera Edición. Zuna Printing EIRL. Lima, Perú
- Autoridad Nacional del Agua – ANA, WWF & Universidad Nacional Agraria La Molina – UNALM. (2015). Huella hídrica del Perú. Sector Agropecuario. Novaprint S.A.C. Lima, Perú.

- Betancort J, Martín I, Peñarte B, Pidre J, Salas J & Sardón N. (2006). Guía sobre Tratamientos de Aguas Residuales Urbanas para Pequeños Núcleos de Población. (1° edición). Daute Diseño, S.L. España.
- Carvajal A, Quintero C & Zapattini C. (2018). Humedales Artificiales, una alternativa para la depuración de Aguas Residuales en el Municipio de Mizque, Bolivia. Diseño y Tecnología para el Desarrollo. N° 5. P88-108. Bolivia.
- Chávez I. (2017). Diseño e implementación de un sistema de tratamiento de Aguas residuales. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6134928.pdf>
- Conesa V. (1997). Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. Ilustrada, reimpressa. Mundi-Prensa.
- DAB Water Technology. S/A. Bombas Para Aguas Residuales. FEKA VS – VX. S/A. Ficha de técnica del producto.
- Delgadillo O., Camacho A., Pérez L., & Andrade M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA). Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia.
- DWA. (2006). Principles for the dimensioning, construction and operation of constructed wetlands for municipal wastewater. DWA Hennef. Germany.
- Fundación Universitaria Iberoamericana. (2014). Tratamiento de Aguas. Material de la Especialización en Gestión Ambiental.
- García J & Corzo A. (2008). Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial. Catalunya, España.
- Gomez Y. (2017). Evaluación de la Eficiencia de Humedales Artificiales Verticales Empleando *Cyperus alternifolius* y *Chrysopogon zizanioides* para el Tratamiento de Aguas Servidas. Tesis para optar el Título de Ingeniero Agrícola. Lima, Perú.
- Hoffmann et al. (2011). Revisión Técnica de Humedales Artificiales. Agencia de Cooperación Internacional de Alemania. Eschborn, Alemania.

- Jenssen, P., Krogstad, T., Vråle, L. and Mæhlum, T. (2008). High performance constructed wetlands for cold climates, powerpoint presentation. Recuperado de: <http://www2.gtz.de/Dokumente/oe44/ecosan/en-highperformance-constructed-wetlands-2008.pdf>.
- Kadlec R, Wallace S. (2009) Treatment wetlands, Second Edi. Ed Boca Raton, Unites States.
- Kolb, P. 1998. Design of a constructed wetland (pilot plant) for the reclamation of the river Besós, Diplomarbeit zur Erlangung des akademischen Grades Diplomingenieur. Universität für Bodenkultur. Alemania.
- Lara J. (1999). Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Tesis de maestría en ingeniería y gestión Ambiental. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona, España.
- Lopez E., Aduvire O. & Baretino D. (2002). Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina: estado actual y perspectivas de futuro. Boletín geológico y minero, ISSN 0366-0176, Vol. 113, págs. 3-21
- Metcalf & Eddy, Inc. (1996). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. 3ra edición. Madrid, España.
- Ministerio del Ambiente. (2009). Manual de Municipios Ecoeficientes. Enotria S.A. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2010). Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. Publicado en El Peruano. Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). Decreto Supremo N° 011-2006-VIVIENDA. Reglamento Nacional de Edificaciones. Primera edición. Norma Peruana OS-090. P87. Lima, Perú
- Morel A. & Diener S. (2006). Greywater management in low and middle-income countries, review of different treatment systems for households or neighbourhoods. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag). Dübendorf,

Switzerland. Recuperado de: <http://www2.gtz.de/Dokumente/oe44/ecosan/en-greywater-management-2006.pdf>.

- ÖNORM. (2009). B 2505: Subsurface flow constructed wetlands. Österreichisches Normungsinstitut. Vienna, Austria.
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería – OSINERMIN. (2015). Tarifas y Mercado Eléctrico. Año 13 - N° 12. Lima, Perú.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (1989). Directrices sanitarias sobre uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Serie de informes Técnicos 778. Ginebra, Suiza.
- Otárola R. Alejandra. (2011). Evaluación del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas Mediante Humedales Artificiales de Alta Tasa en la Locación Petrolera de Caño Gandul. (Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia). Colombia. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/5044/1/292544.2011.pdf>
- Platzer C., Hoffmann H., Cardia W. & Costa R. (2007). Dimensioning of vertical flow wetlands for nitrification – adaptation of the European model to the climatic conditions of Brazil. 24th Brazilian conference of sanitary and environmental engineering (ABES). Recuperado de: <http://www2.gtz.de/Dokumente/oe44/ecosan/es-wetland-defluxo-vertical-2007.pdf>.
- Píriz A. (2000). Condiciones de Óxido-Reducción en Humedales Construidos de Flujo Subsuperficial. Tesina de Especialidad, ETSECCPB, Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España.
- Ridderstolpe P. (2004). Introduction to greywater management, Stockholm Environment Institute, Sweden, Report 2004-4. Recuperado de: <http://www2.gtz.de/Dokumente/oe44/ecosan/en-greywater-management-2004.pdf>.
- Rossi M. (2010). Oportunidades de Mejoras Ambientales por el Tratamiento de Aguas Residuales en el Perú. Fondo Nacional del Ambiente. Lima, Perú.

- Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima - SEDAPAL S.A. (2015). Estructura Tarifaria Aprobada Mediante Resolución De Consejo Directivo N° 022-2015-SUNASS-CD. Gerencia de Desarrollo e Investigación. Lima, Perú.
- Silva R. & Zamora Z. (2005). Humedales Artificiales. (Trabajo de Grado, modalidad monografía. Universidad Nacional de Colombia). Recuperada de <https://core.ac.uk/download/pdf/11051537.pdf>
- Soto K, Velásquez R. & Carrión G. (2008). Manual Técnico de Difusión: Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales para Albergues en zonas Rurales. Ministerio de Comercio Exterior y Turismo. Perú.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). (2015). Diagnóstico de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en el Ámbito de Operación de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento. 1era Edición. Lima. Perú.
- The Interstate Technology & Regulatory Council, 2003, TECHNICAL AND REGULATORY GUIDANCE FOR CONSTRUCTED TREATMENT WETLANDS. Recuperado de: <https://www.itrcweb.org/GuidanceDocuments/WTLND-1.pdf>
- Vymazal J. (2005). Constructes wetlands with horizontal subsurface flow and hybrid systems for wastewater treatment. Ecological Engineering 25. Praga, Republica Checa.

## **VIII. ANEXOS.**

## **1. PANEL FOTOGRÁFICO**

**Fotografía 1: Canal San José y humedal artificial en construcción**



**Fotografía 2: Siembra de Vetiver y Paragüitas**



**Fotografía 3: Vista de rejilla de ingreso al sistema**



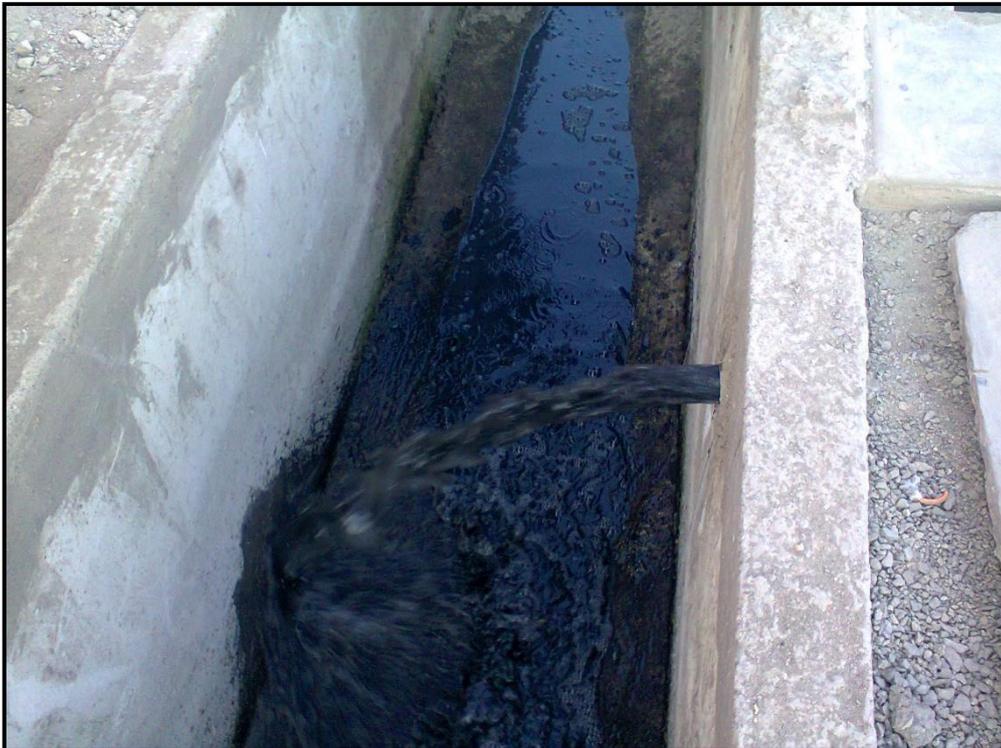
**Fotografía 4: Interior del tanque de sedimentación**



**Fotografía 5: Bomba de lodos del tanque de sedimentación**



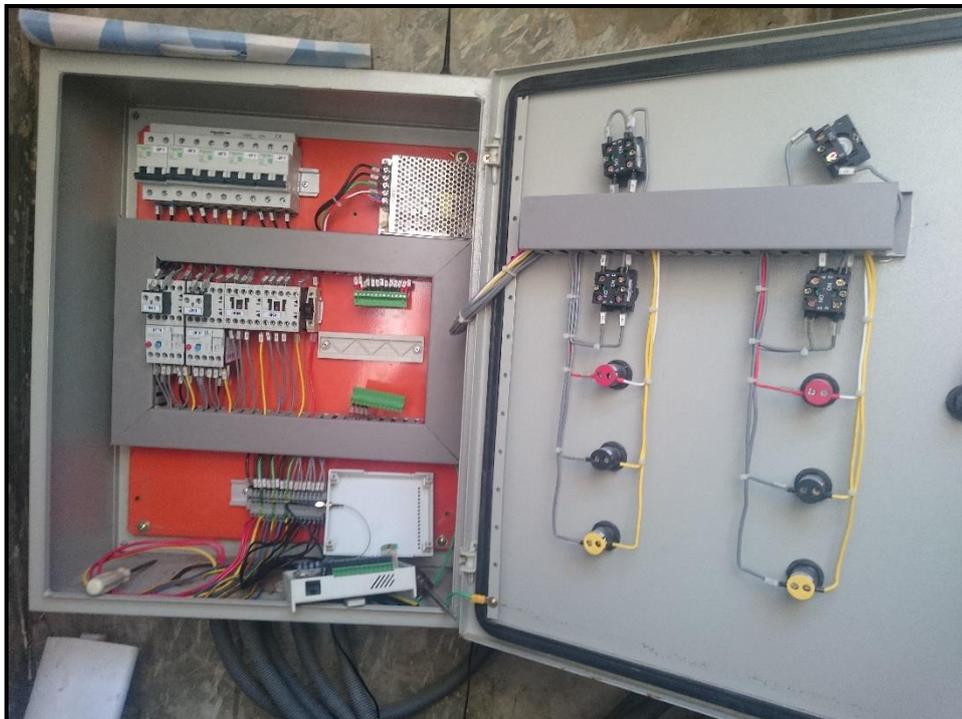
**Fotografía 6: Evacuación de lodos al canal San José**



**Fotografía 7: Interior de caseta de control**



**Fotografía 8: Tablero de control del sistema**



**Fotografía 9: Vista de poza de almacenamiento de agua tratada**



**Fotografía 10: Humedal artificial saturado - Primeras pruebas**



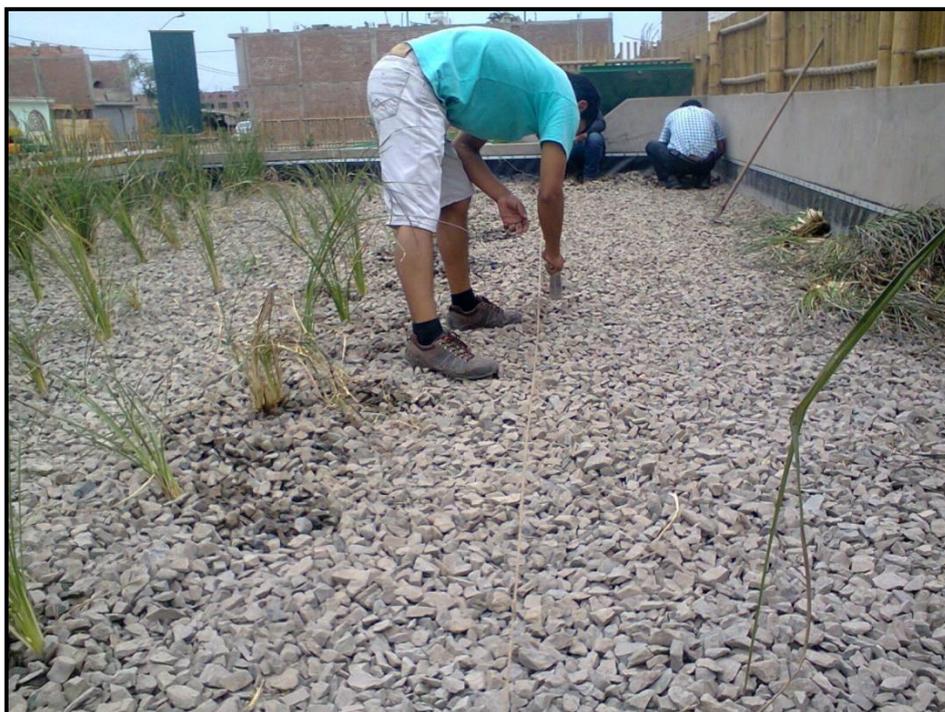
**Fotografía 11: Riego de áreas verdes con agua tratada por el humedal artificial**



**Fotografía 12: Funcionamiento del sistema de aspersión**



**Fotografía 13: Proceso de replantación del humedal artificial**



**Fotografía 14: Crecimiento de algunas plantas de Paraguita**



Fotografía 15: Crecimiento de plantas (Vetiver)



Fotografía 16: Diferencias de turbiedad en el agua durante el tratamiento



Fotografía 17: Áreas verdes y mantenimiento del parque



Fotografía 18: Área de juegos para niños en el parque



**Fotografía 19: Vista del parque a un año de su inauguración**

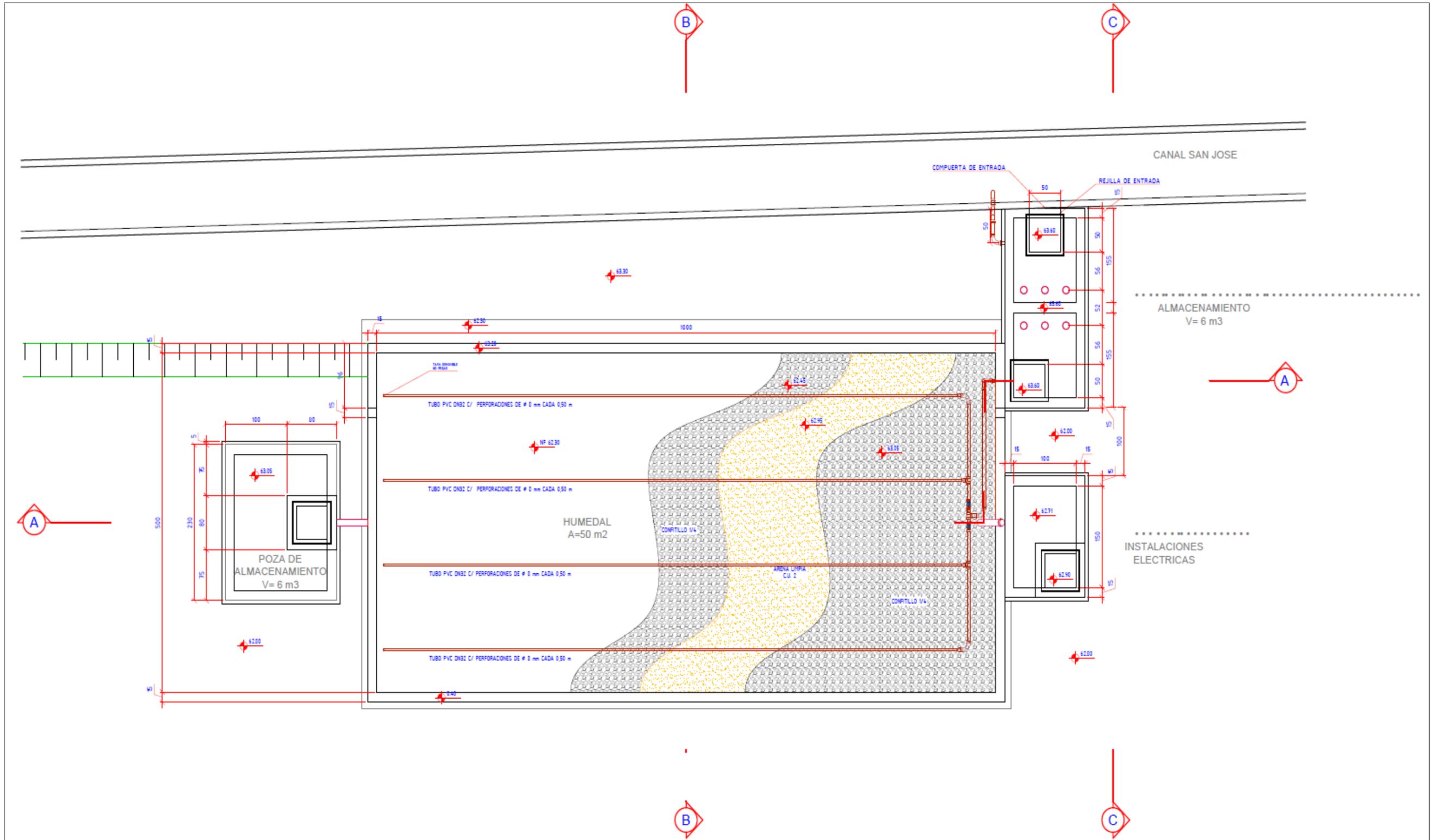


**Fotografía 20: Crecimiento de plantas del humedal a un año del inicio de su funcionamiento**

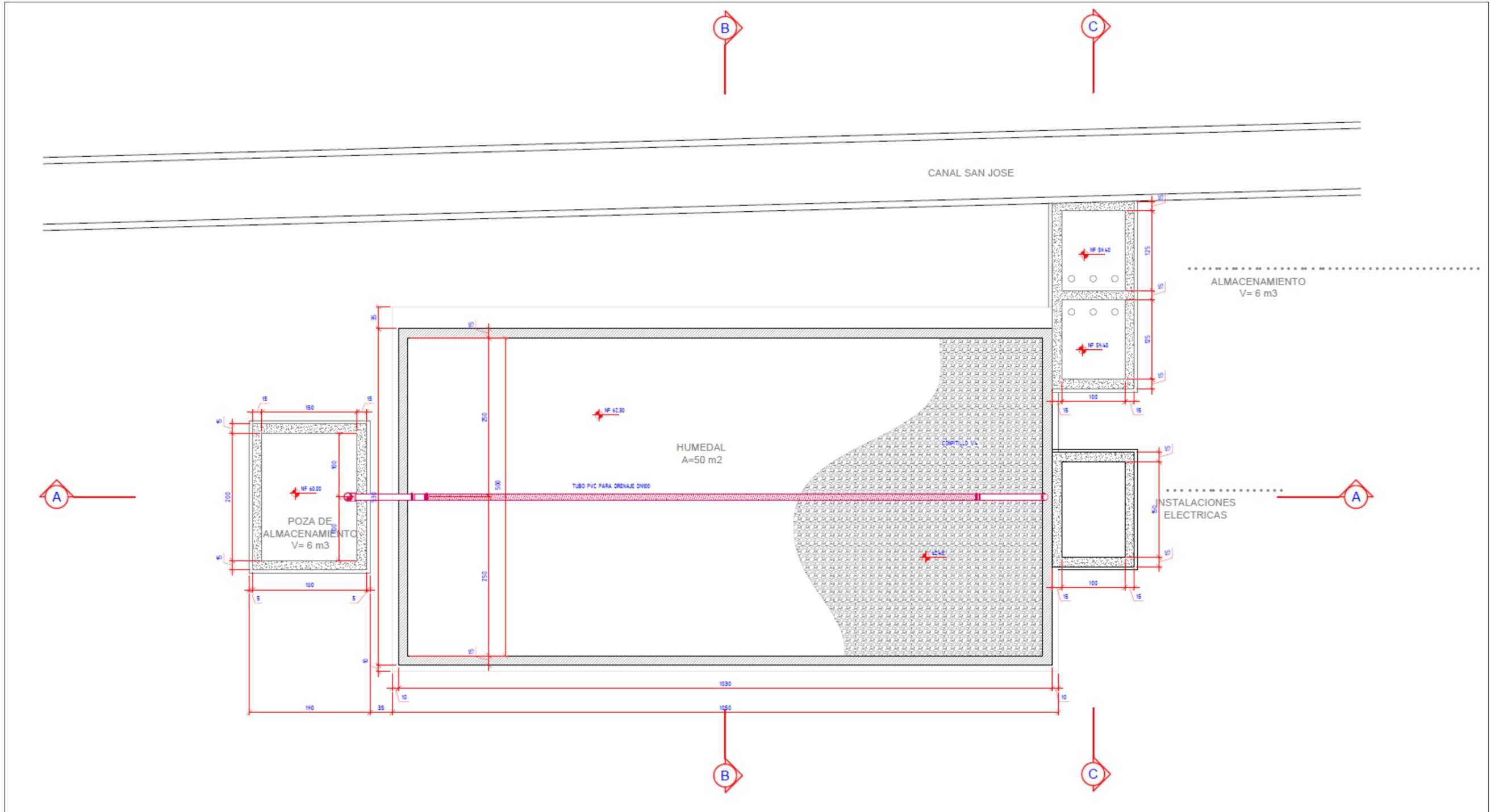


## **2. PLANOS DEFINITIVOS**

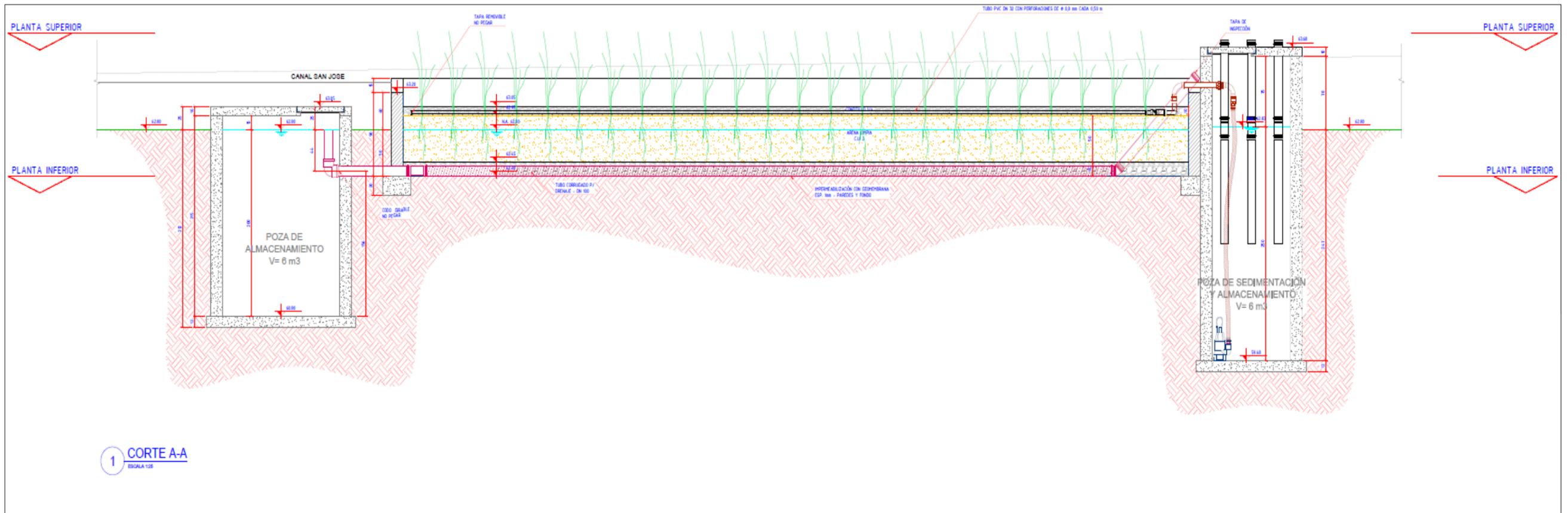
Vista 1: Planta superior



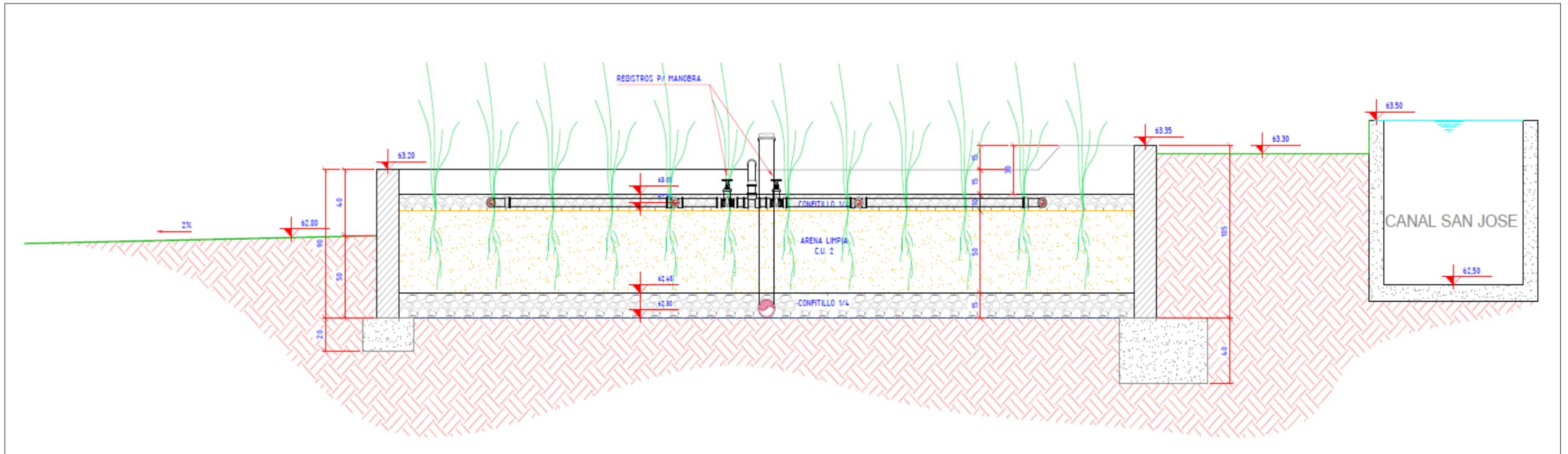
Vista 2: Planta inferior



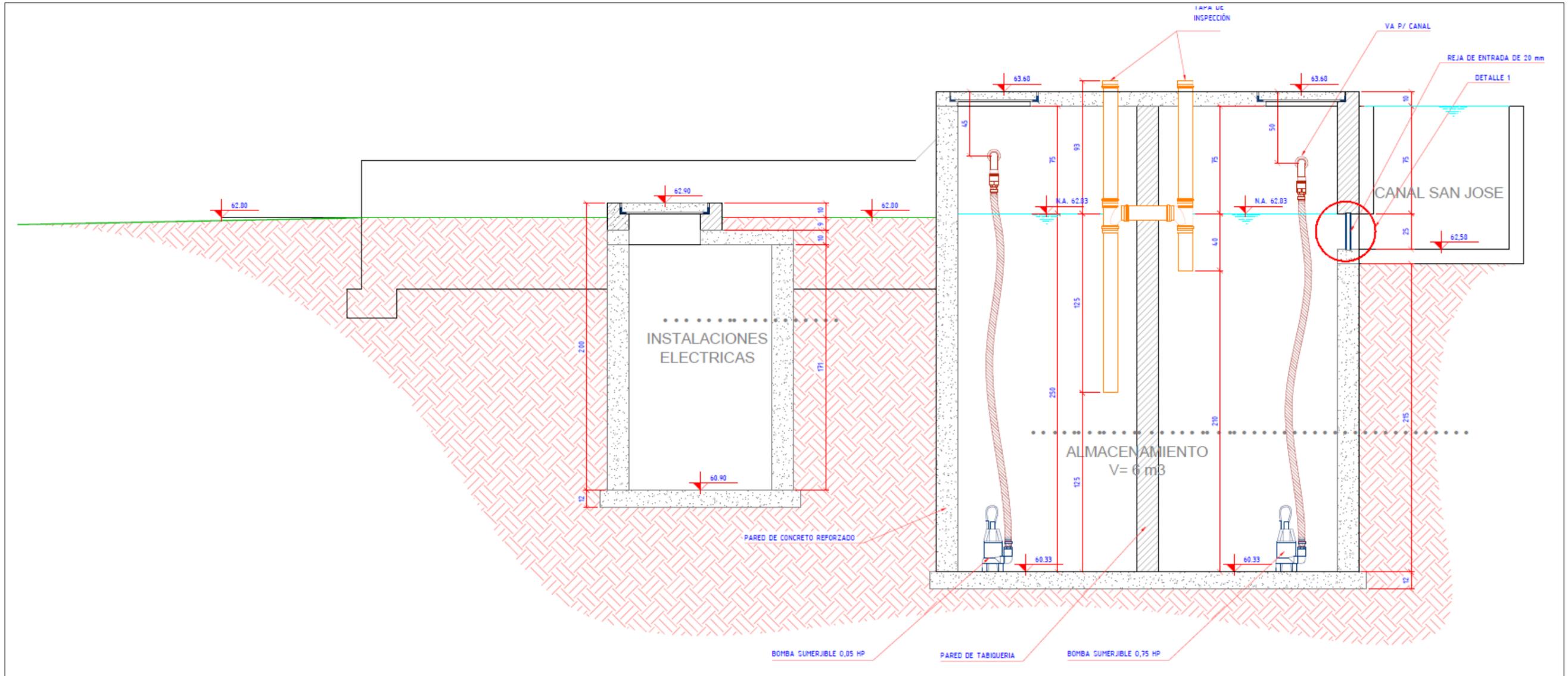
Vista 3: Corte A-A'



Vista 4: Corte B-B'



Vista 5: Corte C-C'



### **3. RESULTADOS DE LABORATORIO**

**Tabla 38: Resultados de potencial de hidrogeno (pH)**

Muestra	Potencial de Hidrogeno (pH)		
	Entrada al Sistema	Entrada al Humedal	Salida del Humedal
Muestra 1	7,35	7,14	7,15
Muestra 2	7,73	7,67	7,58
Muestra 3	7,93	7,53	7,54
Muestra 4	7,71	7,50	7,55
Muestra 5	7,58	7,71	7,64
Muestra 6	7,71	7,55	7,20
Muestra 7	7,63	7,46	7,10
Muestra 8	7,86	7,92	8,54

**Tabla 39: Resultados de conductividad eléctrica (C.E.)**

Muestra	Conductividad Eléctrica (uS/cm)		
	Entrada al Sistema	Entrada al Humedal	Salida del Humedal
Muestra 1	1044,00	1184,00	1271,00
Muestra 2	436,00	422,00	678,00
Muestra 3	544,00	516,00	625,00
Muestra 4	346,00	477,00	592,00
Muestra 5	502,00	501,00	612,00
Muestra 6	368,00	510,00	1395,00
Muestra 7	599,00	506,00	1282,00
Muestra 8	1411,00	1496,00	1239,00

**Tabla 40: Resultados de turbiedad**

Muestra	Turbiedad (NTU)		
	Entrada al Sistema	Entrada al Humedal	Salida del Humedal
Muestra 1	23,00	19,40	1,10
Muestra 2	162,00	140,00	1,84
Muestra 3	212,00	44,20	1,98
Muestra 4	940,00	47,50	0,75
Muestra 5	83,10	73,10	4,07
Muestra 6	1000,00	953,00	1,25
Muestra 7	102,00	30,40	0,64
Muestra 8	948,00	55,70	2,17

**Tabla 41: Resultados de Sólidos suspendidos**

Muestra	Sólidos Suspendidos (mg/l)		
	Entrada al Sistema	Entrada al Humedal	Salida del Humedal
Muestra 1	2000	1800	200
Muestra 2	600	200	<100
Muestra 3	2000	200	<100
Muestra 4	1000	200	<100
Muestra 5	500	100	<100
Muestra 6	15600	3000	<100
Muestra 7	5200	600	<100
Muestra 8	3500	200	<100

**Tabla 42: Resultados de sólidos sedimentables**

Muestra	Sólidos Sedimentables (ml/l)		
	Entrada al Sistema	Entrada al Humedal	Salida del Humedal
Muestra 1	0,8	0,05	<0.01
Muestra 2	0,8	0,04	<0.01
Muestra 3	0,8	0,1	<0.01
Muestra 4	1,6	0,02	<0.01
Muestra 5	0,7	0,01	<0.01
Muestra 6	2,1	0,8	<0.01
Muestra 7	0,3	0,01	<0.01
Muestra 8	0,8	0,01	<0.01

**Tabla 43: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

Muestra	DBO <sub>5</sub> (mg/l)		
	Entrada al Sistema	Entrada al Humedal	Salida del Humedal
Muestra 1	15,37	13,96	3,90
Muestra 2	14,20	9,20	4,67
Muestra 3	9,53	2,94	1,35
Muestra 4	2,68	1,27	0,56
Muestra 5	6,17	3,17	2,87
Muestra 6	7,75	3,22	0,45
Muestra 7	9,06	2,94	0,71
Muestra 8	12,68	3,84	2,10

**Tabla 44: Coliformes fecales**

Muestra	Coliformes Fecales (UFC/100ml)		Coliformes Fecales (NMP/100ml)	
	Entrada al sistema	Salida del sistema	Entrada al sistema	Salida del sistema
Muestra 1	-	-		
Muestra 2	300	< 20	219.14	< 11.00
Muestra 3	4540	680	4096.95	548.41
Muestra 4	420	240	319.47	171.00
Muestra 5	980	110	824.21	72.08
Muestra 6	> 10000	1520	< 9116.37	1320.63
Muestra 7	7740	1080	7038.73	757.14
Muestra 8	5560	720	5034.64	585.19

MPN Sequence			MPN index (starting at 1:10 dilution)	Petrifilm EC Count Plate result
0	0	0	<3.0	<6.0
0	0	1	3.01	6
0	1	0	3.05	6
0	1	1	6.11	12
0	2	0	6.19	12
0	3	0	9.44	18
1	0	0	3.57	7
1	0	1	7.23	14
1	0	2	11	20
1	1	0	7.36	14
1	1	1	11.2	21
1	2	0	11.4	21
1	2	1	15.4	27
1	3	0	15.7	28
2	0	0	9.18	17
2	0	1	14.3	26
2	0	2	19.9	35
2	1	0	14.7	26
2	1	1	20.5	36
2	1	2	26.8	45
2	2	0	21.1	36
2	2	1	27.6	46
2	2	2	34.8	57
2	3	0	28.6	48
2	3	1	36	59
3	0	0	23.1	40
3	0	1	38.5	63
3	0	2	63.6	98
3	1	0	42.7	69
3	1	1	74.9	114
3	1	2	115	168
3	1	3	159	225
3	2	0	93.3	139
3	2	1	149	212
3	2	2	215	295
3	2	3	292	388
3	3	0	240	325
3	3	1	462	586
3	3	2	1100	1280
3	3	3	>1100	>1280

**Note:** MPN results based on a 3 tube MPN starting at a 1:10 dilution (i.e., 3 tubes at 1:10, 3 tubes at 1:100 and 3 tubes at 1:1000).

**Figura 32: Petrifilm™ E. coli Count Plate Results from Most Probable Number (MPN) Results Conversion Table (3M Microbiology, 2004)**

**Tabla 45: Resultados de contenido de parásitos**

Muestra	Parásitos (Nº/1)	
	Entrada al Sistema	Salida del Humedal
Muestra 1	15	0
Muestra 2	50	0
Muestra 3	50	0
Muestra 4	350	0

## **4. EVALUACIÓN SOCIAL**

## ENCUESTA DE PERCEPCIÓN SOCIAL DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO VERTICAL

### CHUQUITANTA – SAN MARTIN DE PORRES

#### I. Datos Generales:

Sexo:  F  M

Edad

< 18 años	<25 años	<35 años	<45 años	60 años a mas

Tiempo de residencia en la zona

< 1 año	< 3 años	< 5 años	> 5 años
---------	----------	----------	----------

Nivel de Instrucción

Sin Instrucción	Primaria		Secundaria		Técnico		Universitario	
	C	I	C	I	C	I	C	I

#### II. Contaminación

- Del 1 al 5, ¿Cuan contaminada cree que están las aguas con las que se riegan las áreas verdes de su comunidad
- ¿Usted vierte algún contaminante al canal San José?
- ¿Cree que el riego de áreas verdes con agua contaminada afecta su calidad de vida?

#### III. Sobre el parque

- ¿La construcción del Parque le causo alguna molestia? ¿Cuál? SI/NO
- ¿A notado la presencia de animales o especies no deseados en el parque?
- Considera que el parque ha mejorado la calidad paisajista de la zona.

#### IV. Sobre el Humedal Artificial

- ¿Tiene conocimiento de lo que es un humedal artificial?
- ¿Sabía usted que existe un humedal artificial en el parque?
- ¿El funcionamiento del humedal le ha causado alguna molestia?
- Del 1 al 5, ¿qué tan importante considera que es el humedal artificial instalado en su comunidad
- Cree que el riego de áreas verdes con agua contaminada afecta su calidad de vida?.

Recomendación Final

-----

-----

-----

#### 4.1. Resultados sobre datos generales de los encuestados

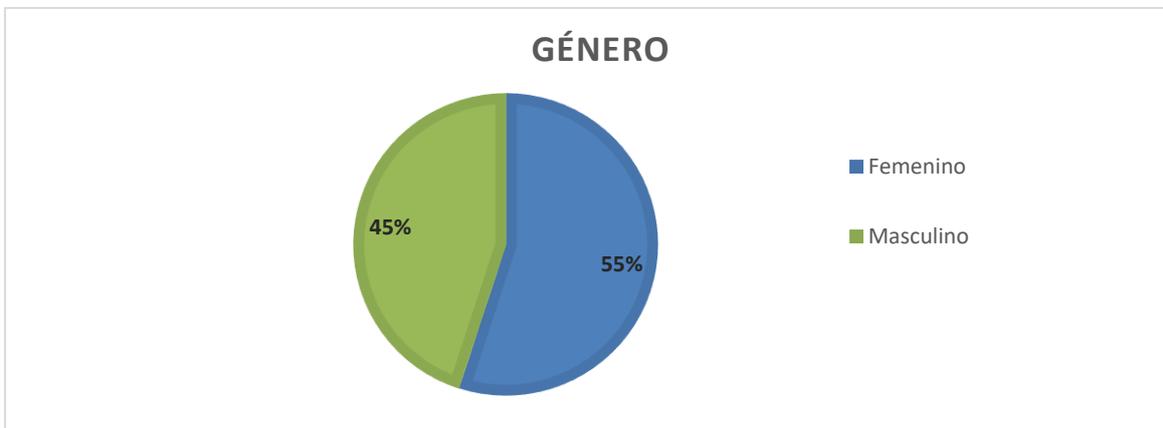


Gráfico 1: Resultados de distribución de género encuestado

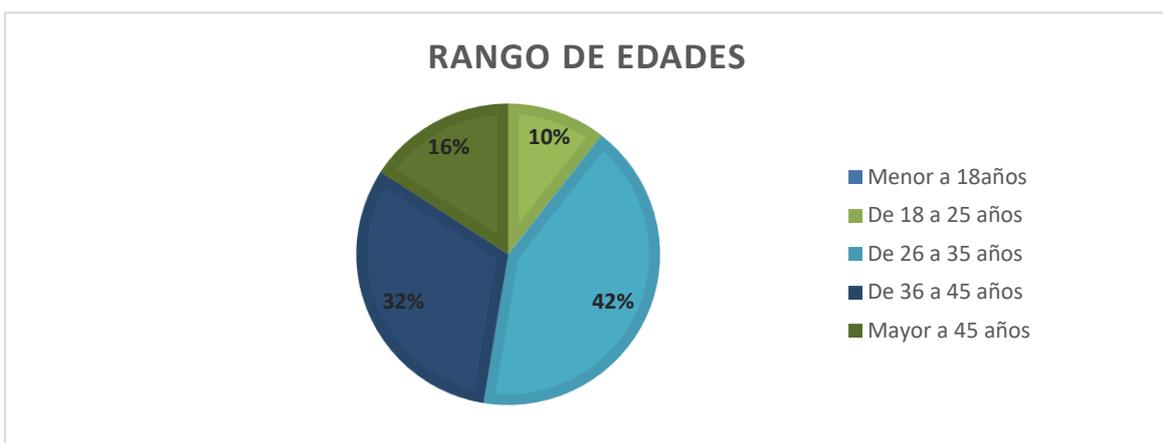
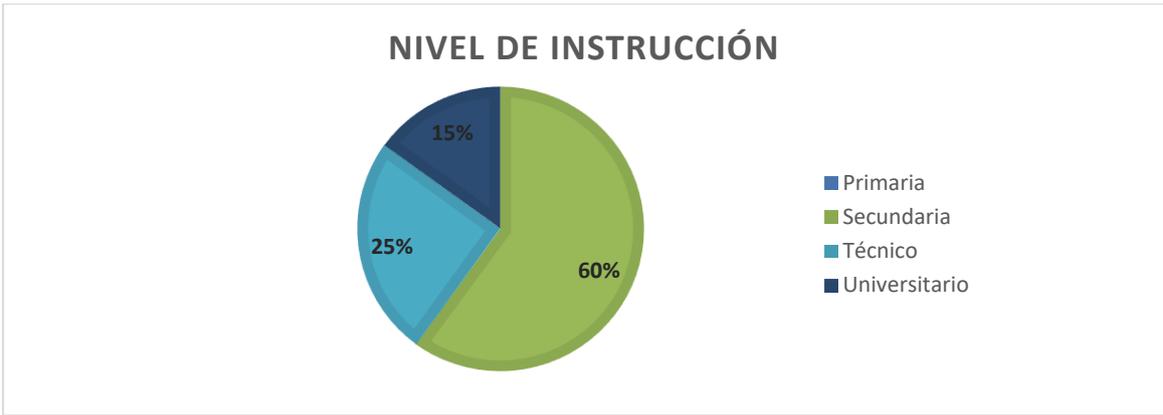


Gráfico 2: Resultados de rangos de edad encuestados



Gráfico 3: Resultados de tiempo de residencia de los encuestados en la zona de estudio

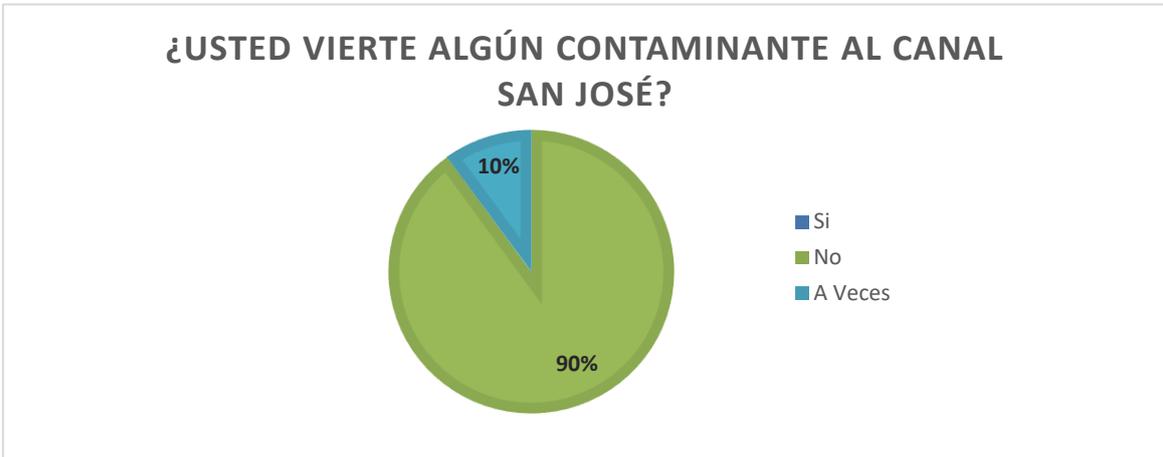


**Gráfico 4: Resultados de nivel de instrucción de los encuestados**

**4.2. Resultados sobre contaminación percibida**

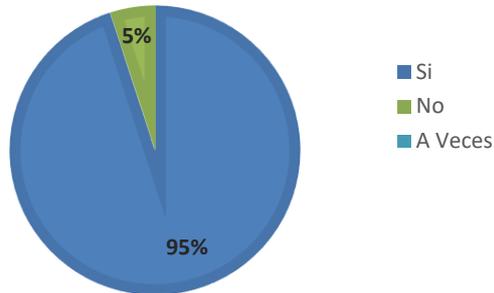


**Gráfico 5: Resultados de percepción de contaminación de las aguas de riego**



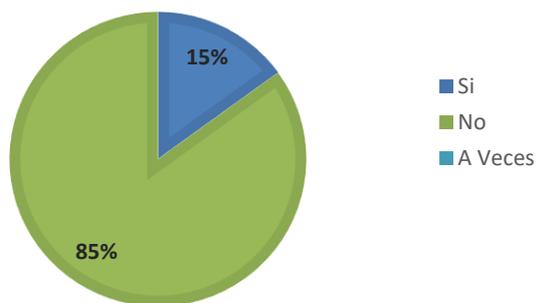
**Gráfico 6: Resultados de actividad contaminante sobre el canal**

**¿CREE QUE EL RIEGO DE ÁREAS VERDES CON AGUAS CONTAMINADAS AFECTA SU CALIDAD DE VIDA?**



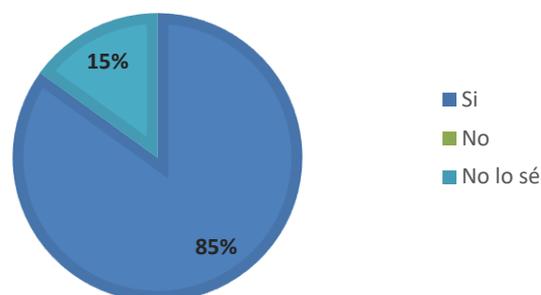
**Gráfico 7: Resultados de percepción de afectación directa a la población**

**¿CREE QUE EL MUNICIPIO SE ENCARGA CORRECTAMENTE DE LA CONTAMINACIÓN EXISTENTE?**



**Gráfico 8: Resultados de percepción de gestión de contaminantes**

**¿ESTARÍA DISPUESTO A PARTICIPAR DE UN PLAN SOSTENIBLE PARA MANEJAR LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS Y/O LA ZONA?**



**Gráfico 9: Resultados de predisposición a la participación en la gestión de la contaminación del agua**

#### 4.3. Resultados de percepción sobre el parque recreacional

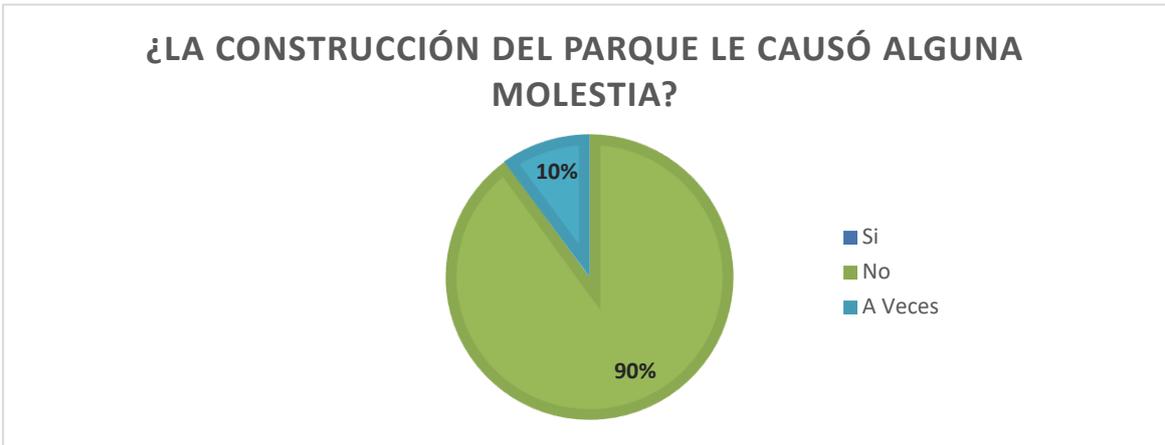


Gráfico 10: Resultados de percepción de molestias a causa del parque



Gráfico 11: Resultados de percepción de presencia de especies animales no deseadas

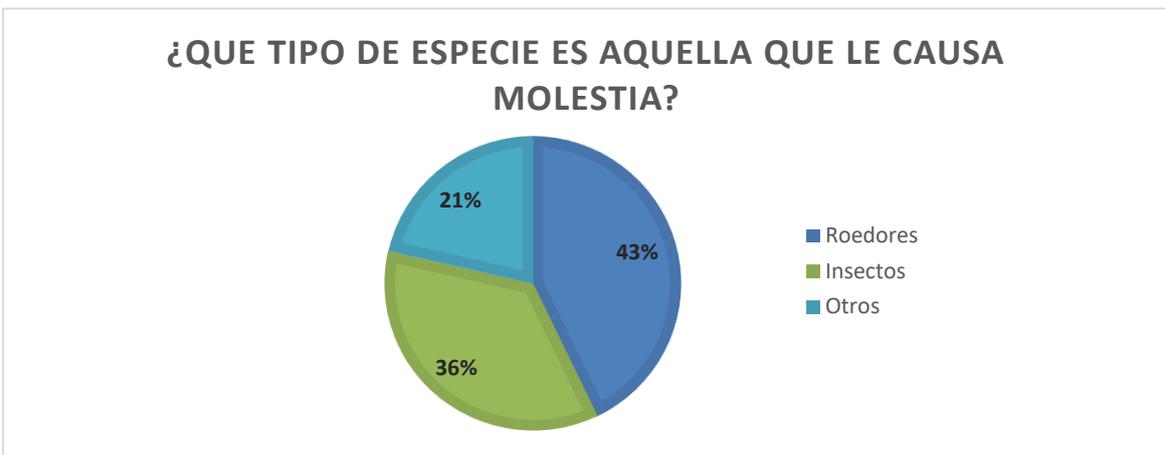


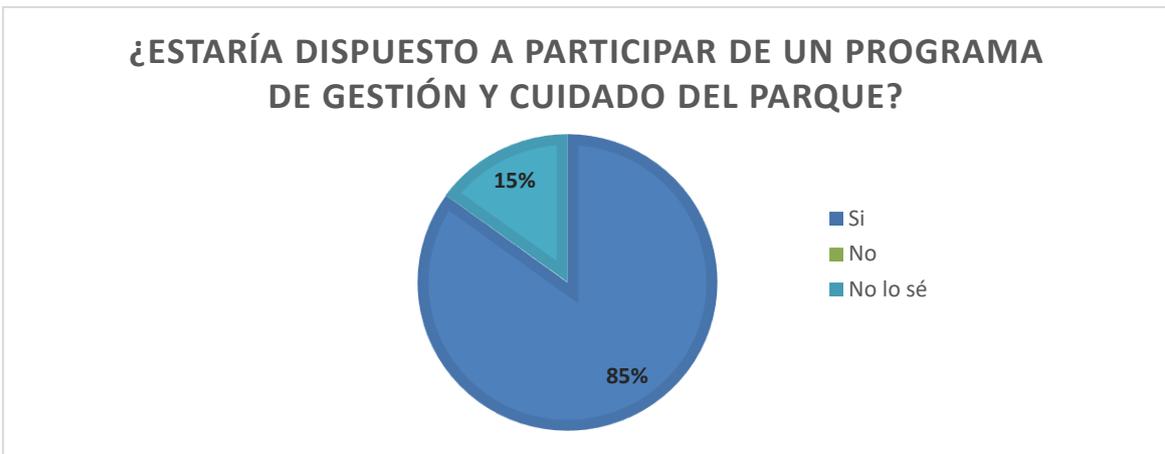
Gráfico 12: Resultados de animales no deseados identificados



**Gráfico 13: Resultados de percepción de mejoras paisajísticas**



**Gráfico 14: Resultados de percepción de la gestión integral del parque**



**Gráfico 15: Resultados de predisposición a la participación de la gestión del parque**

#### 4.4. Resultados de percepción sobre el humedal

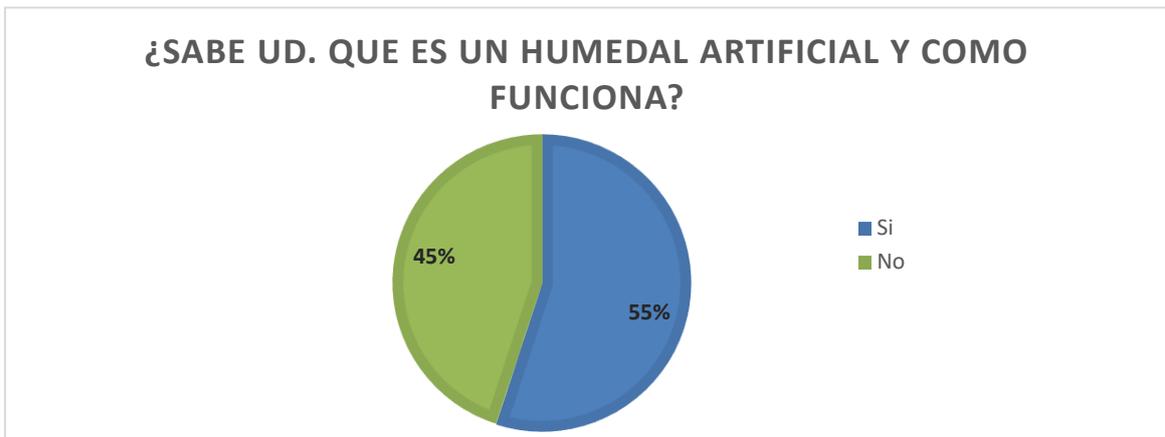


Gráfico 16: Resultados de conocimientos básicos sobre humedales

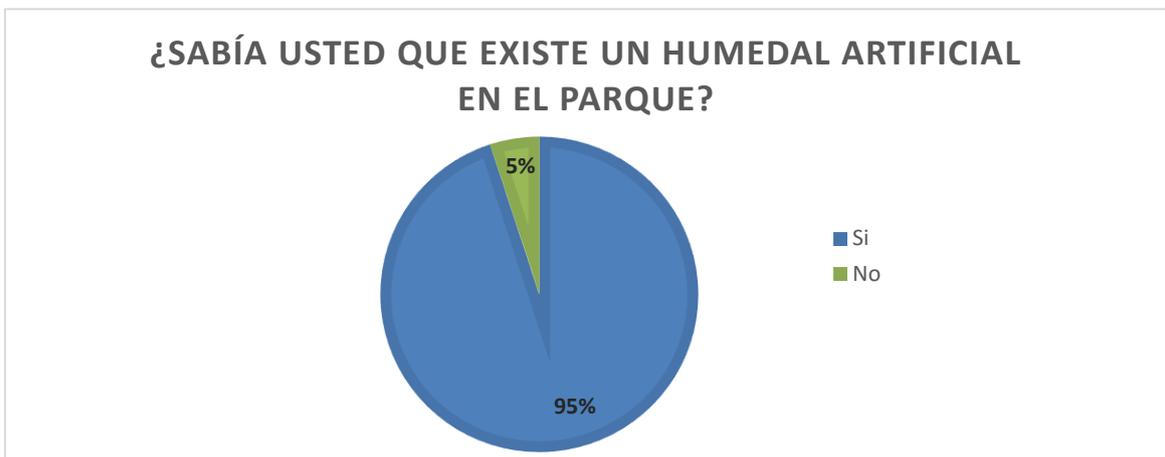
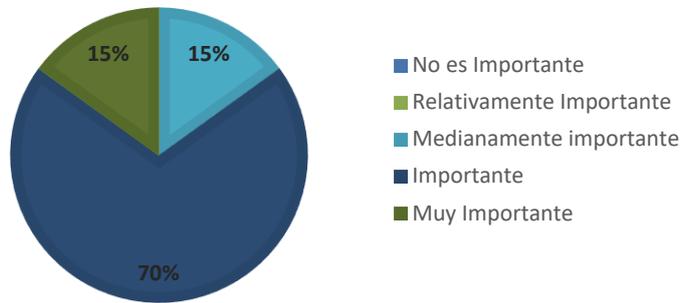


Gráfico 17: Resultados de conocimientos sobre el humedal existente en el parque



Gráfico 18: Resultados de percepción de molestias a causa de humedal

**¿QUÉ TAN IMPORTANTE CONSIDERA QUE ES EL HUMEDAL ARTIFICIAL INSTALADO EN SU COMUNIDAD?**



**Gráfico 19: Resultados de percepción de la importancia del humedal**

## **5. DESARROLLO DE MATRIZ DE EVALUACIÓN AMBIENTAL**

## 5.1. Identificación de factores ambientales susceptibles a recibir impactos

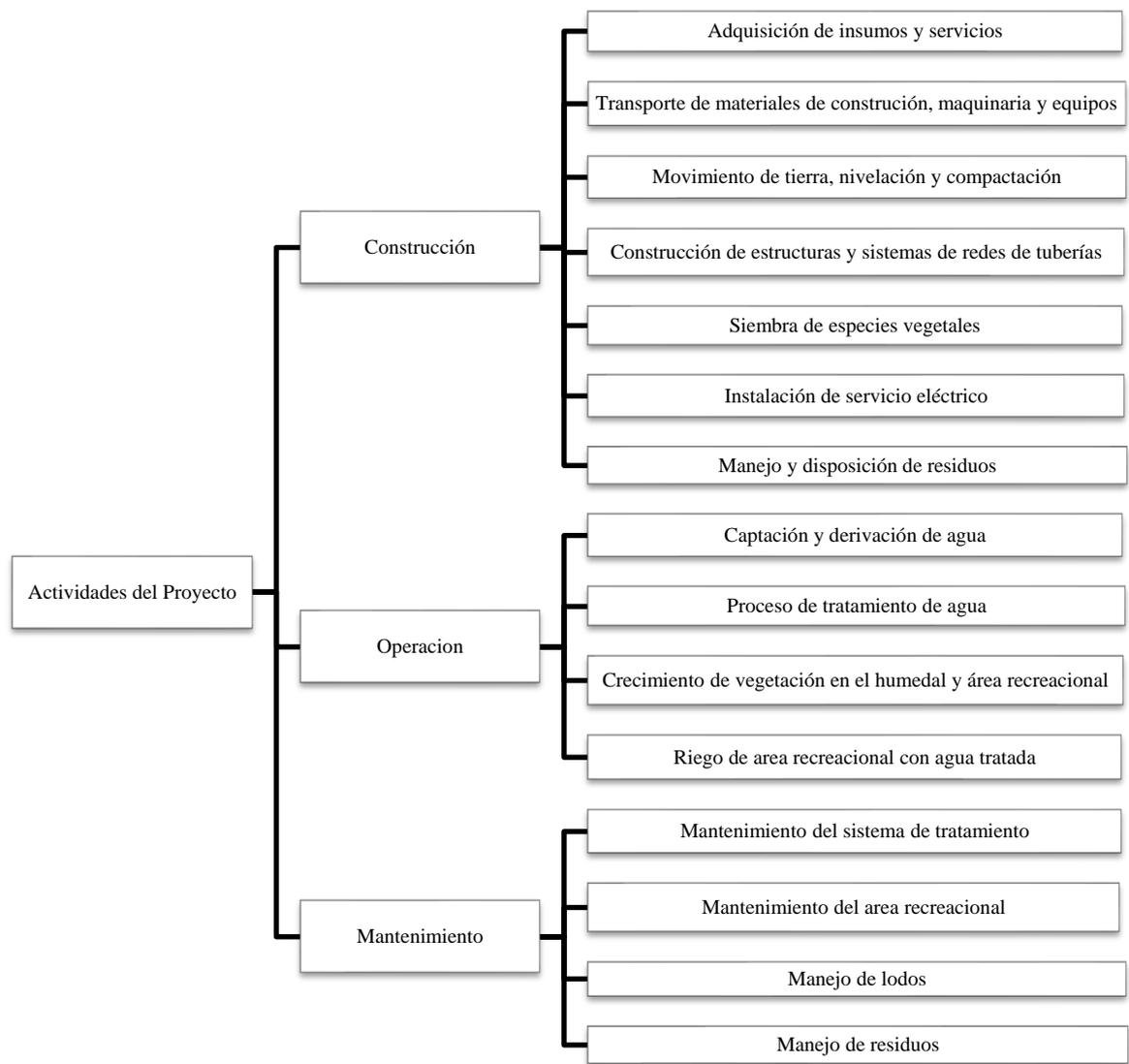
Por factores ambientales susceptibles a recibir impactos se presentan en la siguiente tabla

**Tabla 46: Impactos que afectaran los factores identificados**

Componente	Factor	Impactos Relacionados
Suelo	Calidad de Suelo	Cambios en el relieve del terreno
Agua	Calidad de Agua	Variaciones en la calidad del agua
	Disponibilidad de Agua	Variación de caudales
Aire	Calidad de Aire	Dispersión de material particulado
Ruido	Confort Sonoro	Ruidos y vibraciones
Paisaje	Calidad Paisajística	Alteración de la vista panorámica de la zona
		Variación en la cantidad de especies vegetales y aumento de las mismas
Flora	Flora	Alteración del hábitat y variación en las especies
Fauna	Fauna	Generación de empleos
Empleo	Empleo	Afectación de la salud de los habitantes
Salud	Salud	

## 5.2. Identificación de acciones del proyecto susceptibles a generar impactos.

Se ha previsto dividir el proyecto en tres etapas para una mejor identificación de acciones: Etapa de construcción, etapa de operación y etapa de mantenimiento. Los detalles de las actividades realizadas en cada etapa se presentan en la siguiente figura



**Figura 33: Acciones del proyecto susceptibles a generar impactos**

### 5.3. Matriz de valoración de impactos.

Conocidas las acciones del proyecto en estudio e identificados los factores ambientales potencialmente afectados por éste, es preciso definir con claridad los cruces que se prevé vayan a producirse entre las acciones del proyecto y los factores ambientales, para poder valorar la incidencia del proyecto sobre las variables del medio natural y socio-territorial del ámbito de referencia, y de esta forma poner de manifiesto los impactos derivados del proyecto analizado.

Esta matriz se construye sobre la base de las acciones que se presentan en cada etapa del proyecto, a los que se ha incorporado los criterios de probabilidad de ocurrencia del impacto y la incidencia del impacto debidamente analizados.

**Tabla 47: Asignación de valores de corrección de los factores**

Factores	Probabilidad de Ocurrencia	Ponderación a 1000 UIP
Calidad de Suelo	0.5	85
Calidad de Agua	1.0	140
Calidad de Aire	0.9	101
Confort Sonoro	0.9	85
Disponibilidad de Agua	0.7	116
Calidad Paisajística	1.0	116
Flora	0.7	101
Fauna	0.7	70
Empleo	0.5	85
Salud	0.5	101

Habiendo efectuado los cálculos correspondientes en las fichas de evaluación por impacto identificado se tiene como resultado la Matriz de Evaluación de Impactos Ambientales Final.

**Tabla 48: Clasificación de impactos según su valor obtenido**

Significancia del impacto	Valor
Muy Bueno	$75 < \text{Importancia}$
Bueno	$50 < \text{Importancia} \leq 75$
Moderado	$25 < \text{Importancia} \leq 50$
Ligero	$\text{Importancia} \leq 25$
Irrelevante y/o leve	$-25 \leq \text{Importancia}$
Moderado	$-50 \leq \text{Importancia} < -25$
Severo	$-75 \leq \text{Importancia} < -50$
Crítico	$\text{Importancia} < -75$

### Matriz de identificación de impactos

Medio	Componente	Actividades del Proyecto		Factores Ambientales		Etapa de Construcción				Etapa de Operación				Etapa de Mantenimiento		Sub total etapa de Construcción	Sub total etapa de Operación	Sub total etapa de Mantenimiento	TOTAL DE INTERACCIONES						
						Recursos		Movimiento de Tierra		Obras Civiles		Gestión de Residuos		Sistema de Tratamiento						Área recreacional		Instalaciones		Residuos	
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					11	12	13	14	15	
						Adquisición de insumos y servicios	Transporte de materiales de construcción, maquinaria y equipos	Movimiento de tierra, nivelación y compactación	Construcción de estructuras y sistema de redes de tuberías	Siembra de especies vegetales	Instalación de servicio eléctrico	Manejo y disposición de residuos	Captación y derivación de agua	Proceso de tratamiento de agua	Crecimiento de vegetación en el humedera y área recreacional					Riego de área recreacional con agua tratada	Mantenimiento del sistema de tratamiento	Mantenimiento de área recreacional	Manejo de Lodos	Manejo de residuos	
Físico	Suelo	A	Calidad de Suelo			A.3		A.5						A.10				2	1	0	3				
	Agua	B	Calidad de Agua			B.3	B.4							B.9			B.12		B.14		2	1	2	5	
		C	Disponibilidad de Agua											C.8	C.9		C.11	C.12				0	3	1	4
	Aire	D	Calidad de Aire		D.2	D.3	D.4			D.7				D.10							4	1	0	5	
Ruido	E	Confort Sonoro		E.2	E.3	E.4			E.7				E.9							4	1	0	5		
Perceptual	Paisaje	F	Calidad Paisajística			F.3	F.4	F.5		F.7				F.10			F.13		F.15	4	1	2	7		
Biótico	Flora	G	Flora					G.5						G.10	G.11						1	2	0	3	
	Fauna	H	Fauna											H.10							0	1	0	1	
Económico	Empleo	I	Empleo	I.1	I.2	I.3	I.4	I.5	I.6	I.7			I.9		I.11	I.12	I.13		I.15	7	2	3	12		
Social	Salud	J	Salud			J.3				J.7				J.10	J.11						2	2	0	4	
<b>TOTAL</b>				1	3	7	5	4	1	5	1	4	6	4	3	2	1	2	26	15	8	49			

## Fichas de evaluación de impactos

<p><b>CRUCE: A.3</b></p> <p><b>Acción del proyecto:</b> Movimiento de tierra, nivelación y compactación</p> <p><b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Calidad de Suelo</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>CRITERIO</th> <th>VALOR</th> <th>CARÁCTER</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Naturaleza</td> <td>NA -1</td> <td>Negativo</td> </tr> <tr> <td>Intensidad</td> <td>IN 1</td> <td>Baja</td> </tr> <tr> <td>Extensión</td> <td>EX 2</td> <td>Parcial ¿Crítico? NO</td> </tr> <tr> <td>Momento</td> <td>MO 4</td> <td>Inmediato ¿Crítico? NO</td> </tr> <tr> <td>Recuperabilidad</td> <td>MC 4</td> <td>Mitigable</td> </tr> <tr> <td>Persistencia</td> <td>PE 4</td> <td>Permanente</td> </tr> <tr> <td>Reversibilidad</td> <td>RV 1</td> <td>Corto Plazo</td> </tr> <tr> <td>Sinergia</td> <td>SI 1</td> <td>Sin sinergismo</td> </tr> <tr> <td>Periodicidad</td> <td>PR 1</td> <td>Irregular</td> </tr> <tr> <td>Acumulación</td> <td>AC 1</td> <td>Simple</td> </tr> <tr> <td>Efecto</td> <td>EF 4</td> <td>Directo</td> </tr> <tr> <td>Importancia</td> <td>-27</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	Naturaleza	NA -1	Negativo	Intensidad	IN 1	Baja	Extensión	EX 2	Parcial ¿Crítico? NO	Momento	MO 4	Inmediato ¿Crítico? NO	Recuperabilidad	MC 4	Mitigable	Persistencia	PE 4	Permanente	Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	Periodicidad	PR 1	Irregular	Acumulación	AC 1	Simple	Efecto	EF 4	Directo	Importancia	-27		<p><b>CRUCE: A.5</b></p> <p><b>Acción del proyecto:</b> Siembra de especies vegetales</p> <p><b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Calidad de Suelo</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>CRITERIO</th> <th>VALOR</th> <th>CARÁCTER</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Naturaleza</td> <td>NA 1</td> <td>Positivo</td> </tr> <tr> <td>Intensidad</td> <td>IN 1</td> <td>Baja</td> </tr> <tr> <td>Extensión</td> <td>EX 2</td> <td>Parcial ¿Crítico? NO</td> </tr> <tr> <td>Momento</td> <td>MO 4</td> <td>Inmediato ¿Crítico? NO</td> </tr> <tr> <td>Recuperabilidad</td> <td>MC 4</td> <td>Mitigable</td> </tr> <tr> <td>Persistencia</td> <td>PE 4</td> <td>Permanente</td> </tr> <tr> <td>Reversibilidad</td> <td>RV 1</td> <td>Corto Plazo</td> </tr> <tr> <td>Sinergia</td> <td>SI 1</td> <td>Sin sinergismo</td> </tr> <tr> <td>Periodicidad</td> <td>PR 1</td> <td>Irregular</td> </tr> <tr> <td>Acumulación</td> <td>AC 1</td> <td>Simple</td> </tr> <tr> <td>Efecto</td> <td>EF 4</td> <td>Directo</td> </tr> <tr> <td>Importancia</td> <td>27</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	Naturaleza	NA 1	Positivo	Intensidad	IN 1	Baja	Extensión	EX 2	Parcial ¿Crítico? NO	Momento	MO 4	Inmediato ¿Crítico? NO	Recuperabilidad	MC 4	Mitigable	Persistencia	PE 4	Permanente	Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	Periodicidad	PR 1	Irregular	Acumulación	AC 1	Simple	Efecto	EF 4	Directo	Importancia	27		<p><b>CRUCE: A.10</b></p> <p><b>Acción del proyecto:</b> Crecimiento de vegetación en el humedal y area recreacional</p> <p><b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Calidad de Suelo</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>CRITERIO</th> <th>VALOR</th> <th>CARÁCTER</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Naturaleza</td> <td>NA 1</td> <td>Positivo</td> </tr> <tr> <td>Intensidad</td> <td>IN 1</td> <td>Baja</td> </tr> <tr> <td>Extensión</td> <td>EX 2</td> <td>Parcial ¿Crítico? NO</td> </tr> <tr> <td>Momento</td> <td>MO 2</td> <td>Medio Plazo ¿Crítico? NO</td> </tr> <tr> <td>Recuperabilidad</td> <td>MC 4</td> <td>Mitigable</td> </tr> <tr> <td>Persistencia</td> <td>PE 4</td> <td>Permanente</td> </tr> <tr> <td>Reversibilidad</td> <td>RV 1</td> <td>Corto Plazo</td> </tr> <tr> <td>Sinergia</td> <td>SI 1</td> <td>Sin sinergismo</td> </tr> <tr> <td>Periodicidad</td> <td>PR 1</td> <td>Irregular</td> </tr> <tr> <td>Acumulación</td> <td>AC 1</td> <td>Simple</td> </tr> <tr> <td>Efecto</td> <td>EF 4</td> <td>Directo</td> </tr> <tr> <td>Importancia</td> <td>25</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	Naturaleza	NA 1	Positivo	Intensidad	IN 1	Baja	Extensión	EX 2	Parcial ¿Crítico? NO	Momento	MO 2	Medio Plazo ¿Crítico? NO	Recuperabilidad	MC 4	Mitigable	Persistencia	PE 4	Permanente	Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	Periodicidad	PR 1	Irregular	Acumulación	AC 1	Simple	Efecto	EF 4	Directo	Importancia	25		<p><b>CRUCE: B.3</b></p> <p><b>Acción del proyecto:</b> Movimiento de tierra, nivelación y compactación</p> <p><b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Calidad de Agua</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>CRITERIO</th> <th>VALOR</th> <th>CARÁCTER</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Naturaleza</td> <td>NA -1</td> <td>Negativo</td> </tr> <tr> <td>Intensidad</td> <td>IN 1</td> <td>Baja</td> </tr> <tr> <td>Extensión</td> <td>EX 1</td> <td>Puntual ¿Crítico? NO</td> </tr> <tr> <td>Momento</td> <td>MO 4</td> <td>Inmediato ¿Crítico? NO</td> </tr> <tr> <td>Recuperabilidad</td> <td>MC 1</td> <td>De manera inmediata</td> </tr> <tr> <td>Persistencia</td> <td>PE 1</td> <td>Fugaz</td> </tr> <tr> <td>Reversibilidad</td> <td>RV 1</td> <td>Corto Plazo</td> </tr> <tr> <td>Sinergia</td> <td>SI 1</td> <td>Sin sinergismo</td> </tr> <tr> <td>Periodicidad</td> <td>PR 1</td> <td>Irregular</td> </tr> <tr> <td>Acumulación</td> <td>AC 1</td> <td>Simple</td> </tr> <tr> <td>Efecto</td> <td>EF 1</td> <td>Indirecto</td> </tr> <tr> <td>Importancia</td> <td>-16</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	Naturaleza	NA -1	Negativo	Intensidad	IN 1	Baja	Extensión	EX 1	Puntual ¿Crítico? NO	Momento	MO 4	Inmediato ¿Crítico? NO	Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata	Persistencia	PE 1	Fugaz	Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	Periodicidad	PR 1	Irregular	Acumulación	AC 1	Simple	Efecto	EF 1	Indirecto	Importancia	-16		<p><b>CRUCE: B.4</b></p> <p><b>Acción del proyecto:</b> Construcción de estructuras y sistema de redes de tuberías</p> <p><b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Calidad de Agua</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>CRITERIO</th> <th>VALOR</th> <th>CARÁCTER</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Naturaleza</td> <td>NA -1</td> <td>Negativo</td> </tr> <tr> <td>Intensidad</td> <td>IN 1</td> <td>Baja</td> </tr> <tr> <td>Extensión</td> <td>EX 1</td> <td>Puntual ¿Crítico? NO</td> </tr> <tr> <td>Momento</td> <td>MO 4</td> <td>Inmediato ¿Crítico? NO</td> </tr> <tr> <td>Recuperabilidad</td> <td>MC 1</td> <td>De manera inmediata</td> </tr> <tr> <td>Persistencia</td> <td>PE 1</td> <td>Fugaz</td> </tr> <tr> <td>Reversibilidad</td> <td>RV 1</td> <td>Corto Plazo</td> </tr> <tr> <td>Sinergia</td> <td>SI 1</td> <td>Sin sinergismo</td> </tr> <tr> <td>Periodicidad</td> <td>PR 1</td> <td>Irregular</td> </tr> <tr> <td>Acumulación</td> <td>AC 1</td> <td>Simple</td> </tr> <tr> <td>Efecto</td> <td>EF 1</td> <td>Indirecto</td> </tr> <tr> <td>Importancia</td> <td>-16</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	Naturaleza	NA -1	Negativo	Intensidad	IN 1	Baja	Extensión	EX 1	Puntual ¿Crítico? NO	Momento	MO 4	Inmediato ¿Crítico? NO	Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata	Persistencia	PE 1	Fugaz	Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	Periodicidad	PR 1	Irregular	Acumulación	AC 1	Simple	Efecto	EF 1	Indirecto	Importancia	-16	
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER																																																																																																																																																																																																					
Naturaleza	NA -1	Negativo																																																																																																																																																																																																					
Intensidad	IN 1	Baja																																																																																																																																																																																																					
Extensión	EX 2	Parcial ¿Crítico? NO																																																																																																																																																																																																					
Momento	MO 4	Inmediato ¿Crítico? NO																																																																																																																																																																																																					
Recuperabilidad	MC 4	Mitigable																																																																																																																																																																																																					
Persistencia	PE 4	Permanente																																																																																																																																																																																																					
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo																																																																																																																																																																																																					
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo																																																																																																																																																																																																					
Periodicidad	PR 1	Irregular																																																																																																																																																																																																					
Acumulación	AC 1	Simple																																																																																																																																																																																																					
Efecto	EF 4	Directo																																																																																																																																																																																																					
Importancia	-27																																																																																																																																																																																																						
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER																																																																																																																																																																																																					
Naturaleza	NA 1	Positivo																																																																																																																																																																																																					
Intensidad	IN 1	Baja																																																																																																																																																																																																					
Extensión	EX 2	Parcial ¿Crítico? NO																																																																																																																																																																																																					
Momento	MO 4	Inmediato ¿Crítico? NO																																																																																																																																																																																																					
Recuperabilidad	MC 4	Mitigable																																																																																																																																																																																																					
Persistencia	PE 4	Permanente																																																																																																																																																																																																					
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo																																																																																																																																																																																																					
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo																																																																																																																																																																																																					
Periodicidad	PR 1	Irregular																																																																																																																																																																																																					
Acumulación	AC 1	Simple																																																																																																																																																																																																					
Efecto	EF 4	Directo																																																																																																																																																																																																					
Importancia	27																																																																																																																																																																																																						
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER																																																																																																																																																																																																					
Naturaleza	NA 1	Positivo																																																																																																																																																																																																					
Intensidad	IN 1	Baja																																																																																																																																																																																																					
Extensión	EX 2	Parcial ¿Crítico? NO																																																																																																																																																																																																					
Momento	MO 2	Medio Plazo ¿Crítico? NO																																																																																																																																																																																																					
Recuperabilidad	MC 4	Mitigable																																																																																																																																																																																																					
Persistencia	PE 4	Permanente																																																																																																																																																																																																					
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo																																																																																																																																																																																																					
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo																																																																																																																																																																																																					
Periodicidad	PR 1	Irregular																																																																																																																																																																																																					
Acumulación	AC 1	Simple																																																																																																																																																																																																					
Efecto	EF 4	Directo																																																																																																																																																																																																					
Importancia	25																																																																																																																																																																																																						
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER																																																																																																																																																																																																					
Naturaleza	NA -1	Negativo																																																																																																																																																																																																					
Intensidad	IN 1	Baja																																																																																																																																																																																																					
Extensión	EX 1	Puntual ¿Crítico? NO																																																																																																																																																																																																					
Momento	MO 4	Inmediato ¿Crítico? NO																																																																																																																																																																																																					
Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata																																																																																																																																																																																																					
Persistencia	PE 1	Fugaz																																																																																																																																																																																																					
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo																																																																																																																																																																																																					
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo																																																																																																																																																																																																					
Periodicidad	PR 1	Irregular																																																																																																																																																																																																					
Acumulación	AC 1	Simple																																																																																																																																																																																																					
Efecto	EF 1	Indirecto																																																																																																																																																																																																					
Importancia	-16																																																																																																																																																																																																						
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER																																																																																																																																																																																																					
Naturaleza	NA -1	Negativo																																																																																																																																																																																																					
Intensidad	IN 1	Baja																																																																																																																																																																																																					
Extensión	EX 1	Puntual ¿Crítico? NO																																																																																																																																																																																																					
Momento	MO 4	Inmediato ¿Crítico? NO																																																																																																																																																																																																					
Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata																																																																																																																																																																																																					
Persistencia	PE 1	Fugaz																																																																																																																																																																																																					
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo																																																																																																																																																																																																					
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo																																																																																																																																																																																																					
Periodicidad	PR 1	Irregular																																																																																																																																																																																																					
Acumulación	AC 1	Simple																																																																																																																																																																																																					
Efecto	EF 1	Indirecto																																																																																																																																																																																																					
Importancia	-16																																																																																																																																																																																																						
<p><b>CRUCE: B.9</b></p> <p><b>Acción del proyecto:</b> Proceso de tratamiento de agua</p> <p><b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Calidad de Agua</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>CRITERIO</th> <th>VALOR</th> <th>CARÁCTER</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Naturaleza</td> <td>NA 1</td> <td>Positivo</td> </tr> <tr> <td>Intensidad</td> <td>IN 4</td> <td>Alta</td> </tr> <tr> <td>Extensión</td> <td>EX 2</td> <td>Parcial ¿Crítico? NO</td> </tr> <tr> <td>Momento</td> <td>MO 4</td> <td>Inmediato ¿Crítico? NO</td> </tr> <tr> <td>Recuperabilidad</td> <td>MC 8</td> <td>Irrecuperable</td> </tr> <tr> <td>Persistencia</td> <td>PE 4</td> <td>Permanente</td> </tr> <tr> <td>Reversibilidad</td> <td>RV 2</td> <td>Medio Plazo</td> </tr> <tr> <td>Sinergia</td> <td>SI 1</td> <td>Sin sinergismo</td> </tr> <tr> <td>Periodicidad</td> <td>PR 2</td> <td>Periódico</td> </tr> <tr> <td>Acumulación</td> <td>AC 1</td> <td>Simple</td> </tr> <tr> <td>Efecto</td> <td>EF 4</td> <td>Directo</td> </tr> <tr> <td>Importancia</td> <td>42</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	Naturaleza	NA 1	Positivo	Intensidad	IN 4	Alta	Extensión	EX 2	Parcial ¿Crítico? NO	Momento	MO 4	Inmediato ¿Crítico? NO	Recuperabilidad	MC 8	Irrecuperable	Persistencia	PE 4	Permanente	Reversibilidad	RV 2	Medio Plazo	Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	Periodicidad	PR 2	Periódico	Acumulación	AC 1	Simple	Efecto	EF 4	Directo	Importancia	42		<p><b>CRUCE: B.12</b></p> <p><b>Acción del proyecto:</b> Mantenimiento del sistema de tratamiento</p> <p><b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Calidad de Agua</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>CRITERIO</th> <th>VALOR</th> <th>CARÁCTER</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Naturaleza</td> <td>NA 1</td> <td>Positivo</td> </tr> <tr> <td>Intensidad</td> <td>IN 2</td> <td>Media</td> </tr> <tr> <td>Extensión</td> <td>EX 1</td> <td>Puntual ¿Crítico? NO</td> </tr> <tr> <td>Momento</td> <td>MO 4</td> <td>Inmediato ¿Crítico? NO</td> </tr> <tr> <td>Recuperabilidad</td> <td>MC 1</td> <td>De manera inmediata</td> </tr> <tr> <td>Persistencia</td> <td>PE 2</td> <td>Temporal</td> </tr> <tr> <td>Reversibilidad</td> <td>RV 2</td> <td>Medio Plazo</td> </tr> <tr> <td>Sinergia</td> <td>SI 1</td> <td>Sin sinergismo</td> </tr> <tr> <td>Periodicidad</td> <td>PR 2</td> <td>Periódico</td> </tr> <tr> <td>Acumulación</td> <td>AC 1</td> <td>Simple</td> </tr> <tr> <td>Efecto</td> <td>EF 4</td> <td>Directo</td> </tr> <tr> <td>Importancia</td> <td>25</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	Naturaleza	NA 1	Positivo	Intensidad	IN 2	Media	Extensión	EX 1	Puntual ¿Crítico? NO	Momento	MO 4	Inmediato ¿Crítico? NO	Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata	Persistencia	PE 2	Temporal	Reversibilidad	RV 2	Medio Plazo	Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	Periodicidad	PR 2	Periódico	Acumulación	AC 1	Simple	Efecto	EF 4	Directo	Importancia	25		<p><b>CRUCE: B.14</b></p> <p><b>Acción del proyecto:</b> Manejo de Lodos</p> <p><b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Calidad de Agua</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>CRITERIO</th> <th>VALOR</th> <th>CARÁCTER</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Naturaleza</td> <td>NA -1</td> <td>Negativo</td> </tr> <tr> <td>Intensidad</td> <td>IN 2</td> <td>Media</td> </tr> <tr> <td>Extensión</td> <td>EX 2</td> <td>Parcial ¿Crítico? NO</td> </tr> <tr> <td>Momento</td> <td>MO 4</td> <td>Inmediato ¿Crítico? NO</td> </tr> <tr> <td>Recuperabilidad</td> <td>MC 1</td> <td>De manera inmediata</td> </tr> <tr> <td>Persistencia</td> <td>PE 2</td> <td>Temporal</td> </tr> <tr> <td>Reversibilidad</td> <td>RV 1</td> <td>Corto Plazo</td> </tr> <tr> <td>Sinergia</td> <td>SI 1</td> <td>Sin sinergismo</td> </tr> <tr> <td>Periodicidad</td> <td>PR 2</td> <td>Periódico</td> </tr> <tr> <td>Acumulación</td> <td>AC 1</td> <td>Simple</td> </tr> <tr> <td>Efecto</td> <td>EF 4</td> <td>Directo</td> </tr> <tr> <td>Importancia</td> <td>-26</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	Naturaleza	NA -1	Negativo	Intensidad	IN 2	Media	Extensión	EX 2	Parcial ¿Crítico? NO	Momento	MO 4	Inmediato ¿Crítico? NO	Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata	Persistencia	PE 2	Temporal	Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	Periodicidad	PR 2	Periódico	Acumulación	AC 1	Simple	Efecto	EF 4	Directo	Importancia	-26		<p><b>CRUCE: C.8</b></p> <p><b>Acción del proyecto:</b> Captación y derivación de agua</p> <p><b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Disponibilidad de Agua</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>CRITERIO</th> <th>VALOR</th> <th>CARÁCTER</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Naturaleza</td> <td>NA -1</td> <td>Negativo</td> </tr> <tr> <td>Intensidad</td> <td>IN 1</td> <td>Baja</td> </tr> <tr> <td>Extensión</td> <td>EX 1</td> <td>Puntual ¿Crítico? NO</td> </tr> <tr> <td>Momento</td> <td>MO 4</td> <td>Inmediato ¿Crítico? NO</td> </tr> <tr> <td>Recuperabilidad</td> <td>MC 1</td> <td>De manera inmediata</td> </tr> <tr> <td>Persistencia</td> <td>PE 1</td> <td>Fugaz</td> </tr> <tr> <td>Reversibilidad</td> <td>RV 1</td> <td>Corto Plazo</td> </tr> <tr> <td>Sinergia</td> <td>SI 1</td> <td>Sin sinergismo</td> </tr> <tr> <td>Periodicidad</td> <td>PR 2</td> <td>Periódico</td> </tr> <tr> <td>Acumulación</td> <td>AC 1</td> <td>Simple</td> </tr> <tr> <td>Efecto</td> <td>EF 4</td> <td>Directo</td> </tr> <tr> <td>Importancia</td> <td>-20</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	Naturaleza	NA -1	Negativo	Intensidad	IN 1	Baja	Extensión	EX 1	Puntual ¿Crítico? NO	Momento	MO 4	Inmediato ¿Crítico? NO	Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata	Persistencia	PE 1	Fugaz	Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	Periodicidad	PR 2	Periódico	Acumulación	AC 1	Simple	Efecto	EF 4	Directo	Importancia	-20		<p><b>CRUCE: C.9</b></p> <p><b>Acción del proyecto:</b> Proceso de tratamiento de agua</p> <p><b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Disponibilidad de Agua</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>CRITERIO</th> <th>VALOR</th> <th>CARÁCTER</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Naturaleza</td> <td>NA 1</td> <td>Positivo</td> </tr> <tr> <td>Intensidad</td> <td>IN 2</td> <td>Media</td> </tr> <tr> <td>Extensión</td> <td>EX 1</td> <td>Puntual ¿Crítico? NO</td> </tr> <tr> <td>Momento</td> <td>MO 4</td> <td>Inmediato ¿Crítico? NO</td> </tr> <tr> <td>Recuperabilidad</td> <td>MC 1</td> <td>De manera inmediata</td> </tr> <tr> <td>Persistencia</td> <td>PE 1</td> <td>Fugaz</td> </tr> <tr> <td>Reversibilidad</td> <td>RV 1</td> <td>Corto Plazo</td> </tr> <tr> <td>Sinergia</td> <td>SI 1</td> <td>Sin sinergismo</td> </tr> <tr> <td>Periodicidad</td> <td>PR 2</td> <td>Periódico</td> </tr> <tr> <td>Acumulación</td> <td>AC 4</td> <td>Acumulativo</td> </tr> <tr> <td>Efecto</td> <td>EF 4</td> <td>Directo</td> </tr> <tr> <td>Importancia</td> <td>26</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	Naturaleza	NA 1	Positivo	Intensidad	IN 2	Media	Extensión	EX 1	Puntual ¿Crítico? NO	Momento	MO 4	Inmediato ¿Crítico? NO	Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata	Persistencia	PE 1	Fugaz	Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	Periodicidad	PR 2	Periódico	Acumulación	AC 4	Acumulativo	Efecto	EF 4	Directo	Importancia	26	
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER																																																																																																																																																																																																					
Naturaleza	NA 1	Positivo																																																																																																																																																																																																					
Intensidad	IN 4	Alta																																																																																																																																																																																																					
Extensión	EX 2	Parcial ¿Crítico? NO																																																																																																																																																																																																					
Momento	MO 4	Inmediato ¿Crítico? NO																																																																																																																																																																																																					
Recuperabilidad	MC 8	Irrecuperable																																																																																																																																																																																																					
Persistencia	PE 4	Permanente																																																																																																																																																																																																					
Reversibilidad	RV 2	Medio Plazo																																																																																																																																																																																																					
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo																																																																																																																																																																																																					
Periodicidad	PR 2	Periódico																																																																																																																																																																																																					
Acumulación	AC 1	Simple																																																																																																																																																																																																					
Efecto	EF 4	Directo																																																																																																																																																																																																					
Importancia	42																																																																																																																																																																																																						
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER																																																																																																																																																																																																					
Naturaleza	NA 1	Positivo																																																																																																																																																																																																					
Intensidad	IN 2	Media																																																																																																																																																																																																					
Extensión	EX 1	Puntual ¿Crítico? NO																																																																																																																																																																																																					
Momento	MO 4	Inmediato ¿Crítico? NO																																																																																																																																																																																																					
Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata																																																																																																																																																																																																					
Persistencia	PE 2	Temporal																																																																																																																																																																																																					
Reversibilidad	RV 2	Medio Plazo																																																																																																																																																																																																					
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo																																																																																																																																																																																																					
Periodicidad	PR 2	Periódico																																																																																																																																																																																																					
Acumulación	AC 1	Simple																																																																																																																																																																																																					
Efecto	EF 4	Directo																																																																																																																																																																																																					
Importancia	25																																																																																																																																																																																																						
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER																																																																																																																																																																																																					
Naturaleza	NA -1	Negativo																																																																																																																																																																																																					
Intensidad	IN 2	Media																																																																																																																																																																																																					
Extensión	EX 2	Parcial ¿Crítico? NO																																																																																																																																																																																																					
Momento	MO 4	Inmediato ¿Crítico? NO																																																																																																																																																																																																					
Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata																																																																																																																																																																																																					
Persistencia	PE 2	Temporal																																																																																																																																																																																																					
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo																																																																																																																																																																																																					
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo																																																																																																																																																																																																					
Periodicidad	PR 2	Periódico																																																																																																																																																																																																					
Acumulación	AC 1	Simple																																																																																																																																																																																																					
Efecto	EF 4	Directo																																																																																																																																																																																																					
Importancia	-26																																																																																																																																																																																																						
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER																																																																																																																																																																																																					
Naturaleza	NA -1	Negativo																																																																																																																																																																																																					
Intensidad	IN 1	Baja																																																																																																																																																																																																					
Extensión	EX 1	Puntual ¿Crítico? NO																																																																																																																																																																																																					
Momento	MO 4	Inmediato ¿Crítico? NO																																																																																																																																																																																																					
Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata																																																																																																																																																																																																					
Persistencia	PE 1	Fugaz																																																																																																																																																																																																					
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo																																																																																																																																																																																																					
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo																																																																																																																																																																																																					
Periodicidad	PR 2	Periódico																																																																																																																																																																																																					
Acumulación	AC 1	Simple																																																																																																																																																																																																					
Efecto	EF 4	Directo																																																																																																																																																																																																					
Importancia	-20																																																																																																																																																																																																						
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER																																																																																																																																																																																																					
Naturaleza	NA 1	Positivo																																																																																																																																																																																																					
Intensidad	IN 2	Media																																																																																																																																																																																																					
Extensión	EX 1	Puntual ¿Crítico? NO																																																																																																																																																																																																					
Momento	MO 4	Inmediato ¿Crítico? NO																																																																																																																																																																																																					
Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata																																																																																																																																																																																																					
Persistencia	PE 1	Fugaz																																																																																																																																																																																																					
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo																																																																																																																																																																																																					
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo																																																																																																																																																																																																					
Periodicidad	PR 2	Periódico																																																																																																																																																																																																					
Acumulación	AC 4	Acumulativo																																																																																																																																																																																																					
Efecto	EF 4	Directo																																																																																																																																																																																																					
Importancia	26																																																																																																																																																																																																						

CRUCE: C.11			
<b>Acción del proyecto:</b> Riego de área recreacional con agua tratada			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Disponibilidad de Agua			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA -1	Negativo	
Intensidad	IN 1	Baja	
Extensión	EX 1	Puntual	¿Crítico? NO
Momento	MO 4	Inmediato	¿Crítico? NO
Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata	
Persistencia	PE 1	Fugaz	
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	
Periodicidad	PR 2	Periódico	
Acumulación	AC 1	Simple	
Efecto	EF 4	Directo	
Importancia	-20		

CRUCE: C.12			
<b>Acción del proyecto:</b> Mantenimiento del sistema de tratamiento			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Disponibilidad de Agua			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA 1	Positivo	
Intensidad	IN 2	Media	
Extensión	EX 1	Puntual	¿Crítico? NO
Momento	MO 2	Medio Plazo	¿Crítico? NO
Recuperabilidad	MC 2	A medio plazo	
Persistencia	PE 1	Fugaz	
Reversibilidad	RV 2	Medio Plazo	
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	
Periodicidad	PR 1	Irregular	
Acumulación	AC 1	Simple	
Efecto	EF 4	Directo	
Importancia	22		

CRUCE: D.2			
<b>Acción del proyecto:</b> Transporte de materiales de construcción, maquinaria y			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Calidad de Aire			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA -1	Negativo	
Intensidad	IN 2	Media	
Extensión	EX 1	Puntual	¿Crítico? NO
Momento	MO 4	Inmediato	¿Crítico? NO
Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata	
Persistencia	PE 1	Fugaz	
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	
Periodicidad	PR 1	Irregular	
Acumulación	AC 1	Simple	
Efecto	EF 4	Directo	
Importancia	-22		

CRUCE: D.3			
<b>Acción del proyecto:</b> Movimiento de tierra, nivelación y compactación			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Calidad de Aire			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA -1	Negativo	
Intensidad	IN 2	Media	
Extensión	EX 2	Parcial	¿Crítico? NO
Momento	MO 4	Inmediato	¿Crítico? NO
Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata	
Persistencia	PE 2	Temporal	
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	
Periodicidad	PR 1	Irregular	
Acumulación	AC 1	Simple	
Efecto	EF 4	Directo	
Importancia	-25		

CRUCE: D.4			
<b>Acción del proyecto:</b> Construcción de estructuras y sistema de redes de tuberías			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Calidad de Aire			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA -1	Negativo	
Intensidad	IN 1	Baja	
Extensión	EX 1	Puntual	¿Crítico? NO
Momento	MO 4	Inmediato	¿Crítico? NO
Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata	
Persistencia	PE 1	Fugaz	
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	
Periodicidad	PR 1	Irregular	
Acumulación	AC 1	Simple	
Efecto	EF 4	Directo	
Importancia	-19		

CRUCE: D.7			
<b>Acción del proyecto:</b> Manejo y disposición de residuos			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Calidad de Aire			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA 1	Positivo	
Intensidad	IN 1	Baja	
Extensión	EX 1	Puntual	¿Crítico? NO
Momento	MO 4	Inmediato	¿Crítico? NO
Recuperabilidad	MC 2	A medio plazo	
Persistencia	PE 2	Temporal	
Reversibilidad	RV 2	Medio Plazo	
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	
Periodicidad	PR 1	Irregular	
Acumulación	AC 1	Simple	
Efecto	EF 4	Directo	
Importancia	22		

CRUCE: D.10			
<b>Acción del proyecto:</b> Crecimiento de vegetación en el humedal y área recreacional			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Calidad de Aire			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA 1	Positivo	
Intensidad	IN 2	Media	
Extensión	EX 1	Puntual	¿Crítico? NO
Momento	MO 4	Inmediato	¿Crítico? NO
Recuperabilidad	MC 2	A medio plazo	
Persistencia	PE 4	Permanente	
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	
Periodicidad	PR 4	Continuo	
Acumulación	AC 4	Acumulativo	
Efecto	EF 4	Directo	
Importancia	32		

CRUCE: E.2			
<b>Acción del proyecto:</b> Transporte de materiales de construcción, maquinaria y			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Confort Sonoro			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA -1	Negativo	
Intensidad	IN 1	Baja	
Extensión	EX 1	Puntual	¿Crítico? NO
Momento	MO 4	Inmediato	¿Crítico? NO
Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata	
Persistencia	PE 1	Fugaz	
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	
Periodicidad	PR 1	Irregular	
Acumulación	AC 1	Simple	
Efecto	EF 1	Indirecto	
Importancia	-16		

CRUCE: E.3			
<b>Acción del proyecto:</b> Movimiento de tierra, nivelación y compactación			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Confort Sonoro			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA -1	Negativo	
Intensidad	IN 2	Media	
Extensión	EX 1	Puntual	¿Crítico? NO
Momento	MO 4	Inmediato	¿Crítico? NO
Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata	
Persistencia	PE 1	Fugaz	
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	
Periodicidad	PR 1	Irregular	
Acumulación	AC 1	Simple	
Efecto	EF 1	Indirecto	
Importancia	-19		

CRUCE: E.4			
<b>Acción del proyecto:</b> Construcción de estructuras y sistema de redes de tuberías			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Confort Sonoro			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA -1	Negativo	
Intensidad	IN 1	Baja	
Extensión	EX 1	Puntual	¿Crítico? NO
Momento	MO 4	Inmediato	¿Crítico? NO
Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata	
Persistencia	PE 1	Fugaz	
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	
Periodicidad	PR 1	Irregular	
Acumulación	AC 1	Simple	
Efecto	EF 1	Indirecto	
Importancia	-16		

CRUCE: E.7			
<b>Acción del proyecto:</b> Manejo y disposición de residuos			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Confort Sonoro			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA -1	Negativo	
Intensidad	IN 1	Baja	
Extensión	EX 1	Puntual <i>¿Crítico?</i>	NO
Momento	MO 4	Inmediato <i>¿Crítico?</i>	NO
Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata	
Persistencia	PE 1	Fugaz	
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	
Periodicidad	PR 1	Irregular	
Acumulación	AC 1	Simple	
Efecto	EF 1	Indirecto	
Importancia	-16		

CRUCE: E.9			
<b>Acción del proyecto:</b> Proceso de tratamiento de agua			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Confort Sonoro			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA -1	Negativo	
Intensidad	IN 1	Baja	
Extensión	EX 1	Puntual <i>¿Crítico?</i>	NO
Momento	MO 4	Inmediato <i>¿Crítico?</i>	NO
Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata	
Persistencia	PE 1	Fugaz	
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	
Periodicidad	PR 2	Periódico	
Acumulación	AC 1	Simple	
Efecto	EF 1	Indirecto	
Importancia	-17		

CRUCE: F.3			
<b>Acción del proyecto:</b> Movimiento de tierra, nivelación y compactación			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Calidad Paisajística			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA -1	Negativo	
Intensidad	IN 1	Baja	
Extensión	EX 1	Puntual <i>¿Crítico?</i>	NO
Momento	MO 4	Inmediato <i>¿Crítico?</i>	NO
Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata	
Persistencia	PE 2	Temporal	
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	
Periodicidad	PR 1	Irregular	
Acumulación	AC 1	Simple	
Efecto	EF 4	Directo	
Importancia	-20		

CRUCE: F.4			
<b>Acción del proyecto:</b> Construcción de estructuras y sistema de redes de tuberías			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Calidad Paisajística			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA -1	Negativo	
Intensidad	IN 1	Baja	
Extensión	EX 1	Puntual <i>¿Crítico?</i>	NO
Momento	MO 4	Inmediato <i>¿Crítico?</i>	NO
Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata	
Persistencia	PE 2	Temporal	
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	
Periodicidad	PR 1	Irregular	
Acumulación	AC 1	Simple	
Efecto	EF 4	Directo	
Importancia	-20		

CRUCE: F.5			
<b>Acción del proyecto:</b> Siembra de especies vegetales			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Calidad Paisajística			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA 1	Positivo	
Intensidad	IN 2	Media	
Extensión	EX 2	Parcial <i>¿Crítico?</i>	NO
Momento	MO 4	Inmediato <i>¿Crítico?</i>	NO
Recuperabilidad	MC 2	A medio plazo	
Persistencia	PE 1	Fugaz	
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	
Periodicidad	PR 1	Irregular	
Acumulación	AC 1	Simple	
Efecto	EF 4	Directo	
Importancia	25		

CRUCE: F.7			
<b>Acción del proyecto:</b> Manejo y disposición de residuos			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Calidad Paisajística			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA 1	Positivo	
Intensidad	IN 2	Media	
Extensión	EX 1	Puntual <i>¿Crítico?</i>	NO
Momento	MO 4	Inmediato <i>¿Crítico?</i>	NO
Recuperabilidad	MC 2	A medio plazo	
Persistencia	PE 4	Permanente	
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	
Periodicidad	PR 1	Irregular	
Acumulación	AC 1	Simple	
Efecto	EF 4	Directo	
Importancia	26		

CRUCE: F.10			
<b>Acción del proyecto:</b> Crecimiento de vegetación en el humedal y area recreacional			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Calidad Paisajística			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA 1	Positivo	
Intensidad	IN 4	Alta	
Extensión	EX 2	Parcial <i>¿Crítico?</i>	NO
Momento	MO 2	Medio Plazo <i>¿Crítico?</i>	NO
Recuperabilidad	MC 2	A medio plazo	
Persistencia	PE 4	Permanente	
Reversibilidad	RV 2	Medio Plazo	
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	
Periodicidad	PR 4	Continuo	
Acumulación	AC 1	Simple	
Efecto	EF 4	Directo	
Importancia	36		

CRUCE: F.13			
<b>Acción del proyecto:</b> Mantenimiento de area recreacional			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Calidad Paisajística			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA 1	Positivo	
Intensidad	IN 1	Baja	
Extensión	EX 2	Parcial <i>¿Crítico?</i>	NO
Momento	MO 2	Medio Plazo <i>¿Crítico?</i>	NO
Recuperabilidad	MC 2	A medio plazo	
Persistencia	PE 2	Temporal	
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	
Periodicidad	PR 2	Periódico	
Acumulación	AC 1	Simple	
Efecto	EF 4	Directo	
Importancia	22		

CRUCE: F.15			
<b>Acción del proyecto:</b> Manejo de residuos			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Calidad Paisajística			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA 1	Positivo	
Intensidad	IN 1	Baja	
Extensión	EX 1	Puntual <i>¿Crítico?</i>	NO
Momento	MO 4	Inmediato <i>¿Crítico?</i>	NO
Recuperabilidad	MC 2	A medio plazo	
Persistencia	PE 1	Fugaz	
Reversibilidad	RV 1	Corto Plazo	
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	
Periodicidad	PR 2	Periódico	
Acumulación	AC 1	Simple	
Efecto	EF 4	Directo	
Importancia	21		

CRUCE: G.5			
<b>Acción del proyecto:</b> Siembra de especies vegetales			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Flora			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA 1	Positivo	
Intensidad	IN 4	Alta	
Extensión	EX 2	Parcial <i>¿Crítico?</i>	NO
Momento	MO 4	Inmediato <i>¿Crítico?</i>	NO
Recuperabilidad	MC 1	De manera inmediata	
Persistencia	PE 1	Fugaz	
Reversibilidad	RV 2	Medio Plazo	
Sinergia	SI 1	Sin sinergismo	
Periodicidad	PR 1	Irregular	
Acumulación	AC 1	Simple	
Efecto	EF 4	Directo	
Importancia	31		

CRUCE: G.10			
<b>Acción del proyecto:</b> Crecimiento de vegetación en el humedal y área recreacional			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Flora			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA	1	Positivo
Intensidad	IN	4	Alta
Extensión	EX	2	Parcial <i>¿Crítico?</i> NO
Momento	MO	2	Medio Plazo <i>¿Crítico?</i> NO
Recuperabilidad	MC	2	A medio plazo
Persistencia	PE	4	Permanente
Reversibilidad	RV	1	Corto Plazo
Sinergia	SI	1	Sin sinergismo
Periodicidad	PR	4	Continuo
Acumulación	AC	4	Acumulativo
Efecto	EF	4	Directo
Importancia		38	

CRUCE: G.11			
<b>Acción del proyecto:</b> Riego de área recreacional con agua tratada			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Flora			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA	1	Positivo
Intensidad	IN	4	Alta
Extensión	EX	2	Parcial <i>¿Crítico?</i> NO
Momento	MO	4	Inmediato <i>¿Crítico?</i> NO
Recuperabilidad	MC	1	De manera inmediata
Persistencia	PE	2	Temporal
Reversibilidad	RV	2	Medio Plazo
Sinergia	SI	1	Sin sinergismo
Periodicidad	PR	2	Periódico
Acumulación	AC	1	Simple
Efecto	EF	4	Directo
Importancia		33	

CRUCE: H.10			
<b>Acción del proyecto:</b> Crecimiento de vegetación en el humedal y área recreacional			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Fauna			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA	1	Positivo
Intensidad	IN	2	Media
Extensión	EX	2	Parcial <i>¿Crítico?</i> NO
Momento	MO	2	Medio Plazo <i>¿Crítico?</i> NO
Recuperabilidad	MC	2	A medio plazo
Persistencia	PE	4	Permanente
Reversibilidad	RV	2	Medio Plazo
Sinergia	SI	1	Sin sinergismo
Periodicidad	PR	4	Continuo
Acumulación	AC	4	Acumulativo
Efecto	EF	4	Directo
Importancia		33	

CRUCE: I.1			
<b>Acción del proyecto:</b> Adquisición de insumos y servicios			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Empleo			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA	1	Positivo
Intensidad	IN	1	Baja
Extensión	EX	1	Puntual <i>¿Crítico?</i> NO
Momento	MO	4	Inmediato <i>¿Crítico?</i> NO
Recuperabilidad	MC	1	De manera inmediata
Persistencia	PE	2	Temporal
Reversibilidad	RV	2	Medio Plazo
Sinergia	SI	1	Sin sinergismo
Periodicidad	PR	1	Irregular
Acumulación	AC	1	Simple
Efecto	EF	1	Indirecto
Importancia		18	

CRUCE: I.2			
<b>Acción del proyecto:</b> Transporte de materiales de construcción, maquinaria y			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Empleo			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA	1	Positivo
Intensidad	IN	1	Baja
Extensión	EX	1	Puntual <i>¿Crítico?</i> NO
Momento	MO	4	Inmediato <i>¿Crítico?</i> NO
Recuperabilidad	MC	1	De manera inmediata
Persistencia	PE	2	Temporal
Reversibilidad	RV	2	Medio Plazo
Sinergia	SI	1	Sin sinergismo
Periodicidad	PR	1	Irregular
Acumulación	AC	1	Simple
Efecto	EF	1	Indirecto
Importancia		18	

CRUCE: I.3			
<b>Acción del proyecto:</b> Movimiento de tierra, nivelación y compactación			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Empleo			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA	1	Positivo
Intensidad	IN	1	Baja
Extensión	EX	1	Puntual <i>¿Crítico?</i> NO
Momento	MO	4	Inmediato <i>¿Crítico?</i> NO
Recuperabilidad	MC	1	De manera inmediata
Persistencia	PE	2	Temporal
Reversibilidad	RV	2	Medio Plazo
Sinergia	SI	1	Sin sinergismo
Periodicidad	PR	1	Irregular
Acumulación	AC	1	Simple
Efecto	EF	1	Indirecto
Importancia		18	

CRUCE: I.4			
<b>Acción del proyecto:</b> Construcción de estructuras y sistema de redes de tuberías			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Empleo			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA	1	Positivo
Intensidad	IN	1	Baja
Extensión	EX	1	Puntual <i>¿Crítico?</i> NO
Momento	MO	4	Inmediato <i>¿Crítico?</i> NO
Recuperabilidad	MC	1	De manera inmediata
Persistencia	PE	2	Temporal
Reversibilidad	RV	2	Medio Plazo
Sinergia	SI	1	Sin sinergismo
Periodicidad	PR	1	Irregular
Acumulación	AC	1	Simple
Efecto	EF	1	Indirecto
Importancia		18	

CRUCE: I.5			
<b>Acción del proyecto:</b> Siembra de especies vegetales			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Empleo			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA	1	Positivo
Intensidad	IN	1	Baja
Extensión	EX	1	Puntual <i>¿Crítico?</i> NO
Momento	MO	4	Inmediato <i>¿Crítico?</i> NO
Recuperabilidad	MC	1	De manera inmediata
Persistencia	PE	2	Temporal
Reversibilidad	RV	2	Medio Plazo
Sinergia	SI	1	Sin sinergismo
Periodicidad	PR	1	Irregular
Acumulación	AC	1	Simple
Efecto	EF	1	Indirecto
Importancia		18	

CRUCE: I.6			
<b>Acción del proyecto:</b> Instalación de servicio eléctrico			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Empleo			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA	1	Positivo
Intensidad	IN	1	Baja
Extensión	EX	1	Puntual <i>¿Crítico?</i> NO
Momento	MO	4	Inmediato <i>¿Crítico?</i> NO
Recuperabilidad	MC	1	De manera inmediata
Persistencia	PE	2	Temporal
Reversibilidad	RV	2	Medio Plazo
Sinergia	SI	1	Sin sinergismo
Periodicidad	PR	1	Irregular
Acumulación	AC	1	Simple
Efecto	EF	1	Indirecto
Importancia		18	

CRUCE: I.7			
<b>Acción del proyecto:</b> Manejo y disposición de residuos			
<b>Factor o proceso ambiental sobre el que incide:</b> Empleo			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA	1	Positivo
Intensidad	IN	1	Baja
Extensión	EX	1	Puntual <i>¿Crítico?</i> NO
Momento	MO	4	Inmediato <i>¿Crítico?</i> NO
Recuperabilidad	MC	1	De manera inmediata
Persistencia	PE	2	Temporal
Reversibilidad	RV	2	Medio Plazo
Sinergia	SI	1	Sin sinergismo
Periodicidad	PR	1	Irregular
Acumulación	AC	1	Simple
Efecto	EF	1	Indirecto
Importancia		18	

CRUCE: I.9			
Acción del proyecto: Proceso de tratamiento de agua			
Factor o proceso ambiental sobre el que incide: Empleo			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA	1	Positivo
Intensidad	IN	1	Baja
Extensión	EX	1	Puntual ¿Crítico? NO
Momento	MO	4	Inmediato ¿Crítico? NO
Recuperabilidad	MC	1	De manera inmediata
Persistencia	PE	2	Temporal
Reversibilidad	RV	2	Medio Plazo
Sinergia	SI	1	Sin sinergismo
Periodicidad	PR	2	Periódico
Acumulación	AC	1	Simple
Efecto	EF	1	Indirecto
Importancia	19		

CRUCE: I.11			
Acción del proyecto: Riego de area recreacional con agua tratada			
Factor o proceso ambiental sobre el que incide: Empleo			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA	1	Positivo
Intensidad	IN	1	Baja
Extensión	EX	1	Puntual ¿Crítico? NO
Momento	MO	4	Inmediato ¿Crítico? NO
Recuperabilidad	MC	1	De manera inmediata
Persistencia	PE	2	Temporal
Reversibilidad	RV	2	Medio Plazo
Sinergia	SI	1	Sin sinergismo
Periodicidad	PR	2	Periódico
Acumulación	AC	1	Simple
Efecto	EF	1	Indirecto
Importancia	19		

CRUCE: I.12			
Acción del proyecto: Mantenimiento del sistema de tratamiento			
Factor o proceso ambiental sobre el que incide: Empleo			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA	1	Positivo
Intensidad	IN	1	Baja
Extensión	EX	1	Puntual ¿Crítico? NO
Momento	MO	4	Inmediato ¿Crítico? NO
Recuperabilidad	MC	1	De manera inmediata
Persistencia	PE	1	Fugaz
Reversibilidad	RV	2	Medio Plazo
Sinergia	SI	1	Sin sinergismo
Periodicidad	PR	1	Irregular
Acumulación	AC	1	Simple
Efecto	EF	1	Indirecto
Importancia	17		

CRUCE: I.13			
Acción del proyecto: Mantenimiento de area recreacional			
Factor o proceso ambiental sobre el que incide: Empleo			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA	1	Positivo
Intensidad	IN	1	Baja
Extensión	EX	1	Puntual ¿Crítico? NO
Momento	MO	4	Inmediato ¿Crítico? NO
Recuperabilidad	MC	1	De manera inmediata
Persistencia	PE	2	Temporal
Reversibilidad	RV	2	Medio Plazo
Sinergia	SI	1	Sin sinergismo
Periodicidad	PR	2	Periódico
Acumulación	AC	1	Simple
Efecto	EF	1	Indirecto
Importancia	19		

CRUCE: I.15			
Acción del proyecto: Manejo de residuos			
Factor o proceso ambiental sobre el que incide: Empleo			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA	1	Positivo
Intensidad	IN	1	Baja
Extensión	EX	1	Puntual ¿Crítico? NO
Momento	MO	4	Inmediato ¿Crítico? NO
Recuperabilidad	MC	1	De manera inmediata
Persistencia	PE	2	Temporal
Reversibilidad	RV	2	Medio Plazo
Sinergia	SI	1	Sin sinergismo
Periodicidad	PR	2	Periódico
Acumulación	AC	1	Simple
Efecto	EF	1	Indirecto
Importancia	19		

CRUCE: J.3			
Acción del proyecto: Movimiento de tierra, nivelación y compactación			
Factor o proceso ambiental sobre el que incide: Salud			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA	-1	Negativo
Intensidad	IN	1	Baja
Extensión	EX	2	Parcial ¿Crítico? NO
Momento	MO	4	Inmediato ¿Crítico? NO
Recuperabilidad	MC	1	De manera inmediata
Persistencia	PE	2	Temporal
Reversibilidad	RV	2	Medio Plazo
Sinergia	SI	1	Sin sinergismo
Periodicidad	PR	1	Irregular
Acumulación	AC	1	Simple
Efecto	EF	1	Indirecto
Importancia	-20		

CRUCE: J.7			
Acción del proyecto: Manejo y disposición de residuos			
Factor o proceso ambiental sobre el que incide: Salud			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA	1	Positivo
Intensidad	IN	1	Baja
Extensión	EX	2	Parcial ¿Crítico? NO
Momento	MO	4	Inmediato ¿Crítico? NO
Recuperabilidad	MC	1	De manera inmediata
Persistencia	PE	2	Temporal
Reversibilidad	RV	2	Medio Plazo
Sinergia	SI	1	Sin sinergismo
Periodicidad	PR	1	Irregular
Acumulación	AC	1	Simple
Efecto	EF	1	Indirecto
Importancia	20		

CRUCE: J.10			
Acción del proyecto: Crecimiento de vegetación en el humedal y area recreacional			
Factor o proceso ambiental sobre el que incide: Salud			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA	1	Positivo
Intensidad	IN	1	Baja
Extensión	EX	2	Parcial ¿Crítico? NO
Momento	MO	4	Inmediato ¿Crítico? NO
Recuperabilidad	MC	1	De manera inmediata
Persistencia	PE	2	Temporal
Reversibilidad	RV	2	Medio Plazo
Sinergia	SI	1	Sin sinergismo
Periodicidad	PR	4	Continuo
Acumulación	AC	1	Simple
Efecto	EF	1	Indirecto
Importancia	23		

CRUCE: J.11			
Acción del proyecto: Riego de area recreacional con agua tratada			
Factor o proceso ambiental sobre el que incide: Salud			
CRITERIO	VALOR	CARÁCTER	
Naturaleza	NA	1	Positivo
Intensidad	IN	4	Alta
Extensión	EX	2	Parcial ¿Crítico? NO
Momento	MO	4	Inmediato ¿Crítico? NO
Recuperabilidad	MC	1	De manera inmediata
Persistencia	PE	4	Permanente
Reversibilidad	RV	2	Medio Plazo
Sinergia	SI	1	Sin sinergismo
Periodicidad	PR	4	Continuo
Acumulación	AC	4	Acumulativo
Efecto	EF	1	Indirecto
Importancia	37		

### Matriz de valoración de impactos

Medio	Componente	Actividades del Proyecto		Factores Ambientales		Etapas de Construcción							Etapas de Operación				Etapas de Mantenimiento				TOTAL ETAPA DE CIERRE O ABANDONO	VALOR RELATIVO DEL IMPACTO	VALORACION FINAL							
						Unidad de Importancia Ponderada (UIP)		Probabilidad de Ocurrencia		Recursos	Movimiento de Tierra		Obras Civiles			Cestión de Residuos	Sistema de Tratamiento		Area recreacional					Instalaciones		Residuos				
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15										
						Adquisición de insumos y servicios	Transporte de materiales de construcción, maquinaria y equipos	Movimiento de tierra, nivelación y compactación	Construcción de estructuras y sistema de redes de tuberías	Siembra de especies vegetales	Instalación de servicio eléctrico	Manejo y disposición de residuos	Captación y derivación de agua	Proceso de tratamiento de agua	Crecimiento de vegetación en el humedal y area recreacional	Riego de area recreacional con agua tratada	Mantenimiento del sistema de tratamiento	Mantenimiento de area recreacional	Manejo de Lodos	Manejo de residuos										
TOTAL ETAPA DE CONSTRUCCION							VALOR RELATIVO DEL IMPACTO							TOTAL ETAPA DE OPERACIÓN				VALOR RELATIVO DEL IMPACTO												
Físico	Suelo	A	Calidad de Suelo	85	0.5			-27.00		27.00					0.00	0.00			25.00		25.00	1.06					0.00	0.00	1.06	
	Agua	B	Calidad de Agua	140	1.0			-16.00	-16.00						-32.00	-4.48			42.00		42.00	5.88	25.00		-26.00		-1.00	-0.14	1.26	
		C	Disponibilidad de Agua	101	0.9										0.00	0.00	-20.00	26.00		-20.00		-14.00	-1.27	22.00				22.00	2.00	0.73
	Aire	D	Calidad de Aire	85	0.9		-22.00	-25.00	-19.00				22.00	-44.00	-3.37				32.00		32.00	2.45						0.00	0.00	-0.92
	Ruido	E	Confort Sonoro	116	0.7		-16.00	-19.00	-16.00				-16.00	-67.00	-5.44			-17.00				-17.00	-1.38					0.00	0.00	-6.82
Perceptual	Paisaje	F	Calidad Paisajística	116	1.0			-20.00	-20.00	25.00		26.00	11.00	1.28				36.00		36.00	4.18		22.00		21.00	43.00	4.99	10.44		
Biótico	Flora	G	Flora	101	0.7					31.00			31.00	2.19				38.00	33.00	71.00	5.02					0.00	0.00	7.21		
	Fauna	H	Fauna	70	0.7								0.00	0.00				33.00		33.00	1.62					0.00	0.00	1.62		
Economico	Empleo	I	Empleo	85	0.5	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	18.00	126.00	5.36		19.00		19.00	38.00	1.62	17.00	19.00		19.00	55.00	2.34	9.31			
Social	Salud	J	Salud	101	0.5			-20.00				20.00	0.00	0.00				23.00	37.00	60.00	3.03					0.00	0.00	3.03		
TOTAL						18.00	-20.00	-109.00	-53.00	101.00	18.00	70.00	2.50	-4.46	10	8	10	10	30.60	22.20	9	10	7	3	13.86	9.19	26.92			

## **6. DESARROLLO DEL ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO**

## **6.1. Flujo de caja de la inversión:**

- **Costos de Construcción**

Los costos de construcción se obtuvieron del presupuesto del proyecto, y tiene como resultado un monto de S/. 53,886.69 (Sin IGV).

- **Costos de Operación:**

Los costos de operación son el resultado del análisis de abastecimiento de personal y equipos que puede proporcionarse para el cuidado y operación del humedal.

Como referencia tenemos a Carvajal et ál. (2018), el cual presenta valores de operación y mantenimiento en proyectos similares en Bolivia, en los cuales atribuye un costo de 2 a 5 \$/hab./año. Por otro lado, el Ministerio del Ambiente. (2009) en su Guía para Municipios Ecoeficientes presenta costos para casos similares en Perú, en los cuales se atribuye un costo de operación aproximado de 4 a 8 horas hombre por mes, donde, considerando que la hora hombre varía de S/.14.00 a S/.23.00, se estima que el costo anual promedio para la operación del sistema es de S/.1440.00 (mil cuatrocientos cuarenta con 00/100 soles).

- **Costos de mantenimiento:**

El costo de mantenimiento se estimó en un 8% de la inversión inicial, estimándose así mismo que el mantenimiento se realizará cada 5 años.

En este sentido el costo de mantenimiento es de S/.4,310.94 (cuatro mil trescientos diez con 94/100 soles) cada 5 años. Es decir que el costo anual de mantenimiento es de S/.862.19 (ochocientos sesenta y dos con 19/100 soles).

- **Costos de servicios para funcionamiento:**

El costo de servicios se realizó mediante el análisis del consumo de electricidad y agua, necesarios para el funcionamiento del sistema de tratamiento. La estimación del costo de electricidad se realizó mediante el cálculo del consumo de las bombas los cuales se obtuvieron de la ficha técnica FEKA VS - VX. El cálculo incluye los costos fijos por el servicio de electricidad vigentes al 2014 - 2015 (OSINERMIN, 2015). Obteniéndose un costo anual de S/. 153.09 (ciento cincuenta y tres con 09/100 soles)

**Tabla 49: Costo de inversión inicial del proyecto**

<b>PARTIDA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>METRADO</b>	<b>PRECIO S/.</b>	<b>PARCIAL S/.</b>
<b>01.00.00</b>	<b><u>OBRAS PROVISIONALES</u></b>				
	CARTEL DE IDENTIFICACION DE LA OBRA DE 3.60X2.40M C/GIGANTOGRAFIA	glb	1.00	360.00	360.00
	ALMACEN Y CASETA DE GUARDIANIA	mes	1.00	1,500.00	1,500.00
	MOVILIZACION DE EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y OTROS	glb	1.00	300.00	300.00
<b>02.00.00</b>	<b><u>SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS DE CANAL</u></b>				
<b>02.01.00</b>	<b><u>TRABAJOS PRELIMINARES</u></b>				
	LIMPIEZA INICIAL DEL AREA DE TRABAJO	m2	71.76	1.50	107.64
	TRAZO Y REPLANTEO	m2	138.32	1.78	246.21
<b>02.02.00</b>	<b><u>MOVIMIENTO DE TIERRAS</u></b>				
	EXCAVACION MANUAL EN TERRENO NORMAL	m3	54.02	29.58	1,597.91
	RELLENO Y COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO SELECCIONADO	m3	69.16	54.27	3,753.31
	NIVELACION INT. Y APISONADO FINAL DEL TERRENO PREVIO AL PISO C/PLANCHA COMPACTADORA	m3	71.76	2.56	183.71
	ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE HASTA 30M	m3	70.23	47.24	
<b>02.03.00</b>	<b><u>OBRAS DE CONCRETO SIMPLE</u></b>				
	CONCRETO CICLOPEO 1:8 + 25% PM PARA CIMIENTOS EN HUMEDAL	m3	5.04	170.31	857.72
	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PARA CIMIENTOS EN HUMEDAL	m3	4.03	33.87	136.46
	FALSO PISO E=4", CON MORTERO C:H 1:8	m3	0.46	170.31	78.27
<b>02.04.00</b>	<b><u>OBRAS DE CONCRETO ARMADO</u></b>				
	CONCRETO F'C= 210 KG/CM2	m3	11.28	325.81	3,675.27
	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m2	70.39	38.36	2,700.12
	<b>ACERO FY=4200KG/CM2</b>				
	VARILLAS DE Ø 1/2"	ml	351.00	3.78	1,326.00
	VARILLAS DE Ø 3/8"	ml	432.00	1.89	816.00
	VARILLAS DE Ø 1/4"	ml	9.00	0.76	6.80
<b>02.05.00</b>	<b><u>MUROS Y TABIQUERIA</u></b>				
	MURO DE LADRILLO DE SOGA C/MEZCLA 1:5	m2	62.74	37.43	2,348.36
<b>02.06.00</b>	<b><u>REVOQUES ENLUCIDOS Y MOLDURAS</u></b>				
	TARRAJEO EN MUROS INTERIORES Y EXTERIORES C/MEZCLA 1:5, E=1.50 CM	m2	49.28	49.28	2,428.52
<b>02.07.00</b>	<b><u>CIELOS RASOS</u></b>				
	CIELO RASO CON MEZCLA 1:5 CEMENTO-ARENA	m2	8.88	84.90	753.49
<b>02.08.00</b>	<b><u>PISOS Y PAVIMENTOS</u></b>				
	PISO DE CONCRETO F'C=140KG/CM2, CON ACABADO CEMENTO PULIDO	m2	5.50	74.91	412.01
<b>02.09.00</b>	<b><u>INSTALACIONES ELECTROMECANICAS MECANICAS</u></b>				
	SUMINISTRO E INSTALACION BOMBA SUMERGIBLE 0.75 HP Q=300 L/M	und	2.00	1,250.00	2,500.00
	SUMINISTRO E INSTALACION DE BOMBA DE AGUA DE 1HP	und	1.00	1,500.00	1,500.00
<b>02.10.02</b>	<b><u>SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIAS Y ACCESORIOS PVC PARA DESAGUE</u></b>				
	TUBERIA PVC SAP DN 100 CON PERFORACIONES	ml	8.75	35.00	306.25
	TUBERIA PVC SAP DN 100	ml	14.40	25.00	360.00
	CODO 90° PVC SAP DN 100	und	1.00	8.00	8.00
	CODO 45° PVC SAP DN 100	und	1.00	8.00	8.00
	TAPON DE VENTILACION TIPO SOMBRERO PVC DN 100	und	1.00	15.00	15.00
	TAPA DE VENTILACION PVC DN 100	und	1.00	15.00	15.00
	TEE PVC SAP DN 100	und	6.00	9.50	57.00

	UNION PVCS SAP DN 100	und	1.00	15.00	15.00
	TUBERIA PVC SAP DN 50	ml	10.10	10.00	101.00
	CURVA 90° PVC SAP DN 50	und	11.00	12.40	136.40
	TEE PVC SAP DN 50	und	3.00	8.00	24.00
	VALVULA PVC TIPO GLOBO DN 50 CONEXIÓN ROSCADA	und	2.00	16.40	32.80
	UNION UNIVERSAL PVC SAP DN 50	und	2.00	22.60	45.20
	MANGUERA PARA BOMBA DN 50 MM	ml	5.00	10.00	50.00
	REDUCTOR PVC SAP DN 50X32	und	4.00	5.00	20.00
	TUBERIA PVC SAP DN 32 CON PERFORACIONES DE 8 MM	ml	37.20	6.50	241.80
	TAPONES PVC S/P DN 32 CLASE 10 (SIN PEGAMENTO)	und	4.00	5.00	20.00
<b>02.11.00</b>	<b>INSTALACIONES ELECTRICAS</b>				
	SUMINISTRO E INSTALACION DE CABLE ELECTRICO # 12 AWG	und	1.00	1,000.00	1,000.00
	SUMINISTRO E INSTALACION DE TUBERIA PVC SEL DE LUZ Y ACCESORIOS	und	1.00	1,500.00	1,500.00
	TABLERO ELECTRICO	und	1.00	2,500.00	2,500.00
<b>02.12.00</b>	<b>IMPERMEABILIZACION CON GEOMEMBRANA DE HUMEDAL</b>				
	SUMINISTRO DE GEOMEMBRANA PVC e=1 mm	m2	85.91	28.50	2,448.44
	INSTALACION DE GEOMEMBRANA PVC e=1 mm	und	1.00	1,000.00	1,000.00
<b>02.13.00</b>	<b>LECHO FILTRANTE PARA HUMEDAL</b>				
	CONFITILLO GRANULAR	m3	15.00	60.00	900.00
	ARENA GRUESA LAVADA	m3	25.00	35.00	875.00
<b>02.14.00</b>	<b>MARCO Y TAPA DE REGISTRO</b>				
	SUMINISTRO E INSTALACION DE MARCO Y TAPA DE INSPECCION 60 X 60 CM	und	4.00	150.00	600.00
<b>02.15.00</b>	<b>REJA DE ENTRADA</b>				
	INSUMO E INSTALACION DE REJA	glb	1.00	1,500.00	1,500.00
<b>02.16.00</b>	<b>PLANTACION DE LAS MACROFITAS</b>				
	Macrofitas	und	200.00	1.50	300.00
<b>02.17.00</b>	<b>VARIOS</b>				
	IMPREVISTOS	glb	1.00	1,500.00	1,500.00
	MATERIALES DE OBRA	glb	1.00	1,000.00	1,000.00
	<b>COSTO DIRECTO</b>				S/. 45,666.68
	<b>GASTOS GENERALES (8%)</b>				3,653.33
	<b>UTILIDAD (10%)</b>				4,566.67
	<b>SUB TOTAL</b>				<b>S/. 53,886.69</b>

**Tabla 50: Costo de operación del sistema**

Ítem	Costo
Gastos de Operación (mensual):	S/. 120.00
Total anual	S/. 1440.00

**Tabla 51: Costo de mantenimiento del sistema**

Ítem	Costo
Mantenimiento cada 5 años (8% de la inversión inicial)	S/. 4,310.94
Desagregado anual	S/. 862.19

**Tabla 52: Costo de servicios eléctricos para funcionamiento del sistema**

Ítem	Bombeo al humedal 0.75 HP	Bomba de desfogue de lodos 0.75 HP	Bomba de Riego 1.00 HP
Consumo eléctrico (KW/h)	0.84	0.84	1.10
Cantidad de bombas (Und)	1.00	1.00	1.00
Tiempo de consumo diario (hora)	0.75	0.10	0.33
Promedio de días de funcionamiento al mes (días)	14.00	14.00	14.00
Costo por KW/h (S/.)	0.48	0.48	0.48
Costo mensual por bomba (S/.)	4.23	0.56	2.44
Cargo fijo (S/.)		2.41	
Reposición y mantenimiento de conexiones (S/.)		3.11	
<b>TOTAL ANUAL (S/.)</b>		<b>153.09</b>	

Por otro lado, los costos de la dotación de agua para el proceso de tratamiento fueron establecidos por la Junta de Usuarios de Chuquitanta en S/. 10.00 (diez soles con 00/100) mensuales, haciendo un total anual de S/. 120.00 (ciento veinte con 00/100 soles).

**Tabla 53: Costo de dotación de agua para tratamiento**

Ítem	Costo	
Costo mensual de dotación de agua	S/.	10.00
Total anual	S/.	120.00

- **Beneficio de uso directo:**

Los beneficios económicos se calcularon mediante la estimación de dos escenarios de costos evitados o sustitutos

- Costos sustitutos por pago de servicio de agua potable de red pública

Estos costos se hallaron a través de la estructura tarifaria vigente a junio del año 2015 para la categoría de servicio estatal por el proveedor del servicio la cual se resume en la tabla siguiente.

**Tabla 54: Costo de facturación de red pública**

Ítem	Costo	
Categoría de Facturación	Estatal (Publico)	
Costo por metro cubico de agua potable	S/.	3.195
Cargo fijo	S/.	4.886

- Costos sustitutos por pago de servicio de agua potable a camión cisterna

La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento – SUNASS estimó en un artículo informativo publicado en enero del 2016, que la compra de agua potable a camiones cisterna tiene un costo promedio de S/. 15.00 (quince soles con 00/100) por metro cubico.

**Tabla 55: Costo de abastecimiento por cisternas**

Ítem	Costo	
Costo por metro cubico	S/.	15.00

En este sentido, teniendo en consideración que el requerimiento de agua para riego de 598.16 m<sup>2</sup> de áreas verdes, es de 39 m<sup>3</sup>/semana, se obtienen los resultados mostrados a continuación.

**Tabla 56: Beneficios monetarios por costos sustitutos del humedal artificial**

Ítem	Escenario 1 Sistema de Pago a Red Publica		Escenario 2 Sistema de Compra a Cisterna	
Requerimiento mensual de agua (m <sup>3</sup> /mes)		156.00		156.00
Costo por m <sup>3</sup> (junio 2015)	S/.	3.195	S/.	15.00
Cargo fijo	S/.	4.886		-
Total costo mensual	S/.	503.31	S/.	2,340.00
<b>TOTAL ANUAL</b>	S/.	<b>6,039.67</b>	S/.	<b>28,080.00</b>

Finalmente, se realiza el flujo de caja para los escenarios establecidos: Sistema de pago a la red pública y Sistema de compra a camiones cisterna.





## 6.2. Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto (VAN) se calculó con la fórmula correspondiente.

$$VAN = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Qn}{(1+r)^n}$$

Se ha considerado los flujos de caja calculados para cada escenario previamente establecidos. Así mismo, se ha estimado el valor de la renta fija (r) como el promedio de las tasas de interés del Banco Central de Reserva desde julio del 2014 a marzo del 2020, teniendo un resultante de 3.45%.

**Tabla 59: Tasas de interés del Banco Central de Reserva - Tasa de referencia de la política monetaria**

Periodo	Tasa de Interés (r)	Periodo	Tasa de Interés (r)	Periodo	Tasa de Interés (r)
jul-14	3.75 %	jun-16	4.25 %	may-18	2.75 %
ago-14	3.75 %	jul-16	4.25 %	jun-18	2.75 %
sep-14	3.50 %	ago-16	4.25 %	jul-18	2.75 %
oct-14	3.50 %	sep-16	4.25 %	ago-18	2.75 %
nov-14	3.50 %	oct-16	4.25 %	sep-18	2.75 %
dic-14	3.50 %	nov-16	4.25 %	oct-18	2.75 %
ene-15	3.25 %	dic-16	4.25 %	nov-18	2.75 %
feb-15	3.25 %	ene-17	4.25 %	dic-18	2.75 %
mar-15	3.25 %	feb-17	4.25 %	ene-19	2.75 %
abr-15	3.25 %	mar-17	4.25 %	feb-19	2.75 %
may-15	3.25 %	abr-17	4.25 %	mar-19	2.75 %
jun-15	3.25 %	may-17	4.00 %	abr-19	2.75 %
jul-15	3.25 %	jun-17	4.00 %	may-19	2.75 %
ago-15	3.25 %	jul-17	3.75 %	jun-19	2.75 %
sep-15	3.50 %	ago-17	3.75 %	jul-19	2.75 %
oct-15	3.50 %	sep-17	3.50 %	ago-19	2.50 %
nov-15	3.50 %	oct-17	3.50 %	sep-19	2.50 %
dic-15	3.75 %	nov-17	3.25 %	oct-19	2.50 %
ene-16	4.00 %	dic-17	3.25 %	nov-19	2.25 %
feb-16	4.25 %	ene-18	3.00 %	dic-19	2.25 %
mar-16	4.25 %	feb-18	3.00 %	ene-20	2.25 %
abr-16	4.25 %	mar-18	2.75 %	feb-20	2.25 %
may-16	4.25 %	abr-18	2.75 %	mar-20	1.25 %

**Tabla 60: Valor actual neto – Costos sustitutos del escenario 1: Pago a red publica**

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo de Caja Económico (FCE)	-S/63,586.29	S/4,109.59									
Tasa de Interés Promedio (r)		3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%
Valor Actual Neto (VAN)	-S/63,586.29	3972.63	3840.23	3712.25	3588.53	3468.94	3353.33	3241.57	3133.54	3029.11	2928.16
											<b>-29318.00</b>

**Tabla 61: Valor actual neto – Costos sustitutos del escenario 2: Pago a proveedores (Cisterna)**

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo de Caja Económico (FCE)	-S/63,586.29	S/30,117.17									
Tasa de Interés Promedio (r)		3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%	3.45%
Valor Actual Neto (VAN)	-S/63,586.29	29113.46	28143.20	27205.28	26298.61	25422.16	24574.92	23755.92	22964.21	22198.89	21459.07
											<b>187549.44</b>

### 6.3. Tasa interna de retorno (TIR)

Mediante el desarrollo de un cálculo matemático básico se ha establecido el valor de la Tasa Interna de Retorno (TIR), el cual como ya se ha mencionado es el valor de renta fija que hace el Valor Actual Neto igual a 0 (VAN=0)

$$0 = -I + \sum_{n=1}^N \frac{Qn}{(1+r)^n}$$

El valor de la TIR fue calculado mediante dos iteraciones y una regla de tres que nos permitió hallar el valor de la incógnita.

#### a. Tasa Interna de Retorno: Escenario 1 (Sistema de pago a la red pública):

**Tabla 62: Tasa interna de retorno – Costos sustitutos del escenario 1: Pago a red publica**

VAN	Tasa de Interés
0	TIR = -7.24%

#### b. Tasa Interna de Retorno: Escenario 2 (Sistema de compra a camiones cisterna):

**Tabla 63: Tasa interna de retorno – Costos sustitutos del escenario 2: Pago a proveedores (Cisterna)**

VAN	Tasa de Interés
0	TIR = 46.31%