

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para uso en riego de parques y jardines en Huarmaca – Huancabamba**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR**

**Kevin Ticliahuanca Cueva**

**ASESOR**

**Ysabel Nevado Rojas**

<https://orcid.org/0000-0001-9995-0011>

**Chiclayo, 2025**

**Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para uso en  
riego de parques y jardines en Huarmaca – Huancabamba**

PRESENTADA POR  
**Kevin Ticliahuanca Cueva**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
para optar el título de

**INGENIERO INDUSTRIAL**

APROBADA POR

María Luisa Espinoza García Urrutia  
PRESIDENTE

María Raquel Maxe Malca  
SECRETARIO

Ysabel Nevado Rojas  
VOCAL

## **Dedicatoria**

A Dios por darme sabiduría, a mi abuelo por estar guiándome desde el cielo para alcanzar mi objetivo y no dejarme caer en los malos momentos.

A mi madre Elva Cueva Flores, a mi padre Ancelmo Ticliahuanca Flores y a mi hermano Freydi Yasmani Ticliahuanca Cueva, por el esfuerzo y sacrificio que realizan en todo momento para ser una persona de bien y tener un futuro mejor.

## **Agradecimientos**

A Dios por permitirme a ver llegado hasta estas instancias, dándome fortaleza y sabiduría durante todo este proceso de mi carrera universitaria.

A mis padres y a mi familia por el apoyo incondicional para poder alcanzar mi objetivo.  
A mi asesora de tesis Ing. Ysabel Nevado Rojas y a los docentes por sus enseñanzas que me proporcionaron a lo largo de la investigación.

## ARTICULO 100 TICLIAHUANCA CUEVA.docx

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>23%</b>	<b>22%</b>	<b>12%</b>	<b>11%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>tesis.usat.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.udh.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>docplayer.es</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.upao.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.unasam.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>www.researchgate.net</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>revistas.udem.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

## Índice

<b>Resumen .....</b>	<b>6</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>7</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>8</b>
<b>Revisión de literatura.....</b>	<b>10</b>
<b>Materiales y métodos .....</b>	<b>15</b>
<b>Resultados y discusión .....</b>	<b>17</b>
<b>Conclusiones .....</b>	<b>41</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>42</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>43</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>50</b>

## Resumen

Las aguas residuales muchas veces son vertidas directamente a cuerpos de agua y de suelos sin recibir un tratamiento previo, generando contaminación al medio físico, biológico y social, sin ser reutilizables ya que no cumplen con los LMP emitidos por el MINAM sobre todo la categoría 3. Esta investigación tiene como objetivo realizar un diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el uso en riego de parques y jardines en el distrito de Huarmaca – Huancabamba. Actualmente estas aguas son vertidas a pozas de almacenamientos que se encuentran colapsadas generando contaminación, lo cual se propone realizar un sistema de tratamiento. Se obtuvo la proyección de la generación de aguas residuales para ser tratada en el año 2034 con 273 027 m<sup>3</sup>, primero se realizó la caracterización de las aguas residuales de los parámetros obtenidos de DQO(628 mg/L), DBO(307 mg/L), SST(452 mg/L), CF(6 200 000,00 NMP/100 mL), CT(15 000 000,00 NMP/100 mL) y aceites y grasas(110 mg/L). Posteriormente se evaluó los diferentes sistemas de tratamiento, teniendo como pretratamiento el tamizado, desengrase y desaceitado y las lagunas facultativas y de maduración, lo cual tuvo una remoción de DBO: 75 – 85%, DQO: 65 – 90%, SS: 70 – 87%, Nitrógeno 30 – 60%, coliformes 90 – 99%, cumpliendo con los LMP del MINAM para regadío de parques y jardines. Finalmente se realizó el beneficio costo, lo cual se tuvo de S/.1,53 indicando que es rentable.

**Palabras clave:** Aguas residuales, diseño, sistema de tratamiento.

### **Abstract**

Wastewater is often discharged directly into bodies of water and soil without prior treatment, generating pollution to the physical, biological and social environment, without being reusable because they do not comply with the LMP issued by MINAM, especially category 3. The objective of this research is to design a wastewater treatment system for irrigation of parks and gardens in the district of Huarmaca - Huancabamba. Currently these waters are discharged into storage ponds that are collapsed generating contamination, which is proposed to make a treatment system. The wastewater generation projection was obtained for treatment in the year 2034 with 273 027 m<sup>3</sup>. First, the parameters obtained were COD (628 mg/L), BOD (307 mg/L), TSS (452 mg/L), CF (6 200 000.00 NMP/100 mL), CT (15 000 000.00 NMP/100mL) and oils and fats (110 mg/L). Subsequently, the different treatment systems were evaluated, having as pretreatment the screening, degreasing and de-oiling and the facultative and maturation lagoons, having a removal of BOD: 75 - 85%, COD: 65 - 90%, SS: 70 - 87%, Nitrogen 30 - 60%, coliforms 90 - 99%, complying with the LMP of MINAM for irrigation of parks and gardens. Finally, a cost-benefit analysis was carried out, which was S/.1,53, indicating that it is profitable.

**Keywords:** Wastewater, design, treatment systems.

## Introducción

La cantidad de actividades que se realizan en el mundo por los seres humanos interviene el uso del agua, que posteriormente pasan a ser aguas residuales, donde el 80% se vierten al medio sin antes a ver recibido un tratamiento adecuado. Por ello conforme aumenta la demanda global del agua también incrementan los volúmenes de aguas residuales que generan contaminación en todo el mundo, ya que los países no tan desarrollados sus aguas residuales son derramadas hacia el medio ambiente a excepción de los más desarrollados, dando resultados negativos en la salud de las personas, productividad económica, población y la calidad del agua [1].

Cada día el Perú produce unos  $2\,217\,946\text{ m}^3$  de aguas residuales que son enviadas hacia las alcantarillas de las Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento (EPS), donde solo el 32% se le da un tratamiento de las aguas que proviene del uso de las personas, ya que las cantidades que genera cada persona en el Perú es de 142 litros de aguas residuales en un día [2].

La región Piura cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del ámbito del medio, bajo y alto Piura, donde cuenta con 88 Plantas de Tratamientos de agua, sin embargo, el 80% presentan inoperatividad, ineficiencia y el abandono que da origen a los problemas ambientales [3].

Ley de Recursos Hídricos, ley No 29 338, autoriza la disposición de aguas residuales siempre que hayan sido sometidas a un proceso de tratamiento y ver recibido opiniones técnicas previas favorables de la autoridad ambiental sectorial correspondiente y de la Dirección General de Salud Ambiental del Ministerio de Salud y que se cumplan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) en las aguas, en caso contrario se aplica sanciones pudiendo suspender los permisos que se hayan brindado al detectarse que dichas aguas residuales tratadas puedan afectar la calidad de los receptores o sus bienes asociados. Es por ello por lo que la ley permite la disposición de aguas residuales siempre que se haya sido aprobado previamente, y que no ponga en peligro el bienestar, la salud, el crecimiento del medio ambiente u otros [4].

El distrito de Huarmaca perteneciente a la Provincia de Huancabamba cuenta con más de 5500 habitantes aproximadamente y con más de 1 900 viviendas, donde la generación de agua residual por persona es aproximadamente 80 litros por día de acuerdo con el expediente administrativo de la Resolución Directoral No 4816-Autoridad Nacional del Agua (ANA), organizado por la Municipalidad distrital de Huarmaca [5]. Actualmente cuenta con 4 pozas de almacenamiento que tuvieron la finalidad de ser pozas de oxidación, tienen un aproximado de 20 años de vida útil, lo cual durante todos estos años no se ha realizado ningún tipo de tratamiento de aguas residuales. Asimismo, de las 4 pozas solo se encuentran 2 en funcionamiento con dimensiones de 40 m de ancho, 50 m de largo y una profundidad de 3 m,

donde reciben 484 m<sup>3</sup> por día aproximadamente, con una capacidad de 120 000 m<sup>3</sup>. Al alcanzar su capacidad máxima, estas aguas han colapsado hacia cuerpos de agua, tierras de cultivo; generando problemas graves al medio físico, biológico y social. Todo esto conlleva a que se generen olores desagradables, disminución de la calidad del aire, contaminación de las aguas a causa del colapso de estas pozas, asimismo contaminación de los suelos y suelos agrícolas, dejando inservibles para los agricultores y que al mismo tiempo quedan expuestos a una serie de contaminantes que pueden causar enfermedades y poner en peligro la salud de la población.

La municipalidad distrital de Huarmaca es la que se encarga del riego de parques, jardines y áreas verdes. El riego se realiza con el agua potable, teniendo acceso en los mismos lugares a irrigar. Las áreas verdes se riegan mediante la utilización de cisternas, gastando el agua potable que debe ser utilizado directamente por la población. Esto es especialmente preocupante, ya que algunos barrios del distrito tienen presencia de escasez de agua al no tener disponibilidad de agua las 24 horas del día.

Es por lo que, ante los problemas anteriormente mencionados surge la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales permitirá su uso para riego de parques y jardines en Huarmaca – Huancabamba?

El presente trabajo de investigación posee un enfoque ambiental, orientado a minimizar los contaminantes presentes en el medio ambiente, contribuyendo significativamente a mejorar la calidad del aire, así como la reducción de la contaminación de suelos y cuerpos de agua. De esta manera, se busca disminuir los impactos ambientales generados por las aguas residuales. Asimismo, la investigación impacta positivamente en la calidad de vida de la población, al reducir la exposición a enfermedades y mejorar la calidad del recurso hídrico disponible, permitiendo un uso más eficiente del agua potable, priorizándola para el consumo de la población. En cuanto al aspecto tecnológico, se dispone de información y equipos que establecen este tipo de sistemas de tratamientos de aguas residuales para implementar el sistema. Finalmente, este sistema representa un aporte a la ciencia, al ofrecer una solución concreta a un problema que afecta a la sociedad.

Por ello, se plantea como objetivo general: Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales en Huarmaca – Huancabamba para uso en riego de parques y jardines, y como objetivos específicos: Caracterizar las aguas residuales del distrito de Huarmaca – Huancabamba, evaluar los diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales, diseñar el sistema de tratamiento de aguas residuales para uso de riego de parques y jardines del distrito de Huarmaca – Huancabamba y por último realizar una evaluación económica financiera de la propuesta.

## Revisión de literatura

Las aguas residuales son las acciones y actividades que realiza todo ser humano donde se pueden transferir directa o indirectamente contaminantes, fuentes de energía o variables medioambientales al agua, esto conlleva a tener alteraciones perjudiciales de su calidad [6].

Los tipos de aguas residuales se divide en industriales, domésticas y municipales urbanas: Las industriales son provenientes del procesamiento que se realizan en las grandes fábricas y establecimientos industriales, que están conformado por aceites, antibióticos, detergentes, ácidos, grasas y más productos originados por algún mineral, químico, animal o vegetal [7].

Las domésticas son provenientes de viviendas, después de a ver sido utilizadas con varios fines, sobre todo higiénicos(cocinas, baño, lavandería y otras actividades). En consecuencia, se reconoce como residuo humano cuando entra en el sistema de alcantarillado [6].

Aguas residuales municipales y urbanas contienen contaminantes que son liberadas de distintas fuentes como domésticas, industriales, comerciales e instituciones. Donde las más peligrosas son las aguas que contengan contaminantes emergentes, como medicamentos que podrían tener consecuencias a largo plazo [8].

Las aguas residuales contienen características físicas, químicas y biológicas: Las características físicas de las aguas residuales están presentes los sólidos que se dividen en suspendidos, sedimentables y disueltos, también el olor, temperatura, turbidez y densidad.

Las características químicas tenemos el pH, la materia orgánica, demanda bioquímica de oxígeno(DBO) y la demanda química de oxígeno(DQO). La DBO se utiliza para determinar cuánto oxígeno se requiere para la oxidación aeróbica de la materia orgánica susceptible de descomposición biológica, que se encuentra en una muestra de agua, en cambio la DQO proporciona una relación correcta entre el oxígeno necesario, el sustrato orgánico implicado y los equivalentes de electrones transferidos a lo largo del proceso de oxidación [9].

En las características biológicas tenemos las bacterias y algas. Las bacterias procariotas eubacterias son unicelulares y se clasifican según su forma. Las algas en los cursos de agua superficiales pueden ser bastante problemáticas [10].

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales son cruciales para selección un sistema que garantice una calidad aceptable para ser vertidas o darle un uso posteriormente. Estos tratamientos son: Los pretratamientos y tratamientos primarios, tratamientos secundarios y los tratamientos terciarios [11].

En los pretratamientos preliminares se encuentran los principales, como el cribado, tamizado y desengrase y desaceitado [11].

En los tratamientos primarios tenemos la sedimentación primaria y la flotación, el primero es un proceso físico que separa los sólidos pesados con el líquido. El segundo se utiliza para la remoción de aceites y grasas, donde se realiza mediante flotación básica [11].

En los tratamientos secundarios están los sistemas de lodos activados, filtros percoladores, humedales artificiales y lagunas de estabilización [11].

El tratamiento terciario separa el material restante en el efluente de los procedimientos de tratamiento biológico. Esto se hace para adquirir una calidad adecuada para su reutilización o para evitar la contaminación de las fuentes de agua entrantes. Se trata de un factor crítico para tener en cuenta a la hora de gestionar los recursos hídricos, especialmente en regiones con un suministro limitado de agua potable [11].

De acuerdo con el marco normativo de las aguas residuales tratadas, se encuentra la ley No 30588, la resolución Jefatural No 224 – 2013 – ANA, ley No 29338 y el D.S No 004 – 2017 – MINAM.

Ley No 30588 Ley de la reforma constitucional que reconoce el derecho de acceso al agua como derecho constitucional, donde en el art. 7° - A de la constitución política afirma que toda persona puede acceder de forma progresiva y universal al agua potable, garantizando el consumo humano sobre otros usos. El estado promueve el manejo sostenible del agua [12].

La resolución Jefatural No 224 – 2013 – ANA tiene como fin de regular los aspectos y procedimientos administrativos para la autorización de vertimientos de aguas residuales tratadas a cuerpos naturales, como el reúso de aguas residuales tratadas. Para que esto se cumpla las aguas deben de a ver pasado por un sistema de tratamiento cumpliendo los Límites Máximos Permisibles(LMP) y que no cause daños a otros usos en calidad y cantidad de agua [13].

La ley de los recursos hídricos No 29338 trata de regular el uso y gestión del agua, la superficial, subterránea y continental. Lo cual se ejerce acciones de vigilancia y monitoreo de la calidad del agua y control de vertimientos, donde le art.133 indica que se puede dar solo si han pasado por un sistema de tratamiento y posterior aprovechamiento sostenible [14].

Asimismo, el D.S No 004 – 2017 – MINAM aprueba estándares de calidad ambiental para agua y establecer disposiciones complementarias, lo cual establecen medidas para el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físico, químicos y biológicos, que están presentes en el agua o suelo, que no presenta riesgo para la salud ni al ambiente [15].

El aprovechamiento de Aguas residuales para regadío de parques y jardines permite liberar volúmenes de agua potable que son destinadas para el consumo de las personas, fomentando el desarrollo sostenible de espacios verdes [16].

Las aguas para riego no restringido tienen una calidad que permite su utilización como arbustos, parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales. Para este riego se tiene en cuenta los parámetros microbiológicos y parasitológicos [17].

A continuación, se presentan antecedentes relacionados con el tema de investigación.

Matsumoto y Sánchez [18] en su investigación “Desempeño de las lagunas anaerobia con baffle divisor y facultativa de la PTAR de Santa Fe do Sul(Sao Paulo, Brasil)” tuvieron como finalidad de evaluar el desempeño de la PTAR de esta ciudad en diferentes estaciones del año. Para ello realizaron un estudio de barimetría para levantamiento topográfico de las lagunas de estabilización(anaeróbica y facultativa). Esta planta de tratamiento contiene pretratamientos antes de llegar a las algunas de estabilización. El monitoreo lo realizaron con una duración de 3 meses teniendo etapas de colecta de los siguientes parámetros: pH, DBO, DQO, ST, SST, CF Y CT. En la laguna anaerobia se tuvo un tiempo de retención de 3,5 días, la cual está dentro de lo recomendado para estas lagunas con remociones de 50% de DQO. Asimismo, para la laguna facultativa optaron por 8 días, que de igual manera está dentro del recomendado para lagunas facultativas. Se tuvieron variación de DBO en la PTAR de 48 y 457 mg/ L teniendo un promedio de 306 mg/L, por otro lado, el DQO obtuvieron variaciones de 161 y 1107 mg/L, teniendo un promedio de 619 mg/L. finalmente obtuvieron remociones para la PTAR de 64,27% para SST, 79% de DBO, 68% para DQO, 77,6 de CT y 78,2 en lo que es CF.

Belete *et al* [19] en su investigación “Evaluación de la eficiencia de los estanques de estabilización de residuos y la calidad de agua efluente: Un estudio de caso del campus de Kito Furdisa, Universidad de Jimma, suroeste de Etiopía”. Tuvieron la finalidad de evaluar los estanques de estabilización(lagunas de estabilización) lo cual está conformado por lagunas anaeróbicas y facultativas que fueron diseñados para eliminación de materias orgánicas(DQO, DBO y SST) y los estanques de maduración para la eliminación de patógenos y nutrientes. La temperatura del lugar al año es de promedio 19,3°C( de 11,5°C a 27,10°C) para una población de 40 000 habitantes. Recolectaron muestras de las aguas residuales para poder ser analizadas en laboratorios de los parámetros físicos y químicos. Finalmente se obtuvieron los resultados de remoción 75,3% DBO, 56,5% DQO. Para la remoción de TN y TP se obtuvieron de 79% y 69,2% respectivamente, mientras que para la eliminación de CT y CF fue de 99,99% y 94,3% respectivamente. Concluyeron que los resultados de la eficiencia del sistema fueron satisfactorios, sin embargo, aún se tiene concentraciones elevadas de DBO, DQO, SST y bacterias, lo cual el sistema necesita mejorar el sistema proponiendo agregar un tratamiento preliminar para reducir las cargas.

Cabrera y Mejía [20] en su investigación “Remoción de contaminantes orgánicos presentes en agua residual doméstica mediante prototipo a escala de laboratorio” Según esta investigación, se usa una mezcla de métodos de tratamiento anaeróbico ya en uso y un tratamiento aeróbico de lodos activados llevado a cabo a escala de laboratorio. El prototipo tenía una capacidad de 27,9 litros, con 15,8 litros procedentes de la zona anaeróbica, 7,7 litros de la zona de aireación y 4,4 litros de la zona de decantación. Se probó durante 60 días con agua doméstica, trabajando diariamente con el análisis del pH, los sólidos en suspensión y el oxígeno disuelto, y dos veces por semana con la determinación de la DQO, en la semana tres de operación el sistema tendió a estabilizarse logrando tasas de eficiencia de eliminación de DQO del 53% para material orgánico en sistemas anaeróbicos, 75% para tratamiento aeróbico y 88% para todo el sistema, asimismo eliminando el mal olor.

Por otro lado, Flores *et al* [21] en su investigación “Comparación de un Biorreactor con membranas sumergidas con un sistema convencional de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales”, tuvieron como objetivo compara ambos sistemas de tratamiento. Evaluaron parámetros como DQO(total y soluble), fosfatos( $\text{PO}_4$ ), amoníaco( $\text{NH}_4$ ), nitratos( $\text{NO}_3$ ), SST y el pH, con una evaluación de 40 días. El BRMS tenía 32,5 L con dos módulos de membrana para la aireación y otro para la filtración, y para el RLA se formaron un reactor aeróbico y un sedimentador con 39 L y 5,6 L. Se tomaron muestras de efluentes obtenidos tres ocasiones por semana y se preparó todos los días el agua residual utilizada en dos reactores. Finalmente, los resultados en la DQO(Total) y DQO(Soluble) con una remoción de 90% y 98% para el BRMS, por otro lado, para el RLA fue de 77,5% a 93,8% respectivamente, y para SST para el BRMS fue de 89,71% y para el RLA fue de 54,41% por lo que demostraron que hay una mejoría utilizando BRMS como una tecnología a emplear para el tratamiento y reúso de agua tratada.

Anaya *et al* [22] en su investigación “Diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises claras para reúso como agua de riego” Su objetivo fue proponer un diseño efectivo para un tratamiento óptimo de aguas residuales, se caracterizaron las aguas residuales que se tomaron como muestra en un balde de 20 litros, teniendo en cuenta la temperatura tomada de 21,5- 23,0 °C, el pH(20 °C)=7,32 - 8,03; conductividad de 873 - 1083, turbiedad= 295 - 305, DBO(mg  $\text{O}_2$ /L)= 8, DQO(mg  $\text{O}_2$ /L)=16. Posteriormente, plantearon el diseño de un sistema de filtros para ser colocados en jardines, el cual incluía sedimentadores y el uso piedra de río. Asimismo, realizaron una segunda fase de biofiltración(Humedales artificiales usando pasto Vetiver). Finalmente pudieron reducir la DQO a escala de laboratorio del 89%, cumpliendo con los ECA y agua para riego.

Echeverría *et al* [23] en su investigación “Diseño, construcción y evaluación de un sistema de contactor biológico rotatorio (CBR) para el tratamiento de aguas residuales municipales a escala piloto” en esta investigación se realizó un diseño que se basó en contactores biológicos rotatorios (CBR) de tratamiento aerobio que se lleva a cabo por microorganismos adheridos sobre discos que rotan a través del flujo del agua residual. Luego se tuvo las máximas eficiencias alcanzadas de 81%, 75% y 85% de remoción para DQO total, DQO soluble, y SST respectivamente. Asimismo, la eficiencia global del sistema construido que tuvo a un sedimentador primario, un CBR de 3 etapas y un sedimentador secundario, alcanzaron niveles de 68 - 79% para DQO total, 68 - 77% de DQO soluble y 81 - 99% de SST. Con estos resultados obtenidos las aguas pueden ser descargadas a cuerpos de agua y el reúso para riego controlado.

Wang *et al* [24] en su investigación “Performance of a combined low-consumption biotreatment system with cost-effective ecological treatment technology for rural domestic” tuvieron la finalidad de realizar un sistema de tratamiento de aguas residuales con una elevada eficacia, con mantenimiento fácil. Propuso un sistema bio ecológico combinado con un filtro anóxico (ANF), contacto biológico rotativo (NIGPRBC), y humedal construido (CW). Los parámetros clave del sistema ANF-NIGPRBC es el tiempo de resistencia hidráulica (HRT), la relación de reflujo (RR) y la velocidad de rotación (RS), se evaluaron en función de su capacidad para eliminar nitrógeno y materia orgánica para su posterior utilización. Encontraron que los parámetros ideales de rendimiento eran 5 horas, 100% RR y 3r/min RS. Con estas condiciones, lograron un promedio de 95,14% 1,31% de DQO, 79,071 ± 4,321% de TN, 93,422 ± 2,166% de NH-N y 83,398% ± 3,461% de TP.

Coung *et al* [25] en su investigación “Two-step system consisting of novel vertical flow and free water surface constructed wetland for effective sewage treatment and reuse” Realizaron esta investigación dividida en dos etapas, la primera incluía tierras húmedas elaboradas con flujo vertical (VF) y superficie libre de agua (FWS, donde el VF conformaba cuatro capas (bio carbón, arena, grava y suelo arenoso), la FWS se ubicó después del VF y se utilizó como tanque de pulido. Lo que realizaron es plantar dos tipos de plantas locales (Colocasia Esculenta y Canna indica) en VF y el FWS, respectivamente. Este sistema funcionó por 6 meses. Luego se tuvo una eliminación de (DQO), (DBO), (SST) amoníaco (NH-N) y coliformes totales (Tcol) las cuales fueron de 71 ± 11%, 73 ± 13%, 79 ± 11%, 91 ± 3% y 70 ± 20% correlativamente. Finalmente, los niveles de DQO y DBO cumplieron con las normas que están establecidas para lo que es el riego, teniendo tasas de eliminación del 64% y 88%, y los niveles SST y Tcol cumpliendo con las normas de dicho país.

Peng *et al* [26] en su informe de investigación “Biofilter-constructed wetland-trophic pond system: A new strategy for effective sewage treatment and agricultural irrigation in rural area”, en su estudio sobre un sistema casi natural (Sistema BCT) que contiene un biofiltro, un humedal incorporado y un estanque bacteriano de flujo continuo para tratar aguas residuales, analizaron la calidad del agua con relación el carbono, nutrientes y microorganismos. Su eliminación anual promedio del sistema BCT de NT, NH-N, TP y DQO fue del 46,53%, 52,18%, 41,48% y 53,21%, respectivamente. No tuvo una disminución significativa en la eficiencia de eliminación durante las temperaturas elevada(más de 15°C). En condiciones de bajas temperaturas, el estanque trófico (TRP) eliminó el 34,85% de TN, el 33,93% de NH-N, el 13,71% de TP y el 18,77% de DQ. Por otro lado, las eficiencias de eliminación del estanque construido fluctuaron bastante. El TRP ayudó que el sistema BCT mantuviera capacidad de eliminación durante temperaturas bajas. La proporción de genes desnitrificantes funcionales en el TRP aumentó alrededor de diez veces desde la temperatura más alta hasta la más baja. Finalmente, el efluente del sistema cumple con los estándares para riego agrícola.

Zillur *et al* [27] en su investigación “A multi-functional nature-based solution (NBS) for greywater treatment and reuse at the same plot” Su objetivo fue investigar su viabilidad de poder implementar una alternativa de solución multifuncional basado en la naturaleza(NBS), se construyó un humedal de flujo vertical aireado(AVFCW) con la capacidad de un diseño de 8 PE( población equivalente) Se combinó con una capa de cubierta innovadora en la parte superior para optimizar el uso del espacio en el humedal y protegerlo contra la pérdida de agua por evaporación(EVT). La primera fase de la investigación tuvo resultados ineficientes, pero la segunda fase logró un tratamiento altamente efectivo(DBO> 90%, DQO>93%, SST>93%, NT>60%, asimismo eliminación logarítmica de *E. Coli* de  $0,81 \pm 0,45$ ) luego el efluente del sistema tuvo concentraciones de DBO<sub>5</sub>, SST y *E. coli* que fueron de  $9,0 \pm 5,0$  mg/L,  $4,0 \pm 2,1$  mg/L y  $7,01 \pm 5,41$  NMP/100 ml respectivamente, estos resultados cumplían con los límites permisibles por parte de UE como calidad de aguas residuales tratadas de clase A, comprobando que el NBS es eficaz y reutilizarlo para riego.

## **Materiales y métodos**

Para poder realizar la caracterización de las aguas residuales se visitó el distrito de Huarmaca, específicamente al área de gestión ambiental que tiene a cargo la municipalidad del distrito. En esta área se pudo obtener los reportes de las aguas residuales que han sido monitoreadas por el laboratorio ALAB-Piura, con ello se pudo evaluar sobre las muestras realizadas, los puntos de muestreo, el tamaño de la muestra y los procedimientos que se han

tenido en cuenta para realizar dichos análisis, esto de acuerdo con los procedimientos de la ANA y el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad en Cuerpos Naturales de Agua Superficial [28]. Asimismo, se realizó una visita al lugar de las aguas residuales, donde se empleó la técnica de observación para identificar características que pudieran ser evaluadas in situ durante el recorrido de las aguas. Para llevar a cabo esta evaluación, se utilizó la matriz de Leopold, la cual aborda aspectos del entorno social, biológico y físico [29]. Leopold es una herramienta ponderativa que analiza las causas y efectos de las acciones sobre el medio ambiente, permitiéndonos evaluar los impactos de las acciones en el entorno y medir la eficacia. Estas medidas se desarrollaron utilizando métricas que permitieron gestionar e interpretar el impacto o efecto de manera cuantitativa, lo que facilitó su medición y evaluación [29]. Luego de haber realizado la evaluación, se procedió a caracterizar las aguas residuales, tanto desde una perspectiva química como física; como el color, turbidez, pH, DQO, DBO, conductividad, temperatura, oxígeno disuelto, y más contaminantes presentes. Posteriormente, se realizó una comparación de acuerdo con la normativa de las aguas residuales emitidas por el Decreto Supremo No 003 – 2010 – MINAM al igual que el Decreto supremo No 004 – 2017 – MINAM, sobre el vertimiento de las aguas residuales [30] que en este caso son provenientes de origen doméstico y no industriales. Esta comparación se realizó para ver si cumplía con los límites máximos permisibles para uso de riego de parques y jardines. Finalmente se tuvo en consideración la evaluación de las cantidades de aguas residuales a tratar ya que esto influirá en el diseño y la capacidad del sistema que se va a utilizar.

Se evaluó los sistemas de tratamiento de aguas residuales, primarios, secundarios y terciarios para realizar una comparación de las características, ventajas y desventajas de acuerdo con la caracterización que se tuvo con las aguas residuales del distrito, lo cual se tuvo en cuenta, la eficiencia de remoción de los contaminantes, costos de inversión, la alta adaptabilidad del sistema, disponibilidad de la tecnología, personal de operación, disponibilidad de áreas, y que cumplan con los parámetros de la calidad del agua [31] y luego identificar las etapas del tratamiento para ver su viabilidad. De igual forma, se utilizó la herramienta de una matriz de confrontación de factores para conocer y evaluar los factores considerados anteriormente [32]. Para ello también se recorrió a la búsqueda de información a través de fuentes de Scopus, Scielo, Redalyc, entre otros, que ayuden a poder determinar el mejor sistema de tratamiento.

Luego se tuvo en cuenta las diversas investigaciones que se hayan realizado sobre las mejores técnicas en sistemas de tratamientos de aguas residuales con la finalidad de poder reducir los contaminantes y reutilizados; esto teniendo en cuenta los volúmenes de las aguas, el terreno y las áreas que se requieren para realizar dicho sistema que tendrá como fin de tener

una buena remoción, áreas requeridas no mayores, costos en que se va a invertir, todo esto se tuvo en cuenta el método de Guerchet para poder determinar las dimensiones espaciales que se va a requerir, basándose en la fórmula para calcular la superficie total del área a requerir [33] que luego el diseño se realizó mediante programas.

Y finalmente para la evaluación económica financiera se calcularon los costos y gastos, teniendo en cuenta las máquinas, equipos, e insumos que se utilizaron en el proyecto. Posteriormente se determinó el tamaño de la inversión y se calculó el VAN, el TIR, beneficio y el periodo de recuperación del proyecto invertido durante todo el periodo de ejecución. Luego se realizó el financiamiento del proyecto a través de la evaluación económica financiera de la propuesta.

## **Resultados y discusión**

La presente investigación es de tipo descriptiva con un diseño cuantitativo no experimental transeccionales por lo que los datos se tomaron en un solo momento sin la manipulación de variables.

Se realizó la visita al distrito de Huarmaca, perteneciente a la provincia de Huancabamba, región Piura, ubicada al norte del país, entre los  $5^{\circ}34'04''S$  y  $79^{\circ}31'26''O$  con una altitud de 2123 m.s.n.m.(ver anexo 1), y una vista satelital(ver anexo 2). Donde se visitó a las pozas de almacenamiento de las aguas residuales, que originalmente estaban destinadas a funcionar como pozas de oxidación, pero no lograron cumplir con ese propósito y se mantuvieron como pozas de almacenamiento de las aguas residuales. Estas pozas tienen una vida útil estimada de 20 años, con dimensiones de 40 m de ancho, 50 m de largo y una profundidad de 3 m. Ante esto, se identificó los impactos que generan al medio físico, biológico y social, lo cual se tuvo en cuenta los componentes ambientales(ver anexo 6). Asimismo, la matriz de identificación de impactos ambientales(ver anexo 7). Luego se realizó la matriz de Leopold, donde resultó el medio físico con un impacto negativo, sobre todo la calidad del agua(ver anexo 8).

Según los informes sobre los ensayos de análisis de agua residual brindados por parte de la municipalidad distrital de Huarmaca que fueron emitidas por el laboratorio acreditado ante INDECOPI el cual fue LAB S.A.C, donde lo realizó en campo con la preparación de materiales, equipos e indumentaria de protección.

En la preparación de materiales indica según el reporte que se utilizó: GPS, multiparámetro de aguas, equipos de protección personal, chalecos, pizarra acrílica, teléfonos celulares, plumón indeleble, frascos rotulados, balde, jarra, sogas, bolsas impermeables. Lo cual hace que sea válida de acuerdo lo que indica el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad en Cuerpos

Naturales de Agua Superficial [28], donde se indicó los materiales, equipos, indumentaria y las precauciones durante el monitoreo.

Tuvieron como objetivo realizar un muestreo, tomando una muestra representativa del afluente y efluente de las pozas de aguas residuales, y así analizar sus parámetros establecidos.

- Ubicación de punto de muestreo
- Cuidados y acondicionamiento
- Medición de parámetros en campo (pH y temperatura)
- Tomas de muestra de agua residual
- Preservación de muestras
- Etiquetado y rotulado de las muestras de agua residual
- Conservación y transporte de muestras

Indicando que fue un muestreo representativo, ya que cumplió con el Protocolo Nacional de Monitoreo de la calidad en cuerpos naturales de agua superficial [34], donde indica las acciones que se deben tener en cuenta para la realización de toma de muestras de agua, preservación, etiquetado, rotulado y transporte, tal como indica el protocolo.

Los puntos de monitoreo según el reporte, se realizó en 4 puntos de monitoreo las cuales se realizó con las coordenadas establecidas.

**Tabla 1. Ubicación de puntos de monitoreo de las aguas residuales**

Código del punto	Descripción de los puntos	Coordenadas UTM WGS 84 Z17M	
		NORTE	ESTE
AR-01	Punto de ingreso a aguas Residuales en Poza de almacenamiento	9 383 031	663 514
AR-02	Salida de aguas Residuales en Poza de almacenamiento	9 382 925	663 675
AR-03	Punto Medio de Quebrada	9 381 491	664 106
AR-04	Punto de quebrada aguas abajo	9 381 523	9 381 523

**Fuente: Municipalidad Distrital de Huarmaca**

Tuvo como hora de inicio 11:00 am y finalizó 03:00 pm. Primero desarrollaron los parámetros de campo utilizando un equipo de multiparámetro portátil previamente calibrado, y verificado. Luego realizaron las muestras de prevención, rotulado y transporte de muestras teniendo en cuenta el protocolo antes ya mencionado.

Los resultados de los análisis de las muestras brindadas por el laboratorio por cada punto de monitoreo AR-01, AR-02, AR-03 y AR-04.

Los parámetros fisicoquímicos tomados en campo fueron el pH y la temperatura, y el resto fue realizado en laboratorio.

**Tabla 2. Parámetros fisicoquímicos obtenido de los análisis de laboratorio**

parámetro	símbolo	Unidad	Punto de monitoreo			
			AR-01	AR-02	AR-03	AR-04
Potencial de Hidrogeno	pH	-	7,41	8,08	7,57	7,84
Temperatura	T °	°C	16,2	18,4	16	16
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100mL	6 200 000	350 000	490 000	16 000
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)	DBO5	mg/L	307	244	22	15
Aceite y Grasas	HEM	mg/L	110	8	<5	<5
Solidos Suspendidos Totales	TSS	mg/L	452	173	88	18
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	DQO	mg/L	628	447	71	30
Coliformes Totales	NMP	NMP/100mL	15 000 000	600 000	650 0000	54 000
Conductividad Eléctrica	µs	µS/cm	734	413	200	200

**Fuente: Municipalidad Distrital de Huarmaca**

Los límites máximos permisibles(LMP) están establecidos por el Decreto Supremo No 003 – 2010 – MINAM(ver anexo 9). Al igual que el Decreto supremo No 004 – 2017 – MINAM(anexo 10). que establecen los niveles de concentración de los parámetros físicos, químicos y biológicos, definiendo los efluentes vertidos en las PTAR hacia el un cuerpo receptor, sin presentar riesgo para la salud pública y del medio ambiente [30].

Por ello, es fundamental cumplir con las normas legales, políticas que el estado dispone, a fin de evitar posibles sanciones [35].

Con los datos tomados en campo de pH, temperatura y resultados obtenidos en laboratorio de la tabla 3, se evaluó estos valores haciendo una comparación con los LMP.

**Tabla 3. Parámetros obtenidos vs los LMP**

Parámetros	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpo de agua	Condición
Aceites y grasas	mg/L	20	No cumple
Coliformes termo tolerantes	NMP/100mL	10 000	No cumple
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)	mg/L	100	No cumple
Demanda Química de Oxígeno(DQO)	mg/L	200	No cumple
pH	Unidad	6,5 – 8,5	Cumple
Solidos totales en suspensión	mL/L	150	No cumple
Temperatura	°C	< 35	Cumple
Coliformes Totales	NMP/100mL	10 000	No cumple
Conductividad Eléctrica	µS/cm	1 000	Cumple

**Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos**

Los valores de pH obtenido durante el monitoreo en los puntos AR-01, AR-02, AR-03, AR-04, presentaron variaciones, pero se mantuvieron dentro del rango permitido de 6,5 – 8,5 según la normativa. Lo mismo ocurre para la temperatura y la conductividad eléctrica, por lo tanto, estos parámetros cumplieron con la normativa. Sin embargo, los parámetros de aceites y grasas, coliformes fecales, DBO, DQO, SST, coliformes totales no cumplieron los LMP.

En la actualidad, el Perú no se encuentra una normativa que regule los parámetros para la reutilización de aguas residuales domésticas de manera específica que indique sobre la reutilización para regadío de áreas verdes, por esta razón las investigaciones y proyectos optan por llegar a cumplir con los LMP o los Estándares de Calidad Ambiental para agua, conforme a lo establecido en la categoría 3 del DS 004 – 2017 MINAM, referente al riego de vegetales y bebida de animales. En particular, se apunta al uso de agua tratada para riego no restringido, aplicable en arbustos, parques públicos, campos deportivos y plantas ornamentales. Los parámetros que se tomó en cuenta de dicha categoría se indica la tabla 4.

**Tabla 4. Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales**

CATEGORIA 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDA DE ANIMALES			
D1: Riego de vegetales			
Parámetros	Unidad de medida	Agua para riego no restringido(c)	Agua para riego restringido
Conductividad	μS/cm	<b>2 500</b>	2 500
pH	Unidad de pH	<b>6,5 - 8,5</b>	6,5 - 8,5
DBOs	mg/L	<b>15</b>	15
DQO	mg/L	<b>40</b>	40
Coliformes Termo tolerantes(fecales)	NMP/1000	<b>1 000</b>	2 000

**Fuente: D.S. N°017-2017 - MINAM**

Después de obtener la información sobre las aguas residuales domésticas del distrito y sus características fisicoquímicas, se someterán al tratamiento adecuado y poder ser reutilizado en el riego de parques y jardines del distrito.

Además con la implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales se llevará acabo el cierre de las pozas de almacenamiento existentes a través de drenajes y secado, seguida de la eliminación y adecuación de lodos de acuerdo con área responsable de la municipalidad y regulaciones locales, asimismo se rellenará con tierra compactada con la finalidad de prevenir acumulaciones de agua pluvial, y se contemplará la vegetación o reaprovechamiento del espacio de acuerdo a lo que la entidad indique.

Para ello se realizó la evaluación de los diferentes sistemas de tratamiento, los cuales se tiene los pretratamientos, tratamiento primario, secundarios y terciarios.

**Tabla 5. Alternativas de pretratamiento para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Huarmaca – Huancabamba**

	<b>Desbaste</b>	<b>Tamizado</b>	<b>Desarenador</b>	<b>Desengrase y desaceitado</b>
<b>Descripción</b>	Proceso que está compuesto por rejas, donde separa y evacua de manera fácil las materias voluminosas que vienen en las aguas y podrían disminuir su eficacia de los tratamientos posteriores o complicaciones [36].	Es el proceso mecánico en la eliminación de residuos sólidos realizando la separación a través de los tamices con una separación entre barras(milímetros).	Este pretratamiento que se utiliza en las PTAR, posterior del desbaste y antes de los tanques de sedimentación(primaria). Se divide en tres clases, donde las más usadas es de flujo vertical, aireados y vórtice [37].	EL desengrase separa las grasas, espumas y aceites que se acumulan en la superficie, esto se efectúa de una manera adecuada con el desarenado [38].
<b>Objetivo</b>	Proteger a la estación de la llegada de sólidos más gruesos, como troncos, piedras grandes, plásticos, que puedan provocar atascos en las distintas unidades de la instalación.	Retiene solidos de grandes tamaños, realizando una separación de tamaño mayor y tamaño menor, incluso puede separar arenas gruesas [39].	Eliminar partículas superiores al agua que no hayan quedado detenidas en el desbaste, pueden tener una granulometría mayor a 200 micras, que son la arena, cáscaras y semillas, protege equipos posteriores [37].	Eliminar o separar grasas, aceites y espumas acumuladas en las superficies, esto para evitar daños en posteriores tratamientos del sistema.
<b>Diseño, Equipos, instalación y mantenimiento</b>	Depende de los equipos a instalar, puede ser manual o automático, siendo una instalación no complicada, las rejas pueden ser: De gruesos, finos, fijas móviles, horizontales, verticales, inclinadas.	La instalación se dará de acuerdo del diseño, puede ser tamices inclinados. Para ello lo principal es la utilización de tamices estáticos, giratorios y con superficies móviles. Tienen costos bajos ya que son de metal, plástico, cerámica y no se necesita de mano de obra calificado [39].	El diseño dependerá de la clase de desarenador. Ya sea vertical, horizontal y vórtice. Se basa en superficies de concreto elevada con dimensiones superiores que puedan contener grandes cantidades de agua. Su mantenimiento es manual.	Para el diseño se tendrá en cuenta la capacidad del agua y las concentraciones de aceite, y los equipos adecuados que son los separadores de grasas de una o más cámaras en las que las aguas residuales fluyen lentamente, tienes menos costos de mantenimiento.
<b>Eficiencia de remoción</b>	La remoción por parte de este tratamiento preliminar se da de acuerdo con el tipo de desbaste ya sea grueso y fino. Para grueso un promedio de 5% y 25% desbaste fino, con velocidad de $1,4m^3/s$ [40].	Retiene hasta un 30% de arena de un tamaño gruesa y grasas que estén en suspensión, y dependerá del tamaño de agujeros y tipo de tamizado a emplear ya que puede contener una cierta cantidad de mallas ubicada de forma horizontal.	Estos desarenadores se proyectan para eliminar partículas de arenas de 0.2 mm o superiores, teniendo ajustes adecuados se puede alcanzar un porcentaje de eliminación de más del 95%.	Se puede conseguir una eliminación de hasta el 80% de materias grasas y aceites, teniendo un tiempo de retención que esta de los 3 min a 5 min [38].
<b>Ventajas</b>	Protege la infraestructura del sistema de tratamiento, mejorando la eficiencia en etapas posteriores procesos biológicos y químicos funcionen de manera más efectiva y es de fácil mantenimiento lo cual no se necesita de mano de obra calificado.	Evita que objetos grandes pasen, como palos, plásticos y otros desechos sólidos, y facilita las operaciones de mantenimiento y limpieza de los equipos de manera sencilla, para esto no se necesita de un mantenimiento especializado.	El agua se airea y hace que reduzca la presencia de olores, pérdidas de cargas pequeñas, y se tiene rendimientos constantes, se diseñan para poder eliminar partículas con eliminaciones altas.	Eliminación efectiva de aceites y grasas en el pretratamiento, previniendo acumulación de estos materiales en las tuberías y equipos de tratamiento principal, se mejora la eficiencia de los procesos biológicos y químicos.

**Tabla 6. Posibles tratamientos primarios para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Huarmaca – Huancabamba**

<b>Criterios</b>	<b>Sedimentación /decantación</b>	<b>Coagulación y floculación</b>	<b>Tanques Imhoff</b>
<b>Descripción</b>	Este tratamiento consiste en eliminar por gravedad los sólidos que están en suspensión más pesados que el agua, quedando en la parte superior el líquido de mejor carácter [41].	Es el proceso de desestabilización de los coloides que están en suspensión. Se adiciona sustancias y espesar, se establezcan agregados que por el tamaño precipitan de manera rápida y eficaz [42].	Son una unidad de tratamiento, integran sedimentos del agua y procesamiento de lodos que están sedimentados. Tienen formas rectangulares y se divide en tres partes de comportamiento [43].
<b>Objetivo</b>	Eliminar los sólidos que están en suspensión y de materia orgánica.	Eliminar la contaminación coloidal que ese encuentren en suspensión.	Remoción de los sólidos suspendidos.
<b>Diseño, Equipos, instalación y mantenimiento</b>	Utilización de equipos sedimentadores, desarenadores, tanques de decantación y tanques de sedimentación o también conocidos como clarificadores. Dentro de los tanques las rastras o raspadores mecánicos. Es un proceso físico lo cual no se necesita del uso de energía eléctrica [44].	Su instalación es similar a lo de un decantador convencional, y se necesita de un coagulador que apoye en la aglomeración y creación de coágulos. Para ellos se utiliza tanques de coagulación y de floculación, en algunos casos se utiliza equipos de dosificación para agregar coagulantes y floculantes.	No contienen partes mecánicas, facilitando que la operación sea de manera fácil, pero antes se requiere a ver pasado por un tratamiento preliminar, y tener en cuenta los niveles de lodos que se generen. Los tanques Imhoff tienen formas rectangulares y no necesita de un mantenimiento constante y para ello no es necesario personal especializado [43].
<b>Eficiencia de remoción</b>	Alcanzan niveles de remoción para DBO: 25% - 40% y para SST de 50% - 70% y de turbidez de un 50% [40].	Remoción de DBO en 65 % - 82 %, para SST de 65% - 84%, asimismo reduce la turbiedad a un 50% y finalmente lo que son bacterias [40].	Remoción de SST desde un 40% hasta un 50%, en lo que es DBO con una remoción de 25% hasta los 36% [43].
<b>Ventajas</b>	De manera independiente o floculante este proceso de sedimentación se da de manera inmediata. Teniendo reducción de cargas de sólidos separando de fases líquidas y sólidas.	Eficiencia de eliminación de partículas suspendidas y coloides en el agua, reduce la turbidez, y los lodos que genera por la utilización de coagulantes son fáciles de tratar y con una buena eficiencia. Y se tiene costos bajos de producción.	Tiene una opción de tratamientos para los lodos que salen del sistema, lo cual no requiere implementar una línea de tratamiento de lodos. Asimismo, se utiliza para ahorrar espacio en cuanto al terreno.

**Tabla 7. Posibles tratamientos complementarios para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Huarmaca – Huancabamba**

	<b>Filtros biológicos(percoladores)</b>	<b>Lodos activados</b>	<b>Lagunas de estabilización</b>	<b>Humedales artificiales</b>
<b>Descripción</b>	Este tratamiento opera en condiciones aeróbicas, donde el agua residual se traslada a través de una película biológica, esto ayuda a remover materia orgánica [45].	método biológico, a veces denominado bioproceso, que facilita la purificación natural del agua, permitiendo que los microorganismos tengan la capacidad de limpiar el agua contaminada [46].	Son estanques de baja profundidad que son construidos en tierra, donde se realiza tratamientos con procesos naturales que incluyen la colaboración de algas y bacterias [47].	Son sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante Fito depuración. Implica el cultivo de plantas acuáticas con raíces en un lecho de grava impermeabilizado [48].
<b>Objetivo</b>	Remover y eliminar la materia orgánica, nutrientes, agentes biológicos(patógenos) presentes en las aguas residuales.	Eliminación de compuestos orgánicos solubles y coloidales que no fueron separados en un tratamiento primario, además de facilitar la eliminación de sólidos en suspensión y de nutrientes.	Eliminar microorganismos dañinos y materia orgánica que están presentes en las aguas residuales [49].	Remover los contaminantes que se encuentran presente en las aguas residuales como los compuestos orgánicos, nutrientes, agentes biológicos.
<b>Diseño, Equipos, instalación y mantenimiento</b>	Los filtros percoladores se componen típicamente de componentes de plástico, en los cuales se forma una capa biológica conocida como biofilm. Tienen menos costos de instalación, no requiere de bastante demanda energías.	El diseño se basará en la cantidad de aguas residuales, está compuesto por un reactor o tanque de aireación, tanque de sedimentación y un sistema de tuberías y bomba. Tiene una alta eficiencia y de funcionamiento fácil, pero con costos de operación elevados [50].	El diseño y la instalación de lagunas de estabilización involucran la creación de las etapas anaeróbicas, facultativas y de maduración. generalmente se necesitan bombas para la recirculación en lagunas facultativas. Mínimo mantenimiento y no se quiere personal calificado [43].	Estos humedales pueden ser construidos en su mayoría de forma vertical, donde el agua se ve en la superficie, esta superficie e de agua se encuentre por debajo de un lecho de piedras, son sencillos de construir [51].
<b>Eficiencia de remoción</b>	Para DBO: 98,12%; DQO: 96,36%; SST: 95,76%; coliformes fecales de 46 a 70% de remociones [52].	Para la DQO: 85 - 95%; DBO: 90 - 98% SS: 90 - 98%; TN: 25 - 95%; TP: 25 - 95% y coliformes fecales de 60 - 88% [53].	DBO: 75 - 85% DQO: 65 - 80% SS: 70 - 87% Nitrógeno 30 - 60% Coliformes 90 - 99% [49].	Remoción de contaminantes abióticos se reduce hasta un 80% y coliformes fecales en un 90%.
<b>Ventajas</b>	eficaces en la reducción de la (DBO), ocupan menos espacio en comparación con otros sistemas de tratamiento biológico, como los lodos activados. Y generan muy poca cantidad de lodos [52].	Los lodos que son generados se pueden utilizarse como abonos, además tiene altos porcentajes de remoción para tratamiento de diversos tipos de aguas residuales [54].	Eficiencia de remoción de DBO, patógenos, construcción, operación y mantenimiento fácil, remoción de lodos después de 20 años [49].	Tratamiento ecológico y sostenible, eliminación de contaminantes como materia orgánica, SST, bajo costo de operación [55].

**Tabla 8. Posibles tratamientos terciarios para el diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Huarmaca – Huancabamba**

Crterios	Osmosis inversa	Microfiltración y ultrafiltración
<b>Descripción</b>	es una tecnología de membrana que elimina contaminantes y sólidos disueltos, el agua se desplaza desde una solución de menor salinidad hacia una de mayor concentración salina, por ello se utiliza mayormente para la desalinización y la purificación de agua para la reutilización [56].	Principalmente se emplea como una barrera para desinfectar y prevenir la actividad bacteriana, además de impedir que partículas como coloides y diversos microorganismos obstruyan el funcionamiento adecuado de procesos posteriores [57].
<b>Objetivo</b>	Eliminar los minerales disueltos y compuestos, materia biológica y coloidal.	Desinfectar y prevenir la actividad de bacterias, y partículas coloidales
<b>Diseño, Equipos, instalación y mantenimiento</b>	La ósmosis inversa implica revertir este proceso al aplicar una presión superior a la presión osmótica en el lado de la solución más concentrada. Esto contiene cuatro configuraciones básicas. Plato y marco, fibra hueca, tubular y arrollamiento en espiral. Este tratamiento requiere de un alto consumo de luz y de mano de obra calificado [56].	Se utilizan membranas como las membranas cerámicas, de fibra hueca o planas son comunes. El sistema de membranas debe ser con módulos de membranas que se alinean en series y paralelo para el tratamiento eficiente, por ello es por lo que se utiliza módulos de membranas, bombas de alimentación. Las membranas deben limpiarse regularmente para eliminar la acumulación de partículas y materia orgánica.
<b>Eficiencia de remoción</b>	99% de sólidos disueltos, dióxido de silicio, sulfato a un mayor de 90%, Trihalometanos al 84%, DBO al 99% y DQQ al 98% [58].	DQO: 98%, ST, 99%, turbidez al 99%, bacterias y microorganismos al 99% [59].
<b>Ventajas</b>	Alto eliminación de sales, resistencia a cloro y antioxidantes. Alta resistencia física y química.	Tanto la microfiltración como la ultrafiltración son altamente efectivas para eliminar partículas suspendidas, sólidos en suspensión, materia orgánica y microorganismos del agua residual.
<b>Desventajas</b>	Mayormente es utilizado para desalinización. Necesita de un alto consumo de energía. Mano de obra especializada.	Costos elevados por la compra de componentes, alto consumo de energía, mantenimiento continuo y de mano de obra calificado.

En la selección de un proceso de tratamiento es fundamental considerar el uso final de las aguas residuales tratadas. Para ello, se requiere información detallada sobre la tecnología disponible, las características específicas de las aguas residuales y la disponibilidad de espacios, aspectos que resultan prioritarios. Estos factores son esenciales para avanzar en la elección del sistema de tratamiento más adecuado [60]. Ante esto se realizará la ponderación de para poder elegir el tratamiento que resulte mejor a trabajar(ver anexo 11).

Factores considerados que se tomarán en cuenta en la confrontación de factores en la matriz

A. Disponibilidad del terreno

B. Efectividad en la remoción

- C. Costos de Inversión
- D. Diseño y ejecución
- E. Flexibilidad del sistema
- F. Mantenimiento
- G. Mínimo consumo de energía
- H. Disponibilidad de tecnología

El análisis se realizó siguiendo el criterio de importancia, otorgando una ponderación de 1 al más importante y 0 al menos importante. Según el anexo 11, los factores más determinantes para la designación del sistema de tratamiento de aguas residuales son la efectividad de remoción, la disponibilidad del terreno y la disponibilidad de tecnología.

Asimismo, se aplicó una escala de calificación del 1 al 5, donde 5 representa una valoración alta (excelente) y 1 una valoración baja (deficiente), en función del tipo de tratamiento y sus características específicas (ver Anexo 12).

Considerando la calificación de los factores en la etapa de pretratamiento (ver Anexo 13), se identificó que, de acuerdo con los parámetros evaluados, el desengrase y desaceitado son los procesos más necesarios, al obtener una puntuación alta respecto a los demás pretratamientos. Asimismo, se destacó el tamizado como un proceso esencial en el pretratamiento de aguas residuales, presentando una puntuación elevada similar a la del desengrase y desaceitado.

Los factores más relevantes para el desaceitado y desengrase son la eficiencia de remoción, que puede alcanzar una eliminación de hasta el 80% de materia de grasas y aceites, teniendo un tiempo de retención que esta de los 3 min a 5 min [38].

En cuanto al área de terreno requerida, el desengrase y desaceitado no demandan grandes espacios, y sus dimensiones dependerán del caudal de las aguas residuales del distrito.

El tamizado presenta diversas ventajas como pretratamiento para las aguas residuales. En relación con la disponibilidad de tecnología, el equipo puede ser adquirido comercialmente o de lo contrario construido con material adaptándose a un tamiz.

En cuanto a su remoción permite retener entre un 30% y un 98% de sólidos, dependiendo del tamaño de agujeros y tipo de tamiz empleado, que puede contener una cierta cantidad de mallas ubicada de forma horizontal.

Además, su consumo de energía es bajo, dado que se trata de un procedimiento mecánico para la separación de sólidos medianos o grandes. La instalación es sencilla, no requiere personal altamente calificado y el mantenimiento puede realizarse de forma manual.

En los posibles tratamientos primarios, como la sedimentación/decantación, tanques Imhoff, coagulación y floculación no se realizó la calificación ya que de acuerdo con la evaluación nos

indica que la sedimentación/decantación mayormente se utiliza en comunidades con poblaciones de 2 000 habitantes [61], en cuanto a los tanques Imhoff son estructuras muy profundas mayores de 6 m lo cual complica la construcción en arena fluida y en roca, además este sistema se utiliza en comunidades donde no cuentan con un sistema de alcantarillado [43].

Para la calificación de factores en el tratamiento secundario, las lagunas de estabilización (ver Anexo 14) fueron las que obtuvieron el mayor puntaje, posicionándose como la opción más adecuada en comparación con los filtros percoladores, los sistemas de lodos activados y los humedales artificiales.

Se consideraron los factores de mayor importancia, como la eficiencia de remoción, el consumo de energía y la disponibilidad de terreno.

En cuanto a la eficiencia de remoción de las lagunas de estabilización se tiene los parámetros de remoción de DBO entre 75% y 85%, DQO entre 65% y 80%, SS entre 70% y 87%, Nitrógeno entre 30 y 60% y Coliformes entre 90 y 99% [49]. En las lagunas facultativas se logra una eliminación de más del 97% CF, más del 80% de DBO y más del 63% de SST, mientras que la eliminación de CT supera el 99% de CT [62]. Asimismo, las lagunas de maduración tienen remociones de CF >99%, DBO mayores del 80% y más del 99% de CT [63].

El consumo de energía en las lagunas de estabilización es muy bajo o prácticamente nulo, ya que la remoción de materia orgánica se realiza mediante procesos naturales.

Además, su operación es sencilla, por lo que no se requiere de personal especializado, a diferencia de otros sistemas de tratamiento.

### **Pretratamiento**

El **tamizado** el proceso mecánico en la eliminación de residuos sólidos, mediante la separación de partículas a través de tamices con una separación entre barras(milímetros). En este caso, se considera un tamiz estático, que permita la separación de líquido – solido en un proceso continuo, capaz de retener partículas de hasta 0,25 mm según el modelo [64].

Pueden tener un peso más de 370 kg, con dimensiones de 1 220 mm de alto, ancho 690 mm y de fondo con 1 060 mm, con luces de paso hasta de 3 mm y de 16 a 43  $m^3/h$  de capacidad.

**Para el desengrase**, permite separar las grasas, espumas y aceites que se acumulan en la superficie, con el objetivo de evitar daños en las etapas posteriores del tratamiento de aguas residuales.

Para el diseño se consideran la capacidad del caudal y las concentraciones de aceites presentes, empleando equipos como separadores de grasas de una o más cámaras, en las que las

aguas residuales fluyen lentamente. Estos equipos presentan menos costos de mantenimiento y pueden conseguir una eliminación de hasta el 80% de materia grasa y aceites.

**Los separadores de grasa GR** son equipos de pretratamiento de las aguas residuales proveniente de viviendas, tiene como función de retener aceites y grasas que contiene el agua residual. Su caudal es 7 L/s, 10 L/s y hasta 18 L/s, sus medidas es de 2 000 mm de largo, 1 150 mm de ancho y 1 440 mm de alto. Es un equipo compacto de desengrase y retención de sólidos en un solo módulo eliminará las grasas y aceites, partículas sólidas presentes en las aguas residuales, las cuales quedarán atrapadas dentro del tanque para su posterior evacuación [65].

Los separadores de grasas y aceites están divididos en dos cámaras y separadores que tiene dos deflectores verticales que impiden el escape de flotantes. Cuando el agua residual ingresa a la primera cámara, las grasas y aceites ascienden a la superficie, mientras que las partículas más densas sedimentan en el fondo. La entrada de agua hacia el primer deflector se realiza por la parte inferior, donde la concentración de aceites y grasas es menor. Posteriormente, el agua fluye hacia el segundo deflector desde la parte superior, manteniendo así una altura constante en el depósito de acumulación de grasas [65].

### **Tratamiento secundario**

**Lagunas de estabilización.** Son grandes estanques que se encargan de retener con diques de tierra que se utiliza para contener aguas residuales mientras se realice la sedimentación y la degradación biológica, estos pueden tener remociones de acuerdo con su clasificación: Anaeróbica, facultativas y de maduración(ver anexo 15), tomando en consideración la laguna facultativa y maduración, asimismo se ha tenido en cuenta los elementos climáticos que inciden en las lagunas de estabilización, como la temperatura, radiación solar y el viento(ver anexo 16).

La capacidad del sistema de tratamiento fue estimada con base en el volumen promedio de aguas residuales generadas por habitante, considerando un consumo de 80 L/hab/día, conforme a lo indicado en la Resolución Directoral N.º 4816 de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), en coordinación con la Autoridad Local del Agua (ALA) y la Municipalidad Distrital de Huarmaca [5]. En el año 2022, la población del distrito fue de 5230 habitantes(ver anexo 3), y según proyecciones de crecimiento poblacional, se espera que en el año 2034 alcance los 9350 habitantes (ver anexo 4). Esta proyección permite calcular una generación total de aguas residuales de aproximadamente 273 027 m<sup>3</sup>/año(ver anexo 5 y 17), lo que equivale a un caudal promedio de 32 m<sup>3</sup>/h.

Esto evidencia que la generación de aguas residuales en el distrito presenta un incremento progresivo, proyectándose que para el año 2034 se alcanzará el mayor volumen, con

aproximadamente 273 027 m<sup>3</sup> anuales. Este valor equivale a un caudal promedio diario de 758 m<sup>3</sup>/día, el cual fue considerado como base para el análisis de balance.

Asimismo, es esencial la información derivada del análisis de laboratorio, que muestre la cantidad de materia en parámetros de coliformes fecales, totales, aceites y grasas, SST, DQO y DBO. Esta información se utilizó para contrastar las eficiencias del tratamiento antes y después, con el propósito de alcanzar las características requeridas para la reutilización y/o la descarga de las aguas residuales.

Caudal por día 758 m<sup>3</sup>/día

Horas para tener en cuenta 24 h/día

Caudal por hora  $\frac{758m^3/día}{24 h/día}$

Caudal por hora = 32m<sup>3</sup>/hora

Conversiones de los parámetros, necesarios para el balance de materia que se pasarán a kg/h.

<p>Aceites y grasas Efluente Caudal: 32/hora Parámetro: 110 mg/L</p>	<p>Para reducir las cantidades de aceites y grasas en las aguas residuales se realizó las conversiones de las unidades del parámetro a kg/h, esto con el fin de realizar el balance de materia. La conversión se realizó de la siguiente manera</p> $Par. \left( \frac{kg}{h} \right) = caudal \left( \frac{m^3}{h} \right) cant. parámetro \left( \frac{mg}{l} \right) \frac{1000l}{m^3} * \frac{1x10^{-6}}{mg}$ <p>Luego se reemplazó los datos en la fórmula y se obtuvo:</p> $Acet. y grasas \left( \frac{kg}{h} \right) = 32 \left( \frac{m^3}{h} \right) x 110 \left( \frac{mg}{l} \right) \frac{1000l}{m^3} * \frac{1x10^{-6}}{mg}$ $Acet. y grasas \left( \frac{kg}{h} \right) = 3,47$
--	--

<p>Caudal: 32m<sup>3</sup>/hora DBO: 307 mg/L SST: 452 mg/L DQO: 628 mg/L</p>	<p>Es importante realizar el balance de masa, lo cual se convierte las unidades del parámetro a kg/h, La conversión se realizó de la siguiente manera.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Para los fisicoquímicos</li> </ul> $Par. \left( \frac{kg}{h} \right) = caudal \left( \frac{m^3}{h} \right) cant. parámetro \left( \frac{mg}{l} \right) \frac{1000l}{m^3} * \frac{1x10^{-6}}{mg}$ <p>Luego se reemplazó los datos en la fórmula y se obtuvo:</p> $DBO \left( \frac{kg}{h} \right) = 32 \left( \frac{m^3}{h} \right) 307 \left( \frac{mg}{l} \right) \frac{1000l}{m^3} * \frac{1x10^{-6}}{mg}$ $DBO \left( \frac{kg}{h} \right) = 9,70$ $SST \left( \frac{kg}{h} \right) = 32 \left( \frac{m^3}{h} \right) 452 \left( \frac{mg}{l} \right) \frac{1000l}{m^3} * \frac{1x10^{-6}}{mg}$ $SST \left( \frac{kg}{h} \right) = 14,28$
---	--

$$BQO \left( \frac{kg}{h} \right) = 32 \left( \frac{m^3}{h} \right) 628 \left( \frac{mg}{l} \right) \frac{1000l}{m^3} * \frac{1 \times 10^{-6}}{mg}$$

$$BDO \left( \frac{kg}{h} \right) = 19,84$$

Efluente  
Caudal:  $32m^3/hora$   
Coliformes fecales:  
 $6\ 200\ 000 \frac{NMP}{100ml}$   
Coliformes totales:  
 $15\ 000\ 000 \frac{NMP}{100ml}$

Es importante realizar el balance de masa, lo cual se convierte las unidades del parámetro a kg/h, La conversión se realizó de la siguiente manera.

- Para los microbiológicos

$$\text{Parámetro.} \left( \frac{NMP}{h} \right) = \text{caudal} \left( \frac{m^3}{h} \right) \text{cant. pará.} \frac{NMP}{100ml} * \frac{ml}{1 \times 10^{-6} m^3}$$

Luego se reemplazó los datos en la fórmula y se obtuvo:

$$\text{Colif. fec} \left( \frac{NMP}{h} \right) = 32 \left( \frac{m^3}{h} \right) 6200000. \left( \frac{NMP}{100ml} \right) * \frac{ml}{1 \times 10^{-6} m^3}$$

$$\text{Colif. fec} \left( \frac{NMP}{h} \right) = 1,96 \times 10^{14}$$

$$\text{Colif. Tot} \left( \frac{NMP}{h} \right) = 32 \left( \frac{m^3}{h} \right) 15000000. \left( \frac{NMP}{100ml} \right) * \frac{ml}{1 \times 10^{-6} m^3}$$

$$\text{Colif. Tot} \left( \frac{NMP}{h} \right) = 4,74 \times 10^{14}$$

Balance de materia por etapas seleccionadas de acuerdo con los factores, en el pretratamiento se consideró el tamizado, desengrase y desaceitado, asimismo las lagunas de estabilización como tratamiento secundario.

### Balance de masa de la primera etapa.

Considerando una entrada de  $32 m^3/hora$ :

### Conversión de $m^3$ a L:

Considerando un fluido con densidad similar al agua  $1\ 000L/m^3$

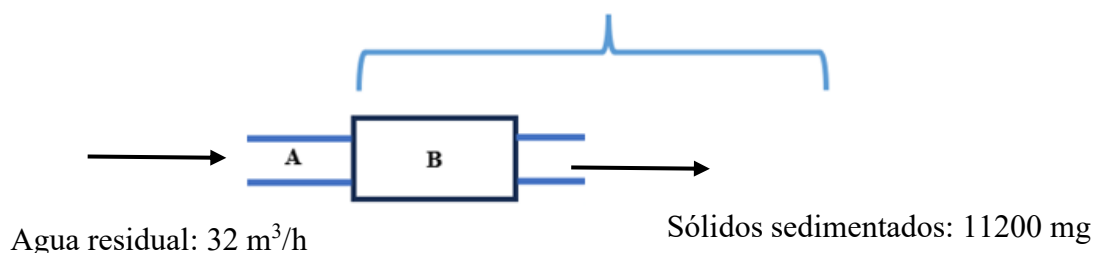
$$= \frac{32m^3}{m^3} * 100L = 32\ 000L$$

Según Chong-Qui [66] el tamizador tiene una capacidad de retención de  $0,35mg/L$ .

$$= 32000L * 0,35 \frac{mg}{L}$$

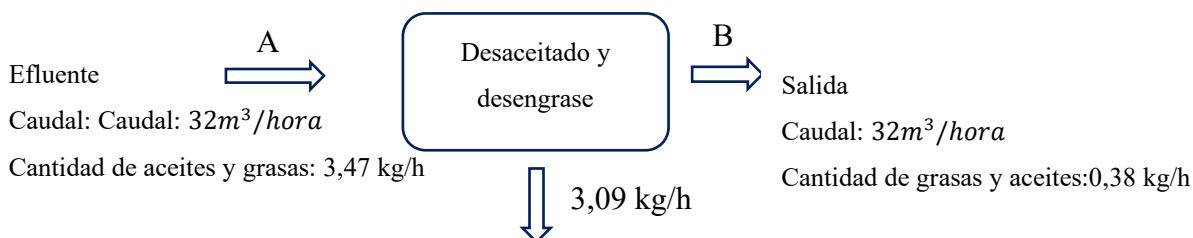
$$= 11200mg$$

### PRE - TRATAMIENTO



### Eficiencia de remoción

Aceites y grasas 89%



### Eficiencia de remoción

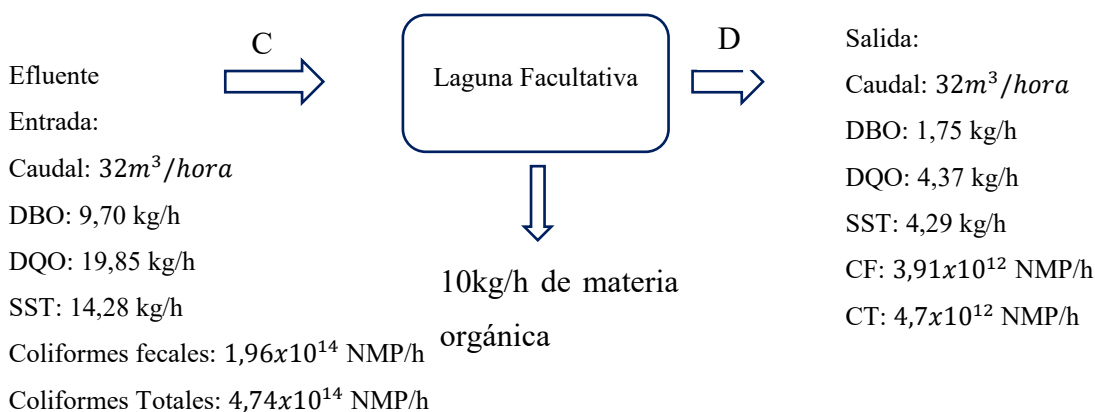
DBO: 82%

DQO: 78%

SST: 70%

Coliformes fecales: >98%

Coliformes Totales: >99%



### Eficiencia de remoción

DBO: 71%

DQO: 69%

SST: 90%

Coliformes fecales: >99%

Coliformes Totales: >99%

Entrada:

Caudal:  $32\text{m}^3/\text{hora}$

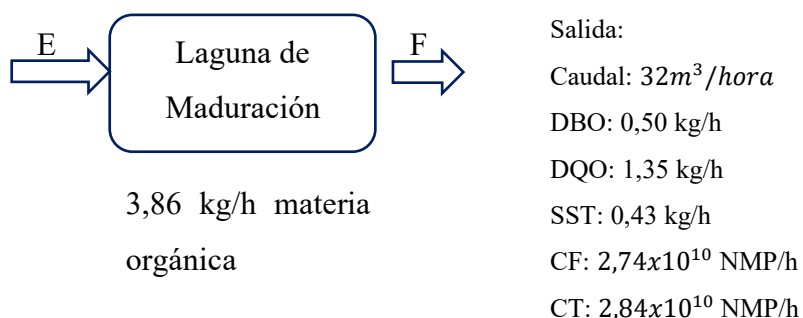
DBO:  $1,75\text{ kg/h}$

DQO:  $4,37\text{ kg/h}$

SST:  $4,29\text{ kg/h}$

Coliformes fecales:  $3,92 \times 10^{12}\text{ NMP/h}$

Coliformes Totales:  $4,74 \times 10^{12}\text{ NMP/h}$



En la tabla 9 se tiene las características finales del agua tratada, comparados con los LMP y la categoría 3 sobre riego no restringido.

**Tabla 9. Parámetros finales del sistema de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Huarmaca – Huancabamba**

parámetro	simbolo	Unidad	Remoción del sistema	LMP(D.S 003-2010 MINAM)	Agua para riego no restringido
Potencial de Hidrogeno	pH	-	7,72	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
Temperatura	T °	°C	16,2	< 35	< 35
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100mL	868	10 000,00	1 000,00
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)	DBO	mg/L	13	100,00	DBOs 15
Aceite y Grasas	HEM	mg/L	<5	20,00	<5
Solidos Suspendidos Totales	TSS	mg/L	13,56	150,00	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	DQO	mg/L	38	200,00	40,00
Coliformes Totales	NMP	NMP/100mL	900	1 000,00	2 000,00

**Fuente: Elaboración propia**

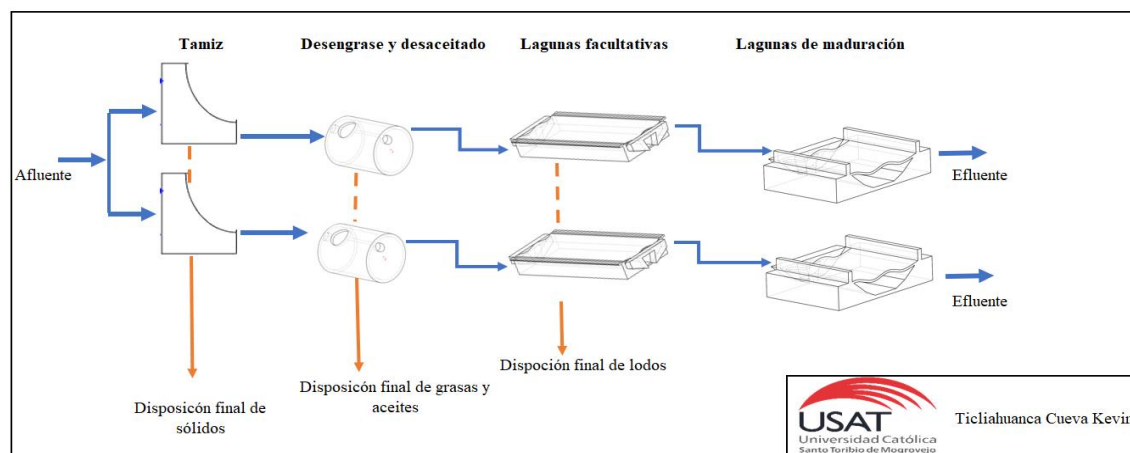
Las cargas de CF, DBO, aceites y grasas, SST, DQO y CT, fueron obtenidas en la etapa final del sistema de tratamiento de aguas residuales del distrito de Huarmaca. Los resultados indican que, si bien no se logra una remoción total, se consigue una reducción significativa de los contaminantes que generan impactos ambientales, permitiendo su disponibilidad para el riego de parques y jardines del distrito

Los parámetros finales obtenidos del sistema de tratamiento, fueron comparados con los LMP y la categoría 3 que es el riego no restringido, lo cual cumplen con las características de calidad de agua que se necesita para ser vertidos y su uso en áreas verdes (ver anexo 18).

Además, los residuos de las etapas del sistema, como del tamiz que hay presencia de plásticos, papel; el desaceitado y desengrase se tendrá los aceites de cocina y las lagunas facultativas se tiene como residuo los lodos biológicos, solidos orgánicos e inorgánicos, por otro lado, en la de maduración se tendrá patógenos y nutrientes. Estos pasarán hacer tratadas y reutilizadas como abono para el cultivo de forraje, a cargo de la municipalidad distrital de Huarmaca, con el fin de evitar contaminaciones de estos residuos.

El sistema del tratamiento de las aguas residuales propuesto será ubicado en los exteriores del distrito, considerando un terreno para el diseño que no forma parte del patrimonio municipal, en caso se contemplarse la implementación real del sistema se realizará el saneamiento físico y leal con los propietarios. Por ello se ha considerado en la parte exterior del distrito cumpliendo con el Reglamento Nacional de edificaciones sobre la construcción o ubicación de lagunas facultativas, ubicada entre los 5°33'50,17''S y 79°31'42,44''O con una altitud de 2 121 m.s.n.m., así como se muestra en la imagen satelital(ver anexo 19), lo cual estará compuesto por pretratamiento que se tendrá el tamizado y desaceitado - desengrase, que

luego pasará por un tratamiento secundario que vienen hacer las algunas de estabilización(facultativa y maduración) este sistema tendrá en forma paralela para su mejor distribución y facilidad de mantenimiento, así como se observa en la figura 1.



**Figura No 1: Diagrama del sistema de tratamiento de aguas residuales del distrito de Huarmaca – Huancabamba**  
Fuente: Elaboración propia

- Ingreso del efluente
- Tamizado
- Desaceitado y desengrase
- Laguna de estabilización – facultativa
- Laguna de estabilización – Maduración

El traslado del agua residual dentro del sistema se realiza por acción de la gravedad, ya que el terreno donde se implementará presenta una ligera pendiente. Esta característica natural permite que el flujo avance de manera continua desde el punto de ingreso hasta cada una de las unidades del sistema, como el tamiz, el separador de grasas y aceites, y finalmente las lagunas de estabilización.

Las dimensiones del canal de entrada deben contemplar una estructura adecuada para la recepción de las aguas residuales. Para ello, se calcularon las dimensiones considerando los flujos mínimos y máximos y el promedio, de acuerdo con el pronóstico realizado. El caudal máximo se tomará para el año 2034, con un volumen anual de 27 3027 m<sup>3</sup>/año, equivalente 22752 m<sup>3</sup>/mes, 758 m<sup>3</sup>/día, 32 m<sup>3</sup>/hora y 0,00889 m<sup>3</sup>/s.

El canal de ingreso al sistema estará al descubierto, teniendo una forma rectangular, ubicado antes de la etapa de pretratamiento. Para el diseño se utilizó el programa Hcanales, considerando el caudal máximo de agua en m<sup>3</sup>/s y con un coeficiente de rugosidad de 0,016 que se tomó en cuenta de acuerdo con los valores de rugosidad “n” de Manning en canales [67].

Cálculo de tirante normal secciones: trapezoidal, rectangular, triangular

Lugar: **Huarmaca - Huancabamba** Proyecto: **Sistema de aguas residuales**  
Tramo:  Revestimiento:

**Datos:**

Caudal (Q): **0.00888889** m<sup>3</sup>/s  
Ancho de solera (b): **0.20** m  
Talud (Z):   
Rugosidad (n): **0.016**  
Pendiente (S): **0.001** m/m



**Resultados:**

Tirante normal (y): **0.1474** m Perímetro (p): **0.4948** m  
Área hidráulica (A): **0.0295** m<sup>2</sup> Radio hidráulico (R): **0.0596** m  
Espejo de agua (T): **0.2000** m Velocidad (v): **0.3015** m/s  
Número de Froude (F): **0.2507** Energía específica (E): **0.1520** m-Kg/Kg  
Tipo de flujo: **Subcrítico**

**Figura 2. Software de Hcanales para el diseño de canal de entrada**

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la figura 2, el ancho es de 0,20 m, altura de 0,30 m, tirante normal de 0,147 m, área hidráulica de 0,0295 m<sup>2</sup>, espejo de agua 0,200 m, perímetro de 0,4958 m, radio hidráulico de 0,0596 m y velocidad de 0,3015 m/s.

Para los vertederos rectangulares se tuvo en cuenta el resalte hidráulico de 1 – 7,7, utilizando el valor máximo para evitar variaciones en el diseño. De acuerdo con la normativa, que establece profundidades de vertederos entre 1,5 a 2 metros, se adoptó igualmente la medida máxima en los canales horizontales.

En función a la sección de Froude en la sección de agua de arriba del resalto.  $F_1$  y de la profundidad inicial  $y_1$ . Diseño del vertedero(ver anexo 34).

$$L_{RH} = 9,75y_1(F_1 - 1)^{1,01}$$

$$L_{RH} = 10,11 \text{ m}$$

Caudal de ingreso:

$$Q = 32 \frac{m^3}{h}$$

Profundidad:

$$y_1 = 2 \text{ m}$$

Ancho:

$$a = 1,6 \text{ m}$$

Esto tiene que ver con el cambio repentino de la corriente líquida de la velocidad de flujo supercrítico a subcrítico.

procesos de mezclado o aireación de fluidos.

$$F = \frac{v}{\sqrt{gDH}}$$

Donde, F= fuerza aplicada al resalto, v: velocidad, g: gravedad, DH: profundidad hidráulica,

$$F = \frac{v}{\sqrt{gDH}}$$

$$1.1 = \frac{v}{\sqrt{9,81 * 2}}$$

$$v = 6,89 \text{ m/s}$$

Lo cual se tendrá un vertedero rectangular de 4m de largo, 4m de ancho y 2m de alto de acuerdo con el anexo 34.

Dimensiones de los tamices se considerará de acuerdo con la norma ASTM E – 11 [68] la cual permite enumerar la criba, esta norma indica el número de tamiz, que tiene que ver con la abertura del paso luz, pero con diámetros iguales.

En este caso se tiene en cuenta un tamiz estático donde se da la separación de líquido – sólido en un proceso continuo, esto puede retener partículas de hasta 0,25 mm(ver anexo 20) de acuerdo con el modelo [64].

Pueden tener un peso más de 370 kg, con dimensiones de 1 220 mm de alto, ancho 690 mm y de fondo con 1 060 mm, con luces de paso hasta de 3 mm y de 16 a 43  $m^3/h$  de capacidad.

Entre sus ventajas se tiene que no necesita de operación manual, de limpieza manual, es válido para concentraciones de sólidos, sus dimensiones se adaptan a los caudales, no se necesita energía eléctrica y tiene un funcionamiento silencioso. Además, la instalación y mantenimiento es de forma sencilla y no se requiere de obra civil alguna.

También se tiene el tamiz aliviadero PTAR, se utiliza en instalaciones de construcciones nuevas y también ya existentes. Su luz de paso acotada en dos dimensiones de la chapa perforada ayuda a tener una alta retención de sólidos [69].

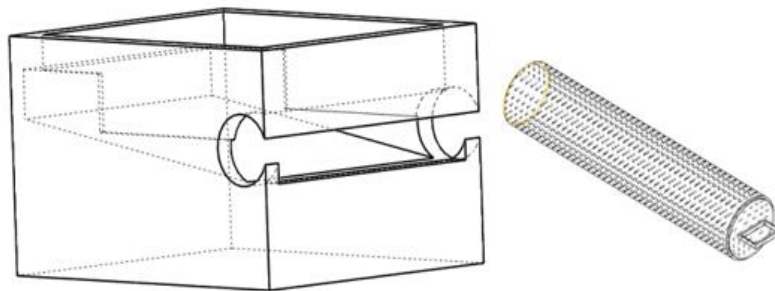
Este tamiz se puede realizar una limpieza de manera automática de la malla filtrante, separa y elimina los sólidos en suspensión y flotantes, se puede utilizar para diferentes caudales de agua, así como en instalaciones que presenten restricciones hidráulicas, tiene flexibilidad en el momento de instalación de una obra nueva o alguna ya existente. [69] puede tener una capacidad de 36  $m^3/h$ , diámetros interiores de 0,38 m, largo de 2,5 m, luz de paso desde 0,25 mm hasta 3 mm (ver anexo 21).

### **Diseño del Tamizador.**

En la figura 3 se muestra el diseño del área de cuerpo del tamizador, de forma rectangular, con los bordes circulares. Este diseño cuenta con un ingreso de una parte del agua residual y una rampa que facilita la caída del flujo y llegar al tamizador. El tamizador posee porosidades de 0,25mm de diámetro, conforme a la normativa, para evitar el paso de materiales que pueda afectar el proceso de purificación. Según investigaciones, el tamizador tiene una capacidad de

retención de 0,35mg/L, de acuerdo con Chong-Qui [66], indica que, durante su investigación mediante el método de uso de Cono de Imhoff, se halló este resultado de sólidos sedimentado. Finalmente puede sedimentar sólidos de 11 200 mg.

El cuerpo del tamiz tiene dimensiones de 4m de largo, 4m de ancho y 2 m de altura, donde pasa con un flujo de 32 m<sup>3</sup>/h teniendo un tamizador de forma cilíndrica con 2m de largo, 2,25 m de alto, teniendo un volumen de 4,5 m<sup>3</sup> (ver anexo 37 y 38).



**Figura 3. Diseño del tamizador**

Fuente: Elaboración Propia

Para el desengrase y desaceitado Los separadores de grasa GR son equipos de pretratamiento de las aguas residuales proveniente de viviendas, tiene como función de retener aceites y grasas que contiene el agua residual. Su caudal es de 7 L/s, 10 L/s y hasta 18 L/s, sus medidas es de 2 000 mm de largo, 1 150 mm de ancho y 1 440 mm de alto. Es un equipo compacto de desengrase y retención de sólidos en un solo módulo eliminará las grasas y aceites, partículas sólidas presentes en las aguas residuales, las cuales quedarán atrapadas dentro del tanque para su posterior evacuación(ver anexo 22) [65].

Para el desengrase y desaceitado se tendrá el siguiente modelo de diseño, teniendo en cuenta un caudal de 32m<sup>3</sup>/h o 32 000 litros/hora.

Con ello se tendrá el siguiente dimensionamiento.

$$= \frac{32 \text{ m}^3/\text{h}}{\text{m}^3} \times 1000 \text{ l} = 32\ 000 \text{ l/h}$$

Considerando las dimensiones del equipo con 4m de largo, 4m de ancho y 2m de alto, con un volumen de 32 m<sup>3</sup>(ver anexo 35).

Para las lagunas de estabilización se tiene en cuenta el periodo de retención(R), volumen(V), y el caudal en m<sup>3</sup>/día. El factor de corrección hidráulica (HCF) tiene un valor entre 0,3 y 0,8 debido a los efectos del diseño y la posición relativa de las estructuras de entrada y salida [70].

Lo cual se toma la siguiente fórmula, como para las remociones de DBO o carga bacteriana.

$$\theta = R * HCF \quad \frac{C}{C_o} \text{ ó } \frac{N}{N_o} = \frac{1}{K\theta+1}$$

Posteriormente se tuvo en cuenta para una temperatura más baja de 16°C con carga de 9,7 kg/hora de DBO, alcanzando  $La_t$ (máxima carga de DBO) de 15,8 aplicable a las lagunas facultativas. La construcción de la laguna facultativa según la norma técnica de edificaciones S.090 PTAR [71] debe de tener un mínimo de 200 m y con una construcción de 15 cm de escarificación de la ruptura aproximadamente para realizar terraplenes.

Se empleó vertederos rectangulares(ver anexo 24) sin contracciones de pared, teniendo en cuenta el caudal(Q), longitud horizontal del vertedero en metros(L), y la altura(H) dando un caudal de  $3,67 m^3$ .

$$Q = 1,838 * LH^{\frac{3}{2}}$$

Para las tuberías de conducción se requieren unidades de emparejamiento del fluido, asegurando que se tenga una carga proporcional a su capacidad. Un repartidor común(cámara que distribuya) cumple la función de distribuir el caudal en los vertederos, con destino a cada laguna. Además, se realizó el equilibrio hídrico de la laguna teniendo en cuenta la infiltración y evaporación en las lagunas de estabilización.

$$Q_e = Q_a + (P_r + P_c) - (E - P_e)$$

La carga orgánica se calculó utilizando el promedio de producción per cápita diaria de 9,7 kg/h de DBO /ha.h que es el promedio doméstico con respecto a los desagües con una dotación de 32 L/ha.h. Los dimensionamientos de las lagunas facultativa(ver anexo 31) y de maduración(ver anexo 33) se dará de acuerdo con la tabla 10.

**Tabla 10. Dimensiones de la laguna de estabilización**

Laguna	Área (m <sup>2</sup> )	Dimensionamiento de espejo de agua (m)	Volumen (m <sup>3</sup> )	Profundidad (m)
Facultativa	2 800	70*40	5 040	1,8
Maduración	3 000	150*20	5 400	1,8

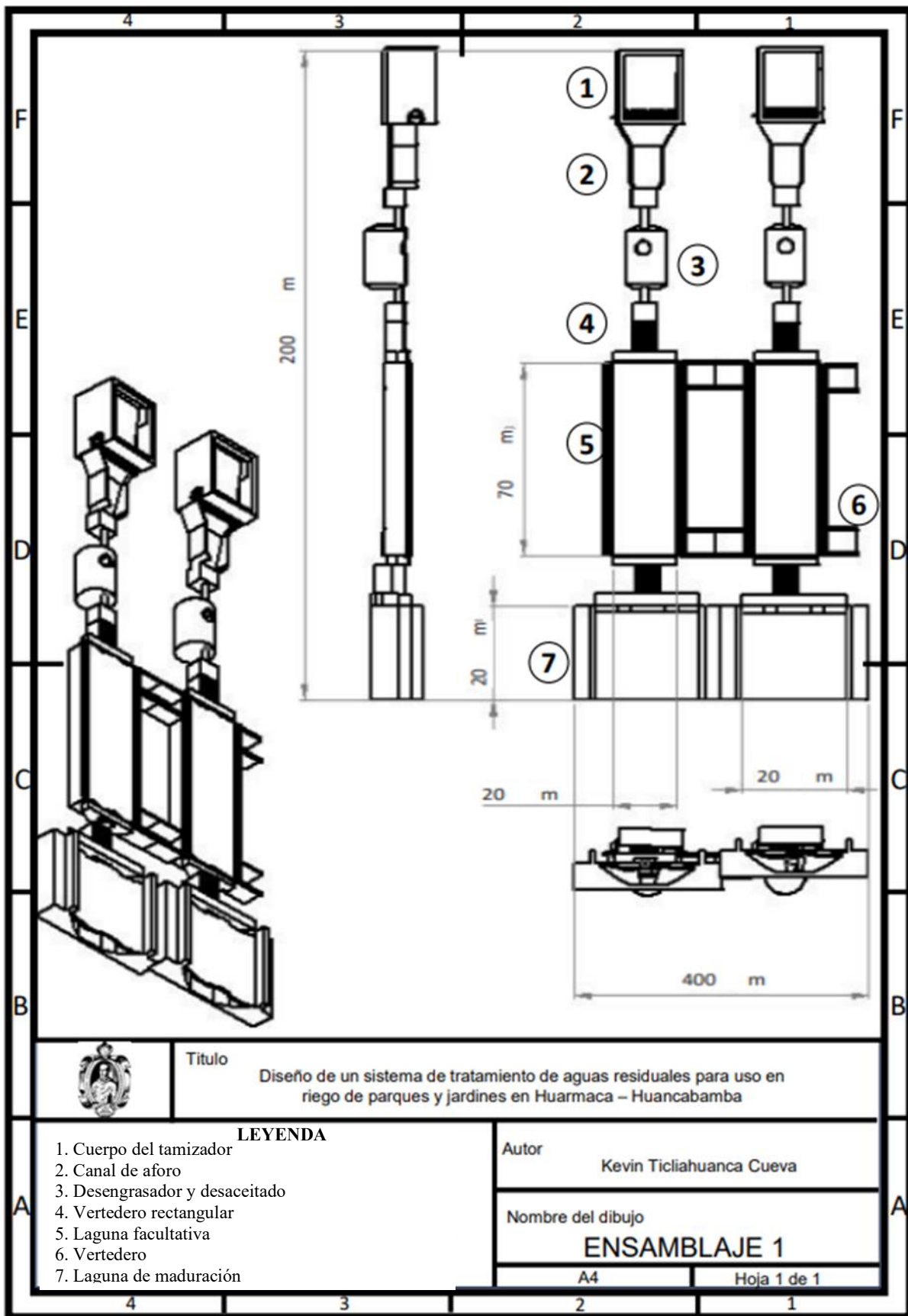
Fuente: Elaboración propia

**Tabla 11. Resumen de las dimensiones de los equipos del sistema de tratamiento de aguas residuales**

Partes de la laguna de tratamiento	Largo	Ancho	Alto	Área (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
Cuerpo del tamizador	4	4	2	16	32
Tamizador	2	2,25	1	4,5	4,5
Desengrasador	4	4	2	16	32
Vertedero rectangular	4	4	2	16	32
Laguna facultativa	70	40	1.8	2800	5040
Laguna maduración	20	150	1.8	3000	5400

Fuente: Elaboración propia

**Plano del sistema de tratamiento de aguas residuales del distrito de Huarmaca –  
Huancabamba**



**Título**  
Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para uso en riego de parques y jardines en Huarmaca – Huancabamba

**LEYENDA**

- 1. Cuerpo del tamizador
- 2. Canal de aforo
- 3. Desengrasador y desaceitado
- 4. Vertedero rectangular
- 5. Laguna facultativa
- 6. Vertedero
- 7. Laguna de maduración

**Autor**  
Kevin Ticliahuanca Cueva

**Nombre del dibujo**  
**ENSAMBLAJE 1**

A4 Hoja 1 de 1

Terminado el diseño del sistema se realizó la evaluación de la propuesta analizando los costos de inversión, considerando tanto las tangibles e intangibles. Para ello, se contemplaron las inversiones en obras civiles, basándose en la R.M 370 – 2018 - Vivienda [72], que establece los costos unitarios sobre edificaciones para la costa, sierra y selva. Además, se incluyeron inversiones en obras de concreto y excavaciones, adquisición de maquinaria, equipos, accesorios, y la inversión intangible. Ambos conceptos sumaron un monto de S/250 815,59 (ver anexo 45). Asimismo, se tomó en cuenta los costos asociados a sanciones y multas impuestas por parte de la Autoridad Nacional del Agua al no cumplir con el Reglamento de Recursos Hídricos ley 29 338(ver anexo 46) ya que el distrito se encuentra en infracción grave y debe de pagar 5 UIT anualmente. Además, la compra de agua potable para el regadío de parques y jardines genera costos por consumo de agua para un área total de 13 038 m<sup>2</sup>, donde más de 10000 m<sup>2</sup> representan áreas verdes.

Igualmente, se contemplaron los costos asociados a los trabajadores encargados del sistema de tratamiento(ver anexo 48) y los costos de mantenimiento, que ascienden a S/5 016,31, calculados en base a estimaciones de mantenimiento con respecto a la inversión inicial(ver anexo 49).

Finalmente, se realizó en Beneficio Costo de la propuesta, conforme se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 12. Análisis del Beneficio – Costo

<b>BENEFICIO S/.</b>												
<b>Descripción</b>	<b>2024</b>	<b>2025</b>	<b>2026</b>	<b>2027</b>	<b>2028</b>	<b>2029</b>	<b>2030</b>	<b>2031</b>	<b>2032</b>	<b>2033</b>	<b>2034</b>	Total
Ahorro por el consumo de agua	83 179,5	83 179,5	83 179,5	83 179,5	83 179,5	83 179,5	83 179,5	83 179,5	83 179,5	83 179,5	83 179,5	
Ahorra de costo por multas	77 250	77 250	77 250	77 250	77 250	77 250	77 250	77 250	77 250	77 250	77 250	
<b>BENEFICIO S/.</b>	160 430	160 430	160 430	160 430	160 430	160 430	160 430	160 430	160 430	160 430	160 430	S/ <b>1 764 724,50</b>
<b>COSTOS S/.</b>												
Costo total de la inversión	250 815,59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Costo total de trabajadores	76800	76 800	76 800	76 800	76 800	76 800	76 800	76 800	76 800	76 800	76 800	
Costo de mantenimiento	5 016,31	5 016,31	5 016,31	5 016,31	5 016,31	5 016,31	5 016,31	5 016,31	5 016,31	5 016,31	5 016,31	
<b>Total, del costo</b>	332 631,9	81 816,3	81 816,3	81 816,3	81 816,3	81 816,3	81 816,3	81 816,3	81 816,3	81 816,3	81 816,3	S/ <b>1 150 795,03</b>
Flujo	-172 202,4	78 613,2	78 613,2	78 613,2	78 613,2	78 613,2	78 613,2	78 613,2	78 613,2	78 613,2	78 613,2	

Fuente: Elaboración propia

Beneficio / Costo = 1 764 724,50 / 1 150 795,03 = S/. 1,53

TIR: 45%

PRI: 2,19

Posteriormente, se desarrolló la evaluación del impacto ambiental de la propuesta de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales del distrito de Huarmaca. Lo cual en el primer objetivo se realizó la evaluación de los impactos ambientales, identificándose al medio físico el más preocupante al tener impactos negativos de acuerdo con la matriz Leopold(ver anexo 50). Por ello, se realizó una nueva evaluación ambiental, con la finalidad de poder identificar si el sistema tratamiento de aguas residuales pueda ayudar a disminuir el impacto negativo que se presenta. En tal sentido, se aplicó nuevamente la matriz ya utilizada anteriormente, considerando las mismas actividades evaluadas en la primera fase. Los resultados evidenciaron una disminución significativa de los impactos negativos en el medio físico, obteniendo un impacto de -13, así como un impacto positivo en el medio biológico y reduciendo los impactos negativos en el medio social. Finalmente, el impacto total de la propuesta fue de -13(ver anexo 50), clasificándose como un impacto bajo de acuerdo con la valorización de impactos ambientales.

### **Discusiones**

Las aguas residuales del distrito de Huarmaca vienen siendo vertidas directamente a las pozas de almacenamiento, con una capacidad de 120 000 m<sup>3</sup>. Sin embargo, debido al crecimiento poblacional y al consecuente aumento en el volumen de aguas residuales, las pozas han colapsado, ya que el caudal actual alcanza los 20 m<sup>3</sup>/h. En cuanto a los parámetros fisicoquímicos como el pH y temperatura son cumplen con los LMP establecidos por el MINAM; no obstante, las concentraciones de aceites y grasas, DBO, DQO, SST, CF y CT superan dichos límites. Matsumoto y Sánchez [18], en su investigación sobre el desempeño de las lagunas de estabilización de una anaeróbica y facultativa, caracterizaron un caudal promedio de 49 m<sup>3</sup>/h, reportando concentraciones de DBO que oscilaron entre 48 y 547 mg/L, promediando 306 mg/L, mientras que la DQO varió entre 161 y 1 107 mg/L, con un promedio de 619 mg/L. Lo cual, comparando con la caracterización de las aguas residuales del distrito de Huarmaca, 307 mg/L de DBO y 628 mg/L de DQO, se observa una relación entre las concentraciones de la DQO y la DBO de orden 2, tal como señala Metcalf y Eddy, siendo típica en aguas residuales de origen doméstico.

En base al objetivo 2, se determinó que las lagunas de estabilización presentan eficiencias de remoción de DBO: 75 – 85% DQO: 65 – 80% SS: 70 – 87% Nitrógeno: 30 – 60% Coliformes: 90 – 99% [49], logradas a través de procesos naturales. En cambio, para los filtros percoladores alcanzan mayores remociones de DBO: 98,12%; DQO: 96,36%; SST: 95,76%; sin embargo, su eficiencia en la eliminación de coliformes fecales es inferior que alcanza de 46 a 70% de remociones [52], siendo una desventaja con respecto a las lagunas de estabilización.

Por otro lado, aunque los sistemas de lodos activados muestran alta eficiencia, sus costos de operación elevados [50], a diferencia de las lagunas de estabilización, que requieren mínimo mantenimiento y no demandan personal calificado.

Con respecto al objetivo 3, para el diseño del sistema se consideró la instalación de un tamiz, un equipo de desengrase y desaceitado, vertederos y lagunas de estabilización, conformadas por una laguna facultativa y una de maduración, logrando remover más de 90% en DBO, DQO, SST, CF, CT, aceites y grasas, cumpliendo con los LMP emitidas por el MINAM. Por otro lado, Anaya *et al* [22], en su diseño de un sistema de aguas residuales, optaron por filtros que incluían sedimentadores y piedra de río, complementados en una segunda fase con biofiltración mediante humedales artificiales usando pasto Vetiver, alcanzando una reducción de DQO del 89% a escala de laboratorio. Ambos sistemas, aunque con distintos en su tecnología, cumplen con los ECA, teniendo remociones necesarias para el vertimiento y la reutilización del recurso hídrico.

## Conclusiones

Las aguas residuales del distrito de Huarmaca – Huancabamba presentan un impacto ambiental negativo sobre los componentes biológico, físico y social. Los parámetros obtenidos de DBO, DQO, SST, CF, CT y aceites y grasas superan hasta 3 veces los Límites Máximos Permisibles, registrándose valores de: DQO(628 mg/L), DBO(307 mg/L), SST(452 mg/L), CF(6 200 000 NMP/100 mL), CT(15 000 000 NMP/100mL) y aceites y grasas(110 mg/L). Todo esto se debe principalmente a la falta de un sistema de tratamiento de aguas residuales para las aguas provenientes de viviendas.

Para determinar el diseño del sistema, se consideraron diversos factores, optándose en el pretratamiento por el uso de tamizado, desengrase y desaceitado. Posteriormente, se seleccionaron las lagunas de estabilización como tratamiento secundario, al ser la alternativa más adecuada según criterios considerados, como la adaptabilidad, costos, eficiencia de remoción, construcción, mantenimiento y la disponibilidad energética. Además, se planteó de manera paralela con la finalidad de tener un mantenimiento de manera correcta.

El diseño contempla un canal principal de entrada que conduce las aguas residuales al pretratamiento, conformado por un tamiz y un separador de grasas y aceites. Posterior a ello, el flujo es dirigido a las lagunas de estabilización, compuesta por una laguna facultativa y otra de maduración, teniendo un área de 2 800 m<sup>2</sup> y 3 000 m<sup>2</sup> respectivamente. Estas unidades están dimensionadas para recibir caudales de agua de hasta 32 m<sup>3</sup>/h, logrando eficiencias de remoción mayores del 98%.

Para el desarrollo del proyecto se tuvo la inversión de S/250 815,59 financiada por la Municipalidad del Distrito de Huarmaca. Se obtuvo un VAI de S/1 764 724,50 para el año 2034 y un VAC de S/1 150 795,03 resultando un beneficio/costo(B/C) de S/1,53, lo que confirma la viabilidad del proyecto. Además, el sistema de tratamiento logrará reducir los impactos ambientales alcanzando a tener -13 de impacto total de la propuesta, indicando un impacto bajo de acuerdo con la valoración de impactos ambientales.

### **Recomendaciones**

Para asegurar buenas remociones y que el sistema de tratamiento trabaje de manera óptima, se recomienda implementar un programa de mantenimiento preventivo regular que incluya inspecciones periódicas y la atención inmediata de posibles fallas.

Asimismo, se recomienda realizar capacitaciones de manera continua al personal encargado, orientadas al cumplimiento de normativas vigentes y regulaciones locales, nacionales e internacionales. Estas capacitaciones deben abordar los límites permisibles de contaminantes en el efluente, los procedimientos adecuados para el manejo de residuos sólidos y lodos, así como las buenas prácticas de seguridad y salud ocupacional.

## Referencias

- [1] Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos, «Aguas residuales el recurso desaprovechado,» 2017. [En línea]. Available: [www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en](http://www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en).
- [2] Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, «Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales,» Lima , 2014.
- [3] Autoridad Nacional del Agua , «Plataforma digital única del estado Peruano,» 6 Noviembre 2020. [En línea].
- [4] Autoridad Nacional del Agua , «Repositorio Digital de Recursos Hídricos,» Marzo 2019. [En línea]. Available: <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/228>. [Último acceso: 2019 2019].
- [5] Autoridad Nacional del Agua , «Resolución Directoral No 4816,» Piura , 2016.
- [6] E. Díaz Cuenca, A. R. Alvarado Granados y K. E. Camacho Calzada, «El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible,» *Quivera*, vol. 14, n° 1, pp. 78-79, 2012.
- [7] M. Espigares García y J. Pérez López , «Aguas Residuales,» México , 1985.
- [8] Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017, «Aguas Residuales, el recurso desaprovechado,» UNESCO , Francia , 2017.
- [9] E. Raffo Lecca y E. Ruiz Lizama, «Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno,» *Revista de Investigación Industrial Data*, vol. 17, n° 1, pp. 71-80, Enero-Junio 2014.
- [10] Universidad De Salamanca , «Características de las aguas residuales,» España.
- [11] W. E. Carrillo Barahona, J. H. Negrete Costales, X. A. Loor Lalvay y E. J. Riera Guachichullca, «La calidad de las aguas residuales domésticas,» *Polo del Conocimiento* , vol. 6, n° 3, pp. 5-6, 2021.
- [12] El Peruano , «Normas Legales,» *Ley de la reforma constitucional que reconoce el derecho de acceso al agua* , p. 4, 22 Junio 2017.
- [13] Autoridad Nacional del Agua , «Resolución Jefatural N° 224-2013-ANA,» *Reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y reusi de aguas residuales tratadas*, pp. 4-5, 31 Mayo 2013.

- [14] Ministerio de Agricultura y Riego, «Ley de los recursos hídricos, Ley N° 29338,» Autoridad Nacional del Agua , Lima , 2019.
- [15] Ministerio del Ambiente, «Normas legales,» *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental(ECA)*, p. 10, 7 Junio 2017.
- [16] C. Laya , «Reúso de aguas residuales en aprques y jardines,» Institute for Ecopreneurship, 2020.
- [17] Decreto Supremo 004-2017-MINAM, «Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias,» El Peruano , Lima , 2017.
- [18] T. Matsumoto y I. A. Sánchez Ortiz , «Desempeño de las lagunas anaerobia con baffle divisor y facultativa de la PTAR de Santa Fe do Sul (São Paulo, Brasil),» *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 15, n° 29, pp. 27-42, 2016.
- [19] B. Belete, E. Amare Alemseged, Y. Angaw y Z. Asfaw Gebrezgi, «Evaluación de la eficiencia de los estanques de estabilización de residuos y la calidad del agua efluente: un estudio de caso del campus de Kito Furdisa, Universidad de Jimma, suroeste de Etiopía,» *La revista científica mundial*, vol. 2022, pp. 2-9, 2022.
- [20] M. V. Cabrera Vallejo y A. Mejía Lopez , «REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS PRESENTES EN AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA MEDIANTE PROTOTIPO A ESCALA DE LABORATORIO,» *Scopus* , vol. 26, n° 2, pp. 72-80, 2017.
- [21] M. G. Flores Granados , G. Cuevas Rodríguez y G. Gonzales Sánchez , «COMPARACIÓN DE UN BIORREACTOR CON MEMBRANAS SUMERGIDAS CON UN SISTEMA CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVADOS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES,» *Calidad de Agua y Remediación y Perpectiva* , vol. 3, n° 7, pp. 58-63, 2019.
- [22] F. Anaya Meléndez , N. E. Espinosa Descalzo , J. E. Loayza Pérez , R. A. Zamudio Castillo y M. A. Yáñez López , «Diseño de un sistema de tratamiento de aguas grises claras para reuso como agua de regadio,» *Revista de la Sociedad Química del Perú* , vol. 88, n° 1, pp. 1-2, 2022.
- [23] I. Echevarría , O. Saavedra , R. Escalera , G. Heredia y R. Montolla , «Diseño, construcción y evaluación de un sistema de contactor biológico rotatorio(CBR) para el tratamiento de aguas residuales municipales a escala piloto,» *Investigación y Desarrollo*, vol. 20, n° 1, pp. 2-3, 2020.

- [24] S. Wang, H. Chengqiong , F. Cheng y X. Lu , «Rendimiento de un sistema combinado de biotratamiento de bajo consumo con tecnología de tratamiento ecológico rentable para uso doméstico rural tratamiento de aguas residuales,» *Revista de Ingeniería del Procesos del agua* , vol. 51, pp. 2-22, 2023.
- [25] N. Cuong, T. Pluong y W. C. Soon, «Sistema de humedal construido de flujo vertical y superficie de agua libre con biocarbón mezclado para el tratamiento y la reutilización de aguas residuales de dormitorios,» *Ciencia del Medio Ambiente Total*, vol. 03, pp. 1-18, 2020.
- [26] X. Peng, Y. Wei , J. Qiu y S. Shihua, «Sistema de humedal - estanque trófico construido con biofiltro: Una nueva estrategia para el tratamiento eficaz de las aguas residuales y el riego agrícola en zonas rurales,» *Revista de Gestión Medioambiental*, vol. 343, pp. 1-17, 2023.
- [27] K. Zillur Rahman, M. Al Rawahi y M. Van Afferden, «Una solución multifuncional basada en la naturaleza(NBS) para el tratamiento de aguas grises y reutilización en la misma parcela,» *Ingeniería Ecológica*, vol. 194, pp. 1-29, 2023.
- [28] Ministerio de Agricultura - Autoridad Nacional del Agua, «Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad en Cuerpos Naturales de Agua Superficial,» ANA, Lima , 2011.
- [29] Grupo Esginnova, «Matriz Leopold de causa y efecto para la detección de aspectos e impactos ambientales,» *Gestión Medioambiental* , 12 Julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.nueva-iso-14001.com/2021/07/matriz-leopold-de-causa-y-efecto-para-la-deteccion-de-aspectos-e-impactos-ambientales/>. [Último acceso: 20 Setiembre 2023].
- [30] M. E. Aguirre Sigüeñas, K. Flores Contreras, . O. A. Roca Cespedes y V. . G. Soriano Cantaro, «Factores que influyen en el establecimiento de límites máximos permisibles para garantizar el cumplimiento de los estándares de calidad ambiental en agua,» OEFA, Lima , 2021.
- [31] J. . J. Salas, «Tratamiento del agua,» 03 Enero 2022. [En línea]. [Último acceso: 16 Setiembre 2023].
- [32] A. Guevara y M. Hechegaray , «Matriz de enfrentamiento factores,» Pontificia Universidad Católica del Perú , Lima , 2016.
- [33] L. M. Bastidas Ordoñez y L. A. Aguirre Hernández , «Diseño de Herramienta para estimación del tamaño de las instalaciones de la empresa estructuras y montaje Europa,» Colombia, 2020.

- [34] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), «Protocolo de monitoreo de calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales,» 13 Octubre 2013. [En línea]. Available: <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/13762-273-2013-vivienda>. [Último acceso: 15 Agosto 2023].
- [35] El Peruano, «Normas Legales,» *Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM*, pp. 1-2, 17 Marzo 2010.
- [36] Universidad de Salamanca , «Tratamiento Previo - Pretratamiento(Desbaste),» Universidad pública en Salamanca, España, Salamanca, 2017.
- [37] V. Santiago Sarasquete , «Dimensionamiento de la estación depuradora de aguas residuales,» Universidad de Cádiz , Cádiz, España , 2008.
- [38] Universidad de Salamanca , «Pretratamientos,» Universidad pública en Salamanca, España, Salamanca .
- [39] F. J. Pérez De La Cruz y M. A. Urrea Mallebrera , «Desbaste y Tamizado,» Universidad Politécnica de Cartagena , Cartagena, España, 2011.
- [40] W. A. Lozano Rivas, «Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales,» Universidad Piloto de Colombia, Bogotá , 2012.
- [41] M. Jover Smet , «Estudio sobre los rendimientos de las decantaciones con aguas residuales con diferentes concentraciones de contaminación,» Universidad de Alicante, San Vicente del Raspeig, España, 2015.
- [42] I. Tejero, J. Suárez , A. Jácome y J. Temprano , «Coagulación - Floculación,» Topodata, 2019.
- [43] Centro Panamericano de Ingeniería y Ciencias del Ambiente , «Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización,» COSUDO, Lima , 2005.
- [44] D. F. Félix Astudillo y D. A. Rikeros Gehrenbeck , «Diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales generadas en el Cantón Durán,» *Escuela Superior Politécnica del Litoral* , pp. 26-27, 2015.
- [45] J. Rojas Álvarez y J. Jácome Burgos , «Filtro Percolador con soporte novedoso: Una alternativa de tratamiento secundario de aguas residuales domésticas,» XVI Congreso Bolivariano de Ingeniería Sanitaria, Medio Ambiente y Energías Renovables, Santa Cruz, Bolivia, 2015.

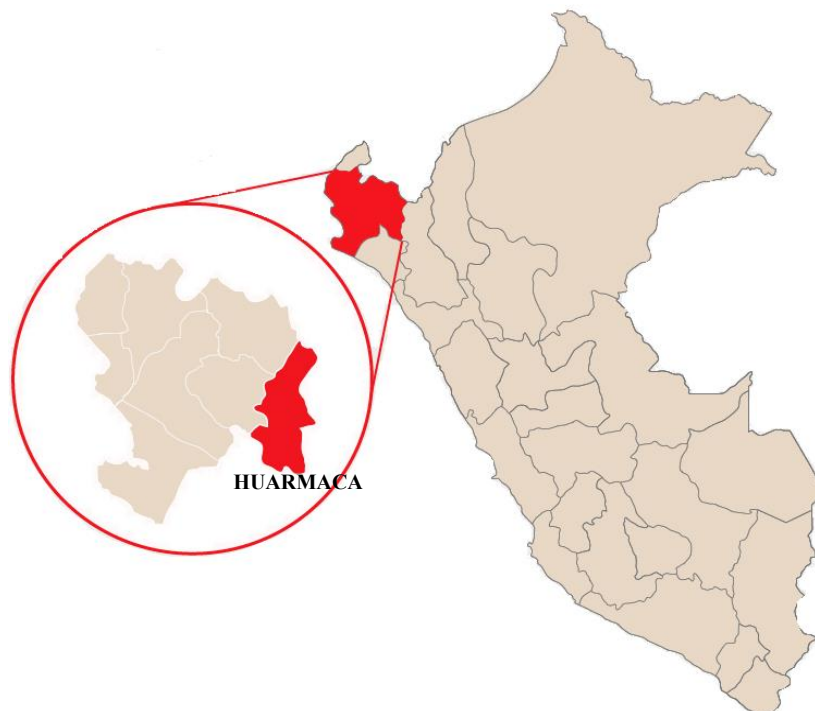
- [46] Grupo Acuro , «Lodos activados,» Acura, 25 Enero 2022. [En línea]. Available: <https://www.smasa.net/proceso-lodos-activados/>. [Último acceso: 31 octubre 2023].
- [47] T. Matsumoto y I. A. Sánchez Ortiz, «EFICIENCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR LAGUNAS FACULTATIVAS E IMPLICACIONES EN LA SALUD PÚBLICA,» *Scielo* , vol. 12, nº 1, pp. 1-2, 2010.
- [48] O. Delgadillo , A. Camacho, L. Pérez y M. Andrade, «Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales,» Programa ALFA de la Unión Europea., Cochabamba, Bolivia, 2010.
- [49] M. Von Sperling , «Principios del tratamiento biológicos de aguas residuales,» *Departamento de Ingeniería Sanitaria y Ambiental* , vol. 3, nº 1, pp. 1-2, 2021.
- [50] A. Valdivielso, «Iagua,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-sistema-lodos-activados>. [Último acceso: 23 Octubre 2023].
- [51] E. G. Ortiz Díaz, L. D. Estupiñán Rodríguez y N. G. Padilla Santillan, «Sistema de humedales artificiales en procesos de tratamiento de aguas en la refinería del cantón Esmeraldas, Ecuador,» *Polo del conocimiento* , vol. 6, nº 5, pp. 11-12, 2021.
- [52] A. Jaramillo Mondragón y J. Jhoel Paredes Togas, «Evaluación de la eficiencia de un sistema de dos filtros percoladores en serie para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la urbanización Santa Lucía,» Universidad Peruana Unión , Tarapoto, 2019.
- [53] J. Charpentier , Tratamiento de aguas residuales con lodos activados, España: Instituto Nacional de Tecnología Industrial , 2014.
- [54] M. E. Arcos Serrano y G. Fernández Villagómez, «Procesos biológicos de tratamiento para la estabilización de residuos líquidos tóxicos,» Centro Nacional de Prevención de desastres , México , 2013.
- [55] L. Rodríguez Mayor, J. Núñez Martín y J. Villaseñor Camacho, «Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos,» Congreso Nacional del Medio Ambiente - Cumbre del Desarrollo Sostenible , España .
- [56] M. Lizandra Elcid, «Diseño del tratamiento terciario de la EDAR de Oropesa para la reutilización del agua regenerada como agua de riego para zonas verdes urbanas,» Universitat Jaume I, Castellón, España, 2021.

- [57] C. Domingo Torner , «Diseño de un tratamiento para la reutilización de efluentes secundarios mediante procesos de membrana,» Universidad Politécnica de Valencia , Valencia, España, 2019.
- [58] L. A. Perdomo Rodriguez, «Tratamiento de la remoción de subproductos de desinfección de agua potable,» UNIVERSIDAD COOPERATIVA DE COLOMBIA, Neiva, Colombia, 2021.
- [59] C. Muro , J. Escobar , R. E. Zavala , M. Esparza y J. Catellanos, «Evaluación del proceso de microfiltración en un efluente residual de una industria alimenticia para su reuso,» *Contaminación ambiental* , vol. 4, nº 25, pp. 239-238, 2009.
- [60] J. E. Loayza, «La problemática del agua y el tratamiento de aguas residuales,» *VirtualPro*, nº 86, pp. 1-4, 2009.
- [61] Formación Técnica y Universitaria , «Diseño de EDAR en pequeñas poblaciones,» INGNova , Córdoba.
- [62] I. A. Sánchez Ortiz y Matsumoto Tsunao , «Evaluación del desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de ILHA Solteira (SP) por lagunas facultativas,» *Ingeniería y desarrollo* , vol. 30, nº 2, 2012.
- [63] V. A. Andrade Rosero, «Estudio de la Hidrodinámica y eliminación de coliformes fecales en la laguna de maduración de la depuradora de aguas residuales de la ciudad de Portoviejo,» Universidad Politécnica de Valencia , Valencia , 2021.
- [64] Aqua Energy, «Tamiz estático TE12-600,» Aqua Energy Soluciones Técnicas, Octubre 2019. [En línea]. Available: <https://aquaenergy.es/producto/tamiz-estatico/>. [Último acceso: 12 Noviembre 2023].
- [65] FILTEC DEPURADORAS S.L, «Filtec,» Filtec Depuradoras, [En línea]. Available: <https://www.depuradoras.es/grasas-77/8112-separador-de-grasa-horizontal-biogras-1700-lts.html>. [Último acceso: 12 Noviembre 2023].
- [66] Á. Chong-Qui, «Análisis de las concentraciones de sedimentos y porcentaje de remoción de DBO y SST en muestras de agua porcentaje de remoción de DBO y SST en muestras de agua sedimentador como pretratamiento para el diseño de un sistema de agua potable,» Universidad Católica de Santiago de Guayquil, 2017. [En línea]. Available: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7664/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-185.pdf>. [Último acceso: 17 Abril 2024].

- [67] P. Rojas , «Valores de rugosidad “n” de Manning en canales,» INGECIV, La Serena - Chile, 2015.
- [68] Soiltest, «Prueba de Análisis de Tamiz,» Tamices .
- [69] Filtramasassa, «Tamiz de Aliviadero TTAR,» [En línea]. Available: <https://www.filtramas.com/catalogo/tamices/tamiz-aliviadero-ttar/>. [Último acceso: 5 Mayo 2024].
- [70] Ministerio de Transporte y Comunicaciones , «Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje,» MTC, Lima, 2012.
- [71] El Peruano, «Norma Técnica de Edificaciones S.090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales,» *Normas legales* , pp. 1-21, 23 Mayo 2006.
- [72] Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento , «Resolución Ministerial 370 - 2018 - Vivienda,» Lima , 2018.
- [73] M. Chuchón, «evaluación de la capacidad de remoción de bacterias,» *Scielo*, pp. 1-2, 2008.
- [74] E. Del Ángel, M. Agustina Pantoja, R. López y A. E. Cruz, «Tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando carbono activado preparado de bagazo de caña de azúcar,» *Scopus*, vol. 13, nº 1, pp. 3-20, 2022.
- [75] D. Naranjo Tovar, L. Morillo Semanate, W. Villacis Oñate y F. Muñoz Bisesti, «Procesos Fenton como tratamiento complementario para la remoción de tensoactivos y coliformes de aguas residuales domésticas,» *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 29, nº 2, pp. 2-3, 2021.
- [76] E. Paz Ochoa, «Control Óptimo de un Sistema de Lagunas para el Tratamiento Biológico de aguas residuales,» Universidad Nacional del Sur - CONICET, Bahía Blanca, Argentina , 2013.
- [77] Universidad de Sonora , «Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Comunidades,» Lagunas de Estabilización .

## Anexos

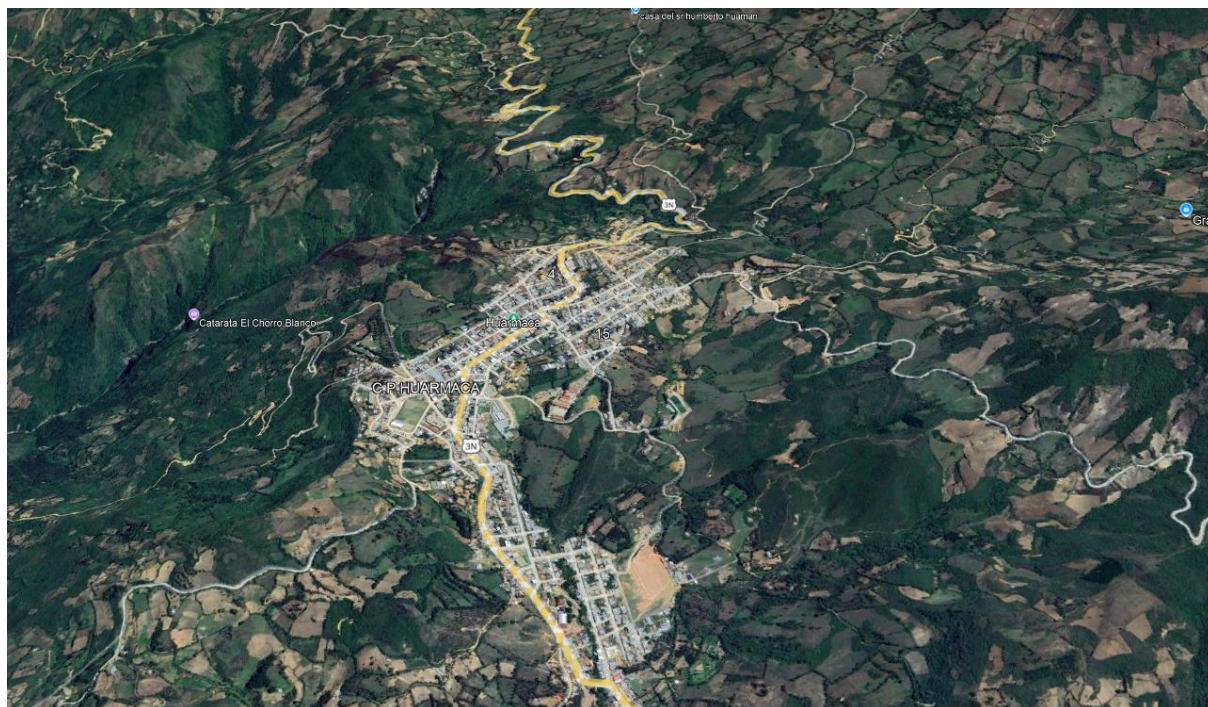
### Anexo 1: Ubicación Geográfica del Distrito de Huarmaca - Huancabamba



**Figura 1. Ubicación Geográfica**

Fuente: Google Imágenes – Huarmaca

### Anexo 2: Ubicación del Distrito de Huarmaca – Huancabamba



**Figura 2. Ubicación del Distrito de Huarmaca**

Fuente: Google Earth Pro

### Anexo 3: Población del distrito de Huarmaca

Año	Población
2015	3230
2016	3450
2017	3680
2018	4023
2019	4256
2020	4632
2021	5012
2022	5630

Fuente: Municipalidad Distrital de Huarmaca

### Anexo 4: Proyección de la población

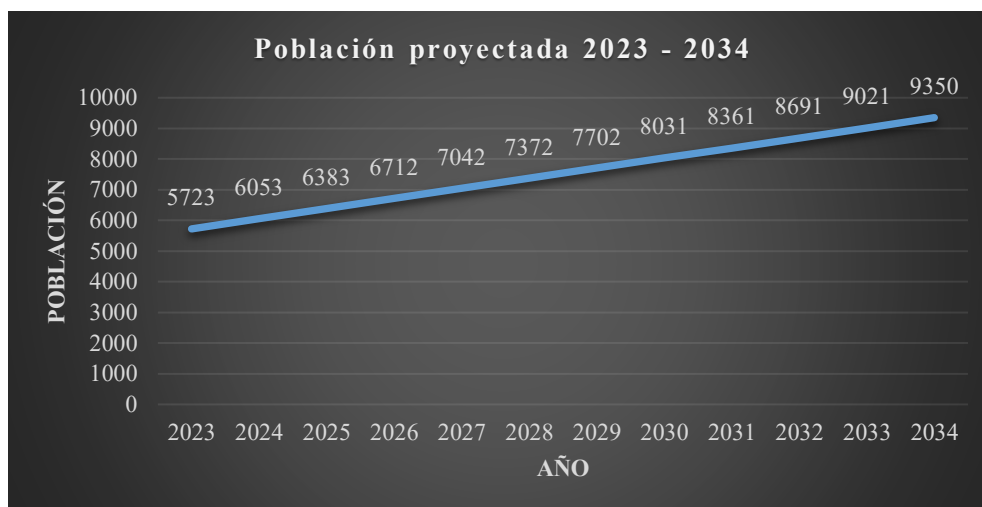


Figura 3. Proyección de la población del distrito de Huarmaca

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 5: Proyección de generación de aguas residuales



Figura 4. Proyección aguas residuales del distrito de Huarmaca

Fuente: Elaboración Propia

## Anexo 6: Componentes ambientales e identificación de impactos

Componentes ambientales para considerar en la identificación de impactos		
Medio	Componente ambiental	Factores ambientales
FISICO	AIRE	Clima Calidad de aire Ruido
	AGUA SUPERFICIAL	Caudal Calidad del agua
	SUELOS	Suelos/calidad del suelo Uso actual
BIOLÓGICO	ECOSISTEMAS	Ecosistemas Terrestres Ecosistemas acuáticos
	VEGETACION	Flora Y vegetación Diversidad
	FAUNA	Fauna Terrestre Mamíferos Anfibios Y Reptiles Insectos Diversidad
SOCIAL	SOCIAL	Vivienda y servicios Economía Demografía Salud Territorio y recurso naturales

Fuente: Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental

## Anexo 7: Matriz de identificación de impactos ambientales

MATRIZ DE IDENTIFICACION DE IMPACTOS AMBIENTALES			
MEDIO	Componente ambiental	Aspectos ambientales	Impactos ambientales
FISICO	Aire	Generación de malos olores	Disminuyen la calidad del aire, generando molestias y afecciones por presencia de olores indeseables
	Agua superficial	Llenado y embalses	Aumenta la contaminación en las aguas al ser vertidas fuera de las pozas
	Suelos	Generación de Residuos Domésticos y aguas residuales	Pérdida de los suelos, contaminación.
BIOLÓGICO	Ecosistemas	Pérdidas del ecosistema	Afectación a funciones ecológicas de los ecosistemas naturales terrestres
	Vegetación	Disminuye vegetación	Pérdida de vegetación natural, de individuos de especies vegetal
	Fauna	Disminuye de la fauna	
SOCIAL	SOCIAL	Salud	Presencia de enfermedades

Fuente: Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental

Anexo 8: Matriz de Leopold

MATRIZ DE LEOPOLD															
		Conducción de las aguas por oleoducto(Tuberías)		Almacenamiento en pozas de aguas residuales											
MEDIO	FACTORES AMBIENTALES		Recorrido de aguas por tuberías	Traslado por acequia	Ingreso de las aguas	llenado y embalses	Derrumbes	Residuos domésticos	Descarga de agua	Promedio positivo	Promedio netoivo	Promedios aritméticos	Impactos por subcomponentes	Impactos por componentes	ImpactosTotal del proyecto
FISICO	AIRE	Clima	-3	-2	-4	-2	-2	-6	-5	0	7	-90	-298	-925	-1655
		Calidad de aire	-3	-5	-10	-6	-6	-4	-10	0	7	-208			
	AGUA SUPERFICIAL	Caudal	-8	-8	-8	-6	-6	-4	-5	0	7	-166	-465		
		Calidad del agua	-7	-4	-9	-9	-9	-8	-9	0	7	-299			
SUELOS	Suelos/calidad del suelo	-6	-6	-6	-8	-6	-6	-8	0	7	-162	-162			
BIOLÓGICO	ECOSISTEMAS	Ecosistemas Terrestres	-5	-6	-5	-5	-6	-3	-5	0	7	-122	-255		
		Ecosistemas acuáticos	-2	-6	-5	-6	-6	-2	-8	0	7	-133			
	VEGETACION	Flora Y vegetación	-1	-3	-5	-6	-6	-2	-6	0	7	-74	-74		
	FAUNA	Mamíferos	-1	-1	-1	-2	-3	-1	-5	0	7	-27	-199		
		Anfibios Y Reptiles	-1	-4	-4	-5	-6	-6	-8	0	7	-104			
		Insectos	-1	-1	-1	-2	-5	-4	-7	0	7	-68			
SOCIAL	SOCIAL	Economía				-1	-6	-2	-8	0	4	-69	-202	-202	
		Demografía		-1	-1	-4	-5	-1	-5	0	6	-63			
		Salud	-2	-1	-2	-3	-6	-1	-6	0	7	-70			
Promedios Positivos			0	0	0	0	0	0	0						
Promedios Negativos			12	13	13	14	14	14	14		94				
Promedios Asimétricos			-121	-149	-205	-281	-298	-135	-466			-1655			

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 9: Límites Máximos Permisibles D.S. N°003-2010 - MINAM

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termo tolerantes	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	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: D.S. N°003-2010 MINAM

### Anexo 10: Límites Máximos Permisibles

Tabla 6: Límites Máximos Permisibles D.S. N°017-2017 - MINAM

Parámetros	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpo de agua
Coliformes Totales	NMP/100mL	10 000
Conductividad Eléctrica	μS/cm	1 000

Fuente: D.S. N°017-2017 - MINAM

### Anexo 11: Evaluación de factores

Factores	A	B	C	D	E	F	G	H	Total	Ponderado
A	1	1	1	1	1	0	1	0	5	17%
B	1	1	1	1	1	1	0	1	6	20%
C	0	0	1	0	0	1	1	0	2	7%
D	0	0	1	1	0	0	0	0	1	3%
E	0	1	1	1	1	0	1	0	4	13%
F	0	0	0	1	1	1	1	1	4	13%
G	1	1	0	1	0	0	1	0	3	10%
H	1	0	1	1	1	0	1	1	5	17%
<b>Total</b>	3	3	5	6	4	2	5	2	30	100%

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 12: Escala de calificación de factores

Puntaje	Escala
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo

**Anexo 13: Valoración de los factores para cada uno de los tipos de tratamiento en la etapa inicial**

Factores	Peso	Desbaste		Tamizado		Desarenador		Desengrase y desaceitado	
		Escala	Peso	Escala	Peso	Escala	Peso	Escala	Peso
A	17%	5	0.83	5	0.83	5	0.83	5	0.83
B	20%	4	0.80	5	1.00	5	1.00	5	1.00
C	7%	4	0.27	4	0.27	4	0.27	5	0.33
D	3%	4	0.13	4	0.13	4	0.13	5	0.17
E	13%	4	0.53	5	0.67	5	0.67	5	0.67
F	13%	4	0.53	5	0.67	3	0.40	5	0.67
G	10%	5	0.50	5	0.50	5	0.50	4	0.40
H	17%	5	0.83	5	0.83	4	0.67	5	0.83
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>4.43</b>		<b>4.90</b>		<b>4.47</b>		<b>4.90</b>	

Fuente: Elaboración Propia

**Anexo 14: Valorización de los factores para cada uno de los tipos de tratamientos secundarios**

Factores	Peso	Filtros biológicos(percoladores)		Lodos activados		Lagunas de estabilización		Humedales artificiales	
		Escala	Peso	Escala	Peso	Escala	Peso	Escala	Peso
A	17%	4	0.67	4	0.67	5	0.83	5	0.83
B	20%	3	0.60	4	0.80	4	0.80	4	0.80
C	7%	4	0.27	3	0.20	4	0.27	4	0.27
D	3%	3	0.10	4	0.13	5	0.17	4	0.13
E	13%	3	0.40	3	0.40	5	0.67	4	0.53
F	13%	4	0.53	3	0.40	4	0.53	4	0.53
G	10%	2	0.20	3	0.30	5	0.50	5	0.50
H	17%	2	0.33	4	0.67	4	0.67	4	0.67
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>3.10</b>		<b>3.57</b>		<b>4.43</b>		<b>4.27</b>	

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 15: Lagunas de estabilización

Crterios	Lagunas Anaerobia	Lagunas Facultativas	Lagunas de maduración
<b>Descripción</b>	Se lleva a cabo por la interacción de bacterias anaerobias	Estas lagunas tienen una zona aerobia y una zona anaerobia en superficie y fondo	Recogen aguas residuales que han pasado por un tratamiento y contienen una cantidad relativamente baja de sólidos en suspensión
<b>Objetivo</b>	Retener la mayor parte posible los sólidos en suspensión que luego se reincorporan a la capa de lodos acumulados en el fondo, contribuyendo a la eliminación de una parte de la carga orgánica.	Obtener efluentes de mejor calidad, alcanzando una mayor estabilidad de materia orgánica y reducción de nutrientes y bacterias coliformes.	Su principal función es la eliminación de patógenos y sólidos en suspensión
<b>Diseño, Equipos, instalación y mantenimiento</b>	Pueden tener una profundidad de 2 a 5 m	Pueden tener una profundidad de 1 hasta 2 m con el fin de tener un ambiente oxigenado. Esto se puede dividir en tres zonas: zona superficial, inferior e intermedia.	Son lagunas con profundidades de 1 a 1.50 m
<b>Eficiencia de remoción</b>	DBO: 50 – 85% DQO: 55 – 80% SST: 74% Coliformes fecales: >90% Coliformes totales más del 80%. Remoción de helmintos	DBO: 80 – 95% DQO: 85% SST: 90 – 99% Coliformes fecales y totales al 99% [73].	Coliformes Totales: > 97% Coliformes Fecales: > 98%
<b>Ventajas</b>	La tasa de estabilización de la materia orgánica es muy alta. La eliminación de microorganismos patógenos es significativamente más efectiva que otras formas de tratamiento. Es mucho más barato que las técnicas convencionales y tiene bajos costos de instalación y mantenimiento.		

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 16. Elementos climáticos que inciden en las lagunas

<b>Temperatura</b>	La temperatura ejerce una notable influencia en las reacciones físicas, químicas y bioquímicas que tienen lugar en las lagunas de estabilización. En términos generales y para los rangos de temperatura típicos en las lagunas, se puede afirmar que la velocidad de degradación se incrementa con el aumento de la temperatura, especialmente en lo que respecta a la actividad bacteriana [65]. Una caída de 10 °C disminuye la actividad microbiológica de un 50%.
<b>Radiación solar</b>	La luz es muy importante para la actividad de fotosíntesis, que no solo depende el alcance de la luz en la superficie del agua, sino también la penetración en la profundidad. Dado que la intensidad lumínica fluctúa durante el año, la tasa de crecimiento de las algas experimenta variaciones correspondientes [66].
<b>Viento</b>	El viento desempeña un papel significativo en el comportamiento de las lagunas, ya que provoca la mezcla vertical del líquido en la laguna. Una mezcla efectiva garantiza una distribución más uniforme de la (DBO), Oxígeno disuelto, bacterias y algas, teniendo una mejor estabilización del agua residual [66].

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 17: Estimación de las cantidades de agua residual producida en el distrito

Año	m <sup>3</sup>
2023	167 112
2024	176 740
2025	186 369
2026	195 998
2027	205 626
2028	215 255
2029	224 884
2030	234 513
2031	244 141
2032	253 770
2033	263 399
2034	273 027

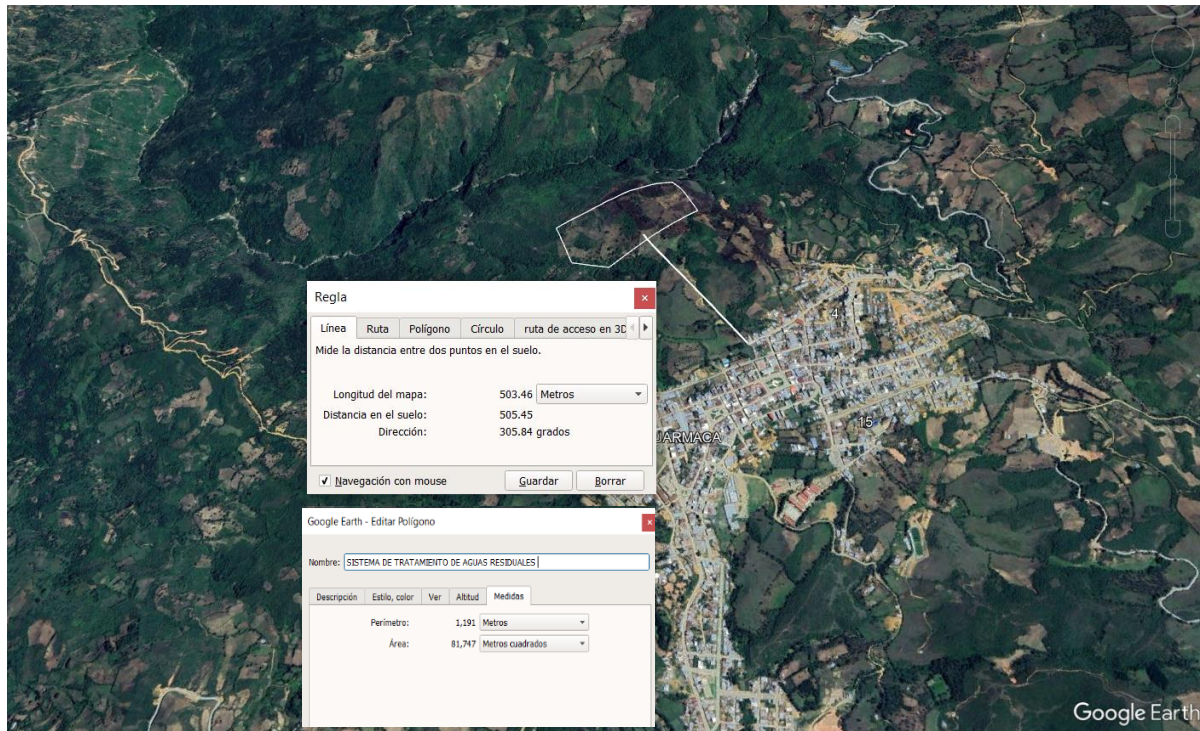
Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 18: Comparación de parámetros finales del sistema

parámetro	símbolo	Unidad	Parámetro de aguas del distrito	Remoción del sistema	LMP(D.S 003-2010 MINAM	Agua para riego no restringido
Potencial de Hidrogeno	pH	-	7,41	7,72	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
Temperatura	T °	°C	16,2	16,2	< 35	
Coliformes Fecales	NMP	NMP/100mL	6 200 000	868	10 000,00	1 000
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)	DBO	mg/L	307	13	100,00	DBOs 15
Aceite y Grasas	HEM	mg/L	110	12,10	20,00	
Solidos Suspendedos Totales	TSS	mg/L	452	13,56	150,00	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	DQO	mg/L	628	38	200,00	40
Coliformes Totales	NMP	NMP/100mL	15 000 000	900	1 000,00	2 000

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 19: Ubicación del sistema de tratamiento de aguas residuales



Fuente: Google Earth Pro

### Anexo 20: Dimensiones de tamices

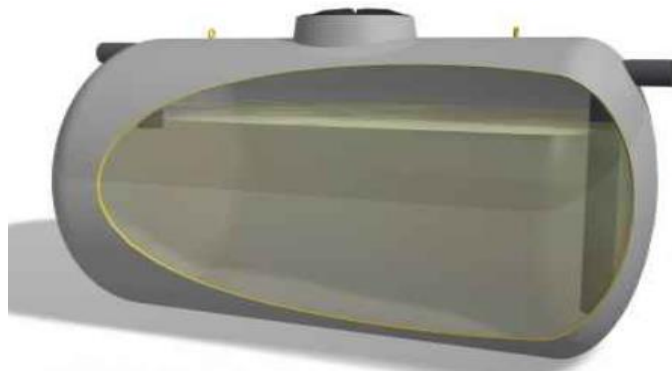
Norma ASMT E -11			
Número de tamices según el paso de luz			
Norma	Diámetro	No	Luz
ASTM E - 11	8"	30	0,60 mm
ASTM E - 11	8"	35	0,50 mm
ASTM E - 11	8"	40	0,42 mm
ASTM E - 11	8"	50	0,30 mm
<b>ASTM E - 11</b>	<b>8"</b>	<b>60</b>	<b>0,25 mm</b>
ASTM E - 11	8"	70	0,21 mm
ASTM E - 11	8"	80	0,18 mm
ASTM E - 11	8"	100	0,15 mm



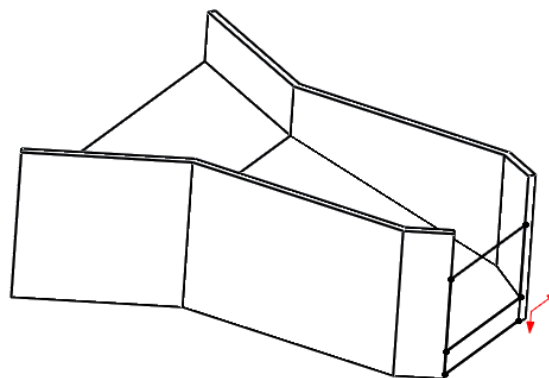
Fuente: Norma ASMTE

**Anexo 21: Tamiz de aliviadero TTAR**

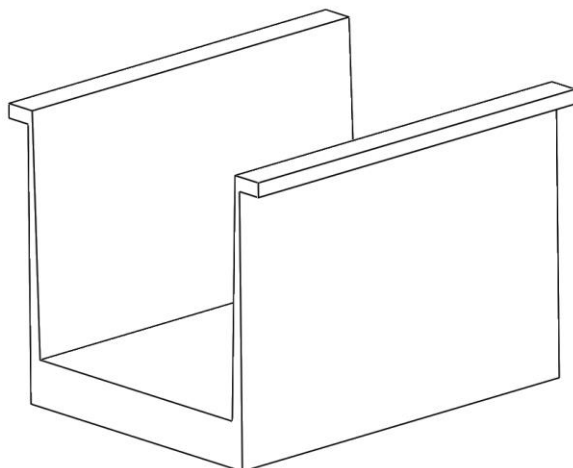
Fuente: Filtramas

**Anexo 22: Separadores de grasa GR**

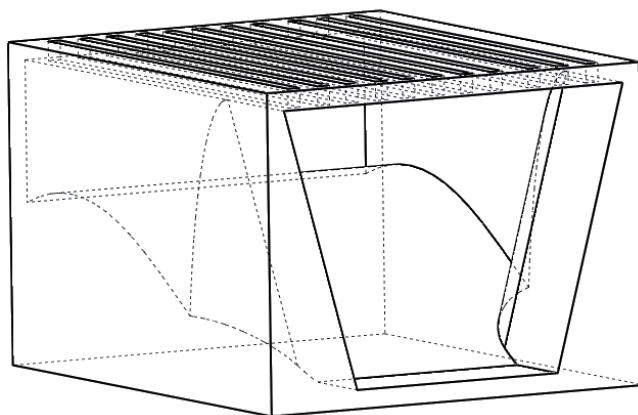
Fuente: Filtec

**Anexo 23: Diseño del canal de aforo**

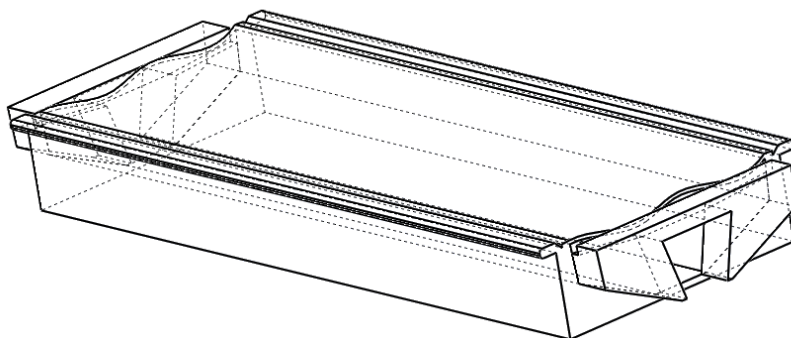
Fuente: Elaboración propia

**Anexo 24: Diseño del canal de aforo**

Fuente: Elaboración Propia

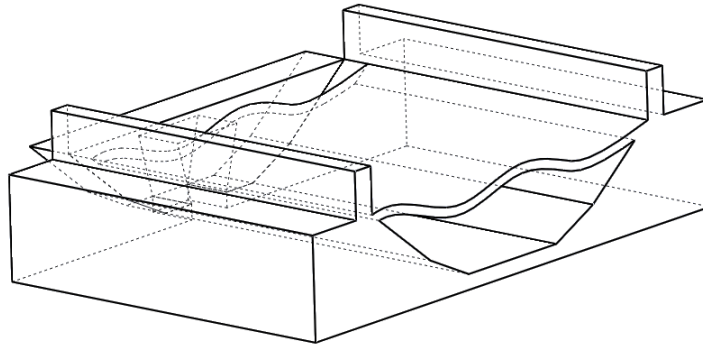
**Anexo 25: Vertedero**

Fuente: Elaboración Propia

**Anexo 26: Laguna facultativa.**

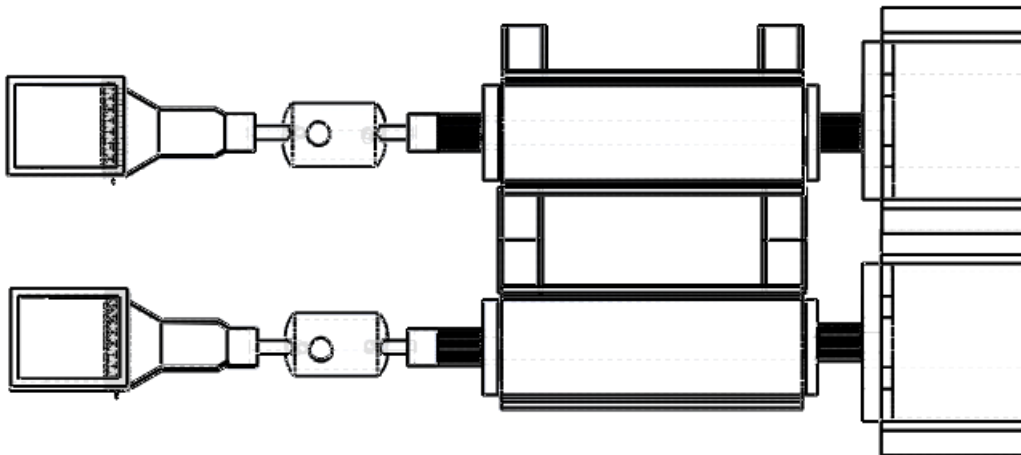
Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 27: Laguna de maduración



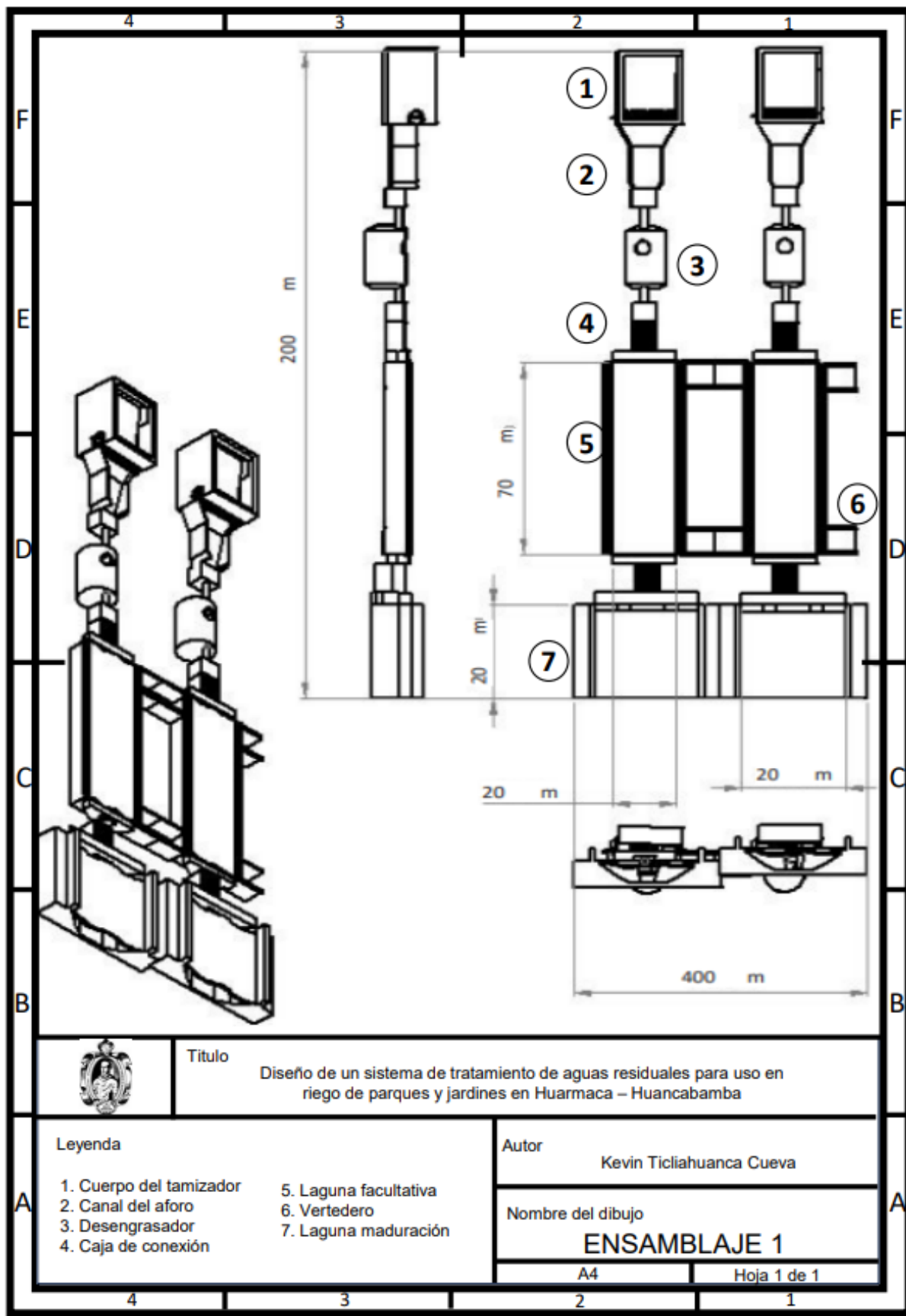
Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 28: Ensamble del sistema



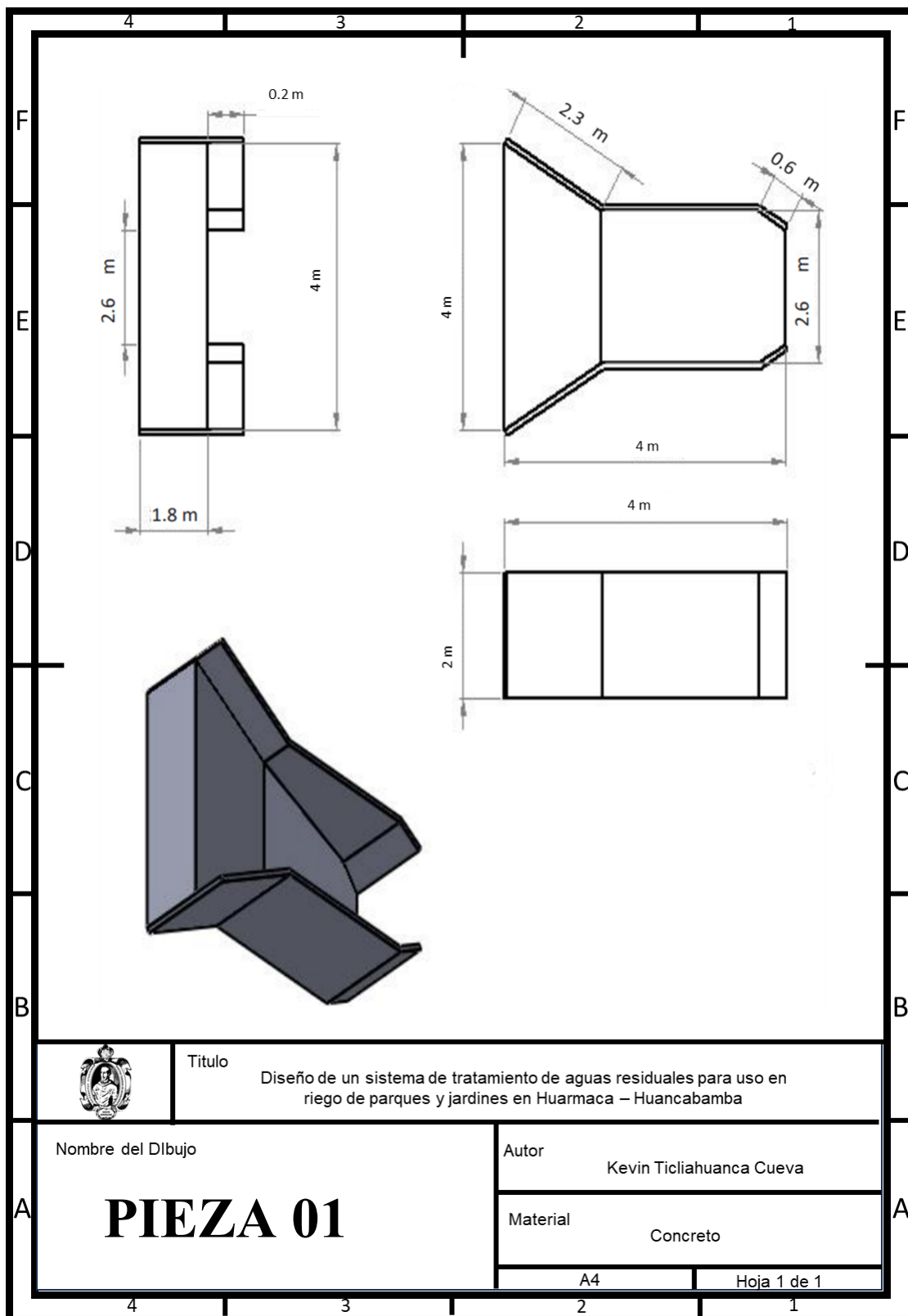
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 29: Plano del sistema de tratamiento de aguas residuales



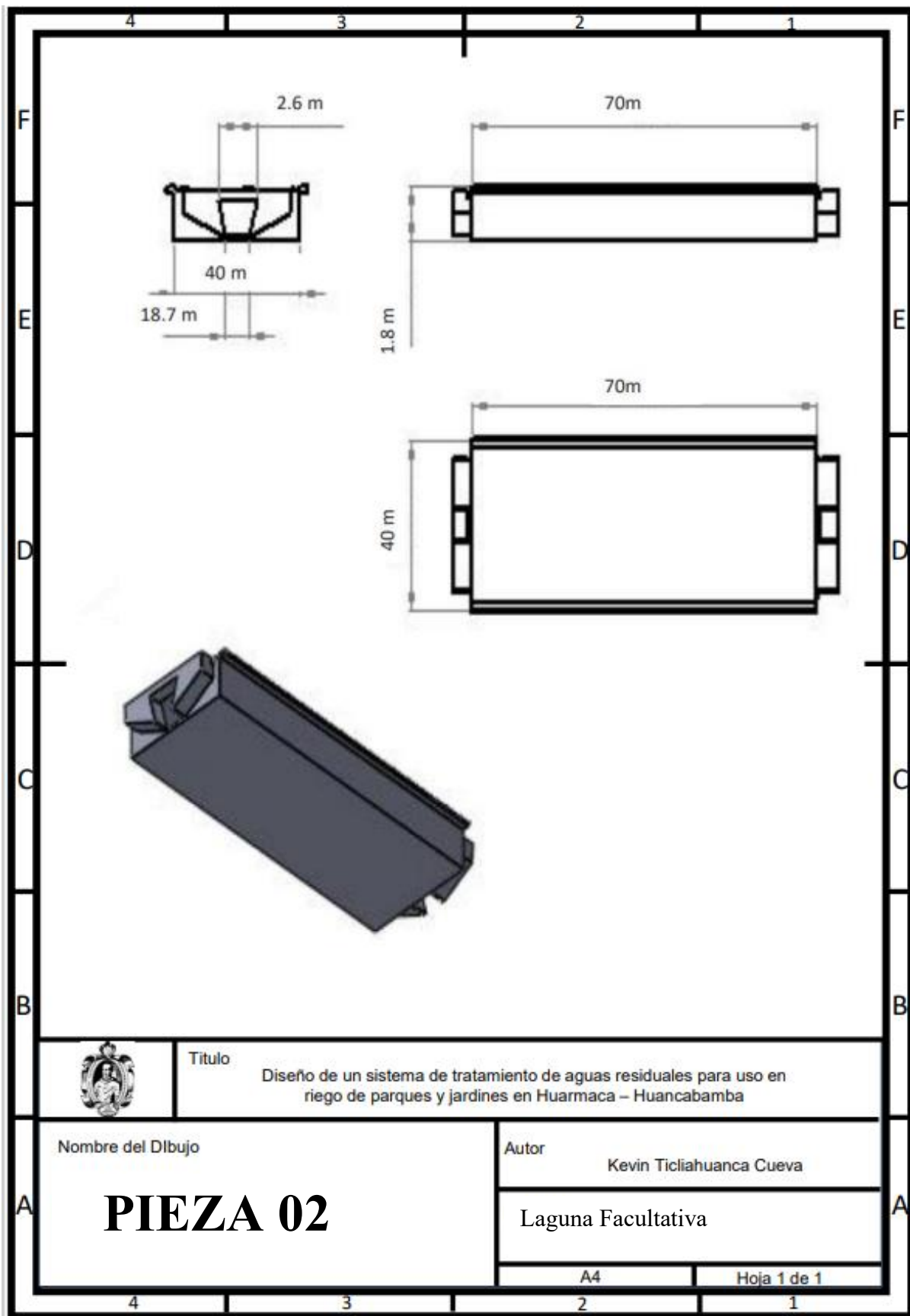
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 30: Plano de canal de entrada al sistema



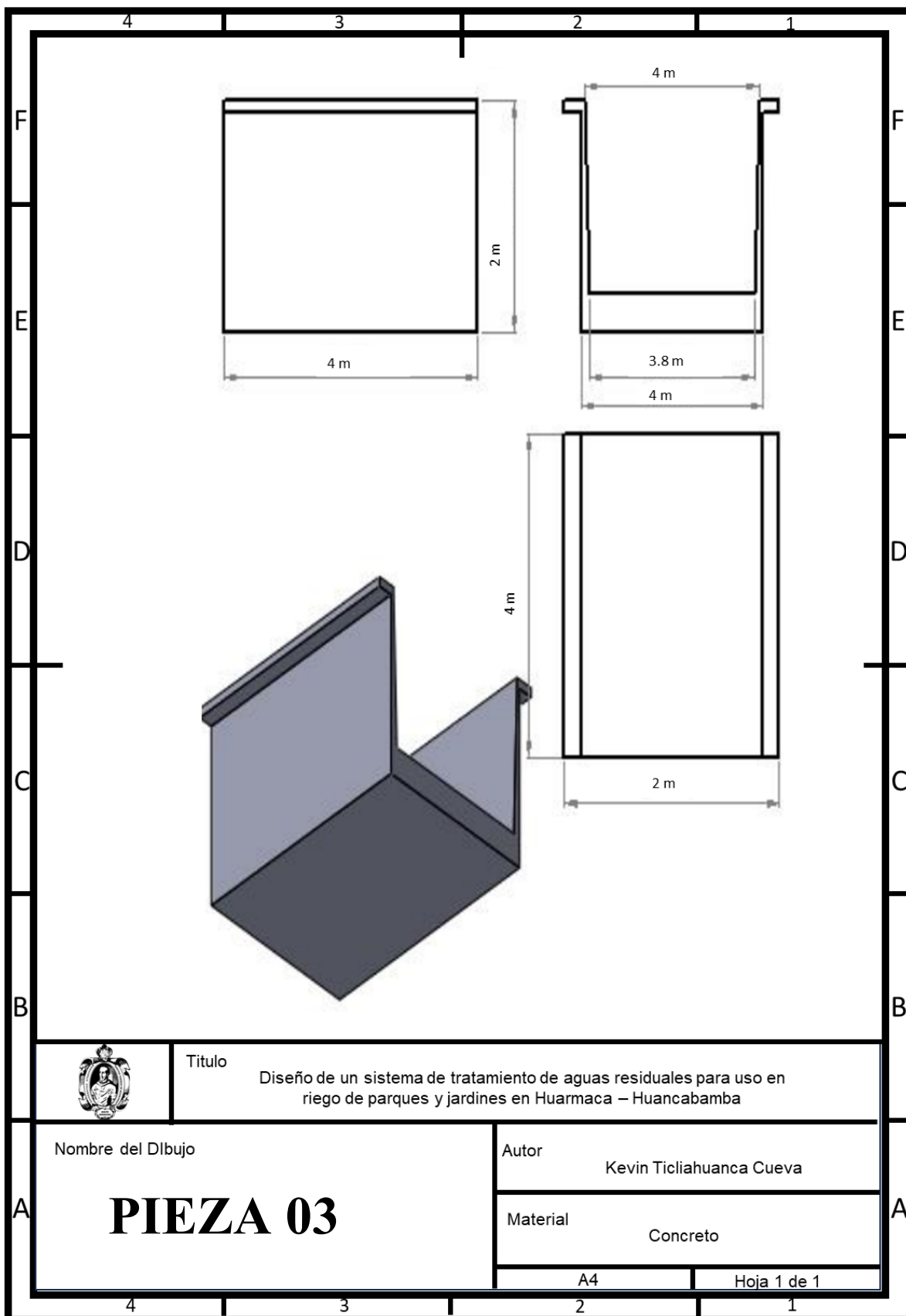
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 31: Plano de la laguna facultativa



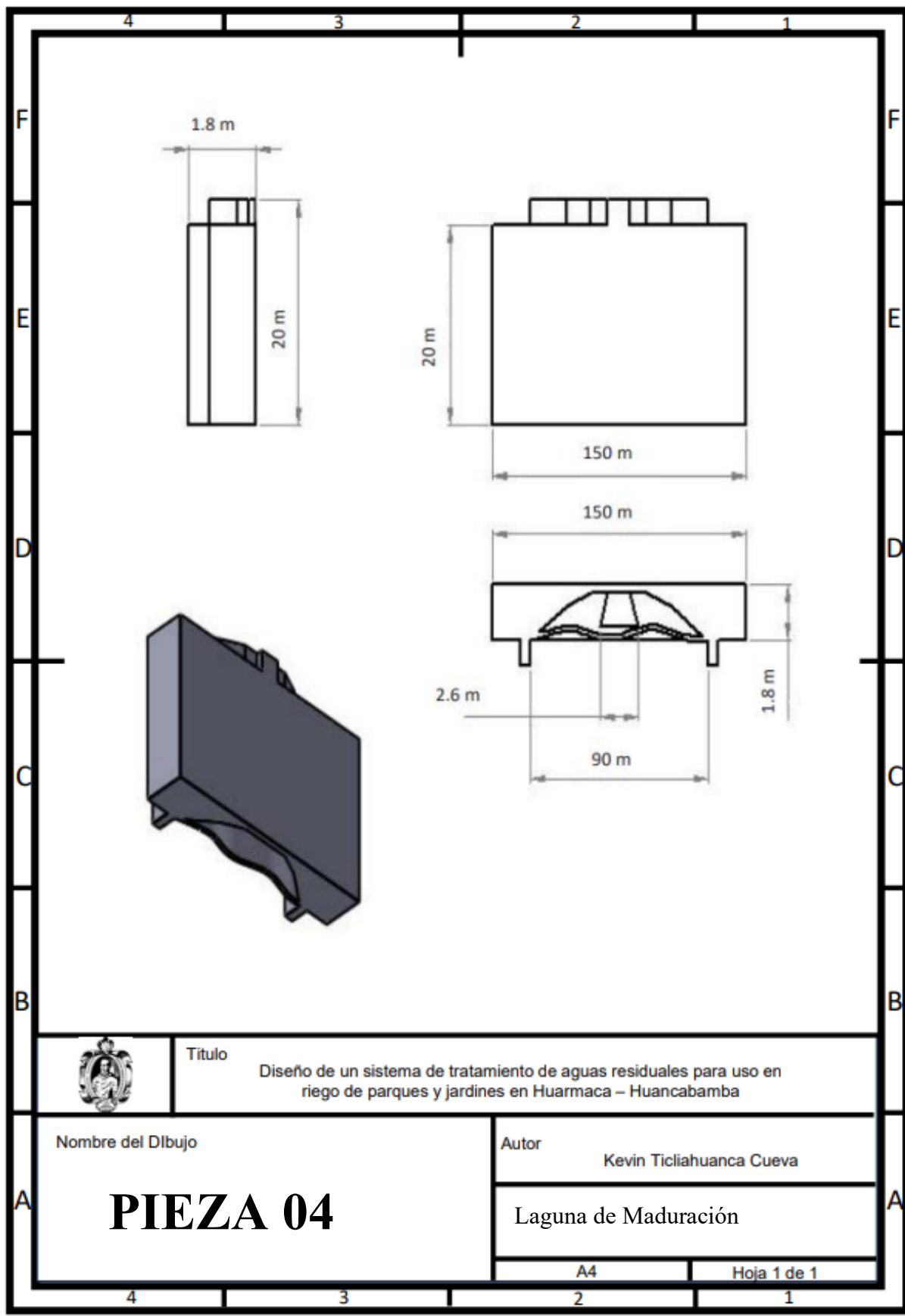
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 32: Plano de vertedero del sistema



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 33: Plano de laguna de maduración



Título

Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales para uso en riego de parques y jardines en Huarmaca – Huancabamba

Nombre del Dibujo

**PIEZA 04**

Autor

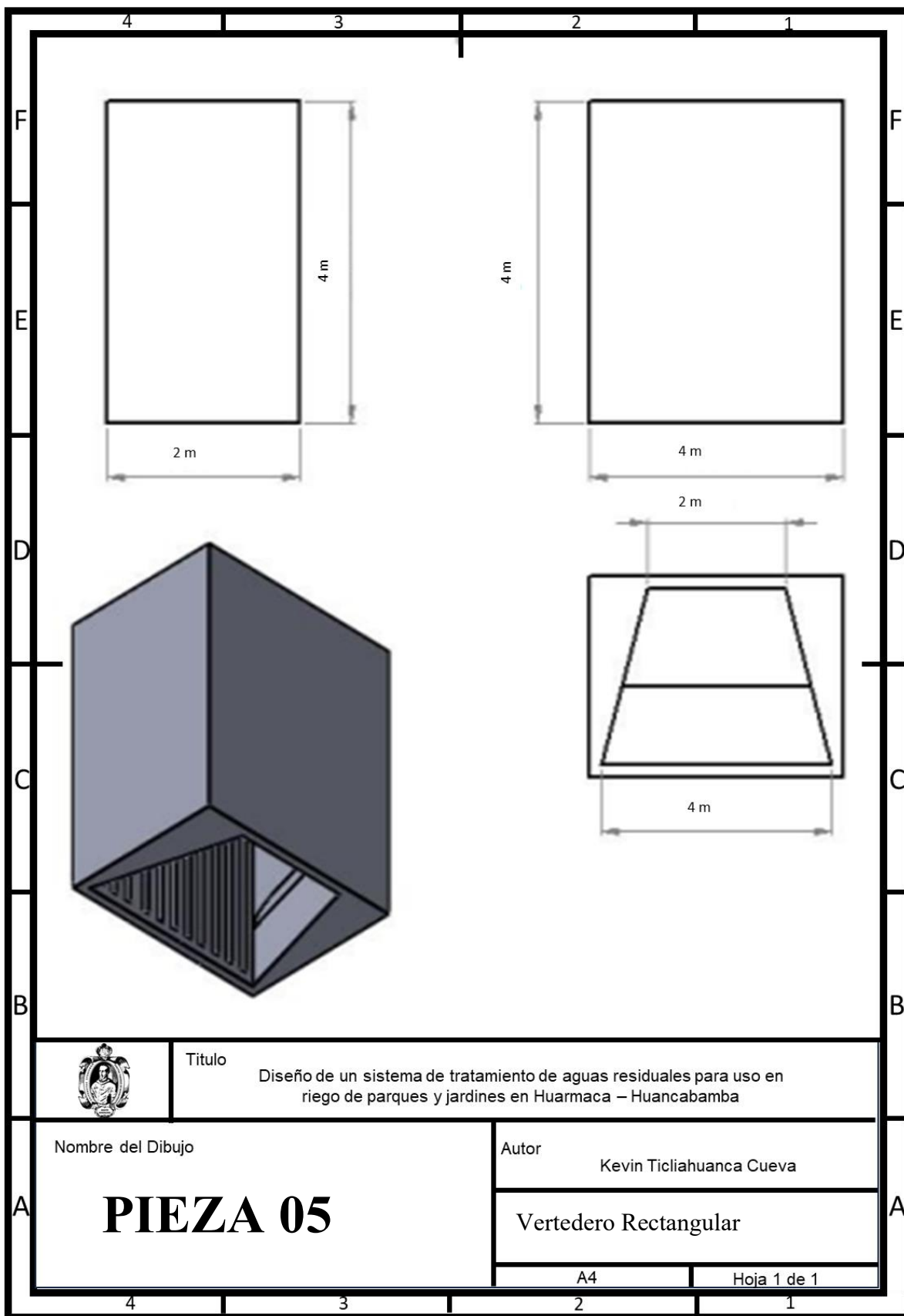
Kevin Ticliahuanca Cueva

Laguna de Maduración

A4

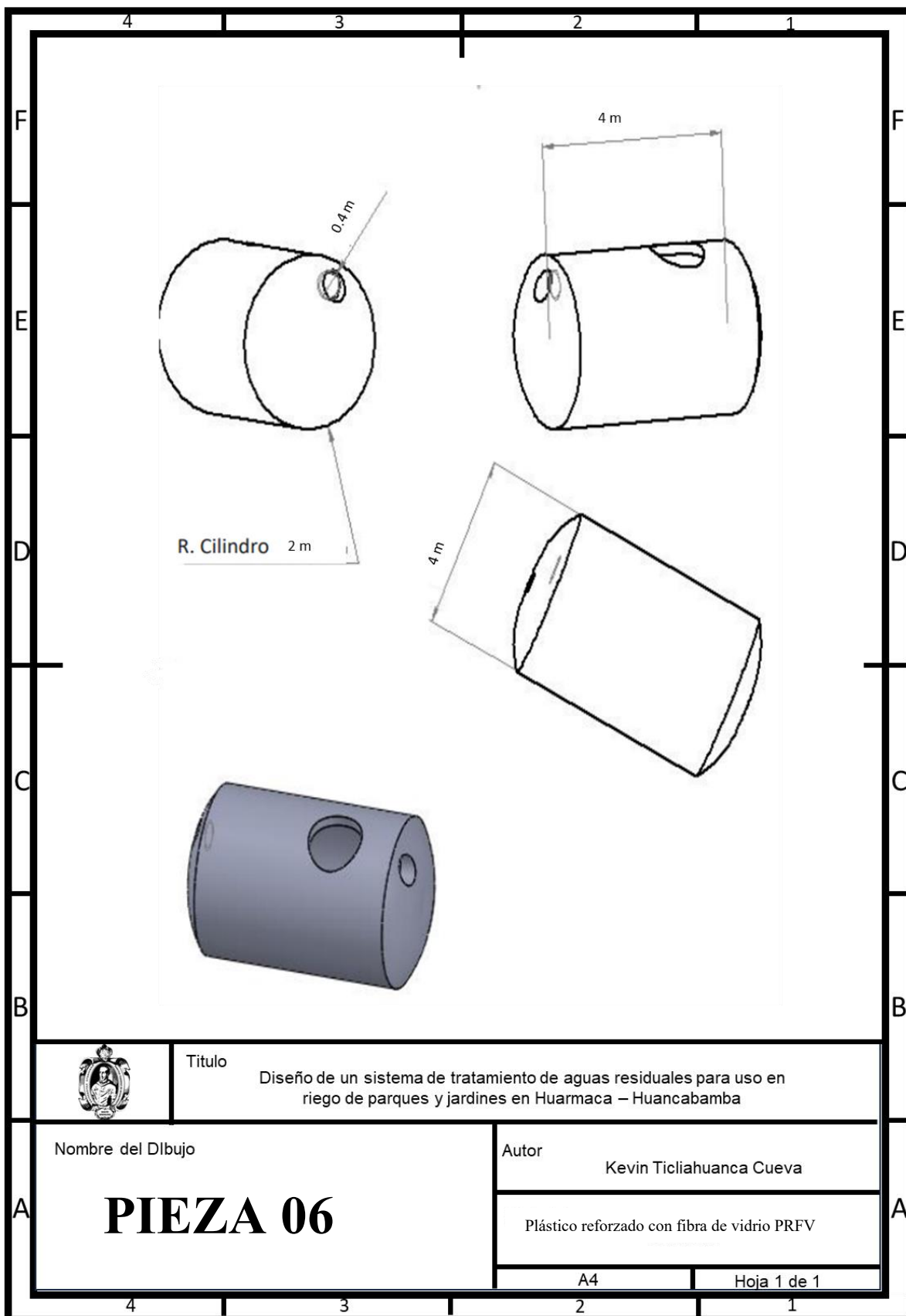
Hoja 1 de 1

Anexo 34: Plano de vertedero rectangular del sistema



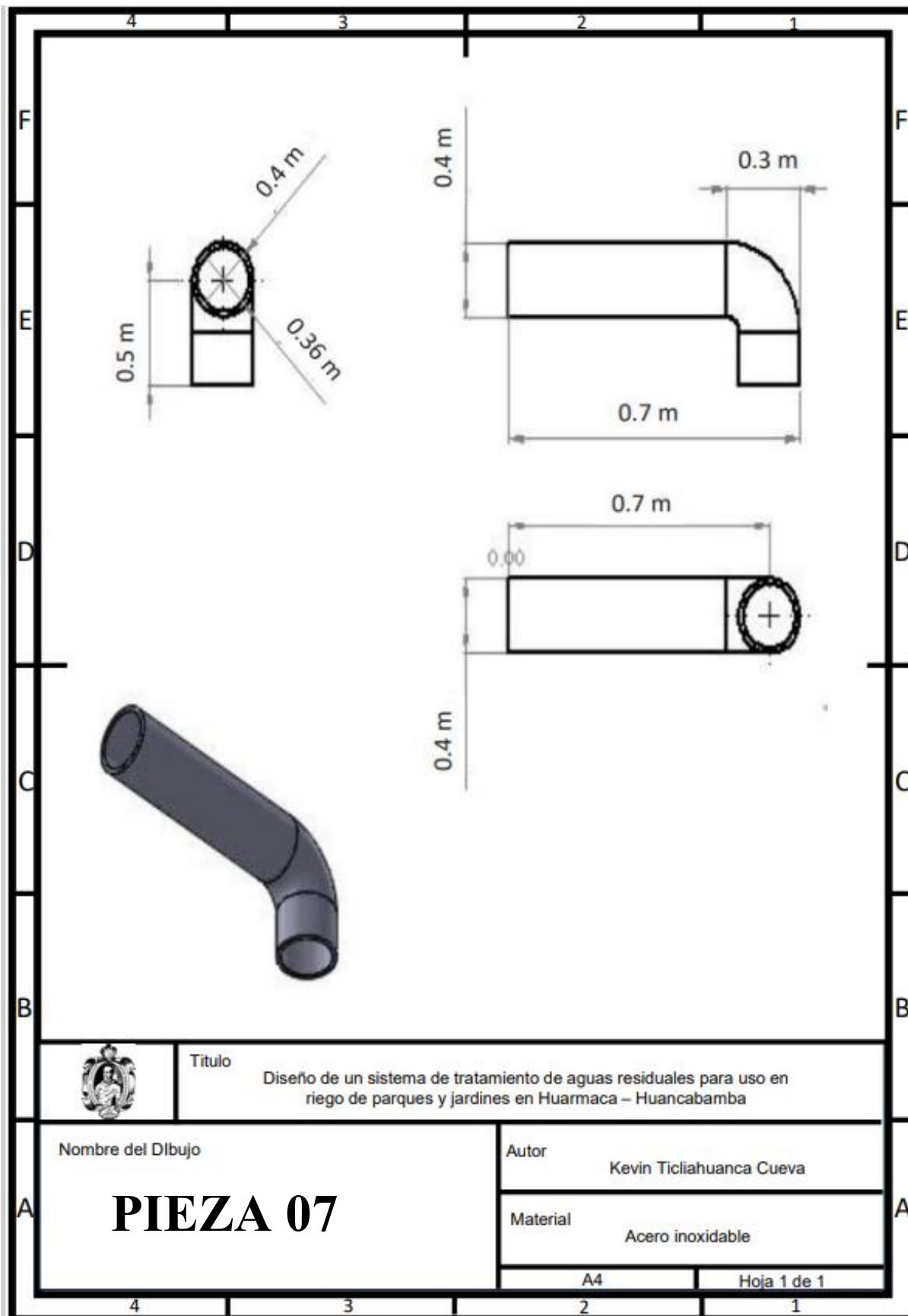
Fuente: Elaboración Propia

Anexo 35: Plano del equipo de desaceitado y desengrase



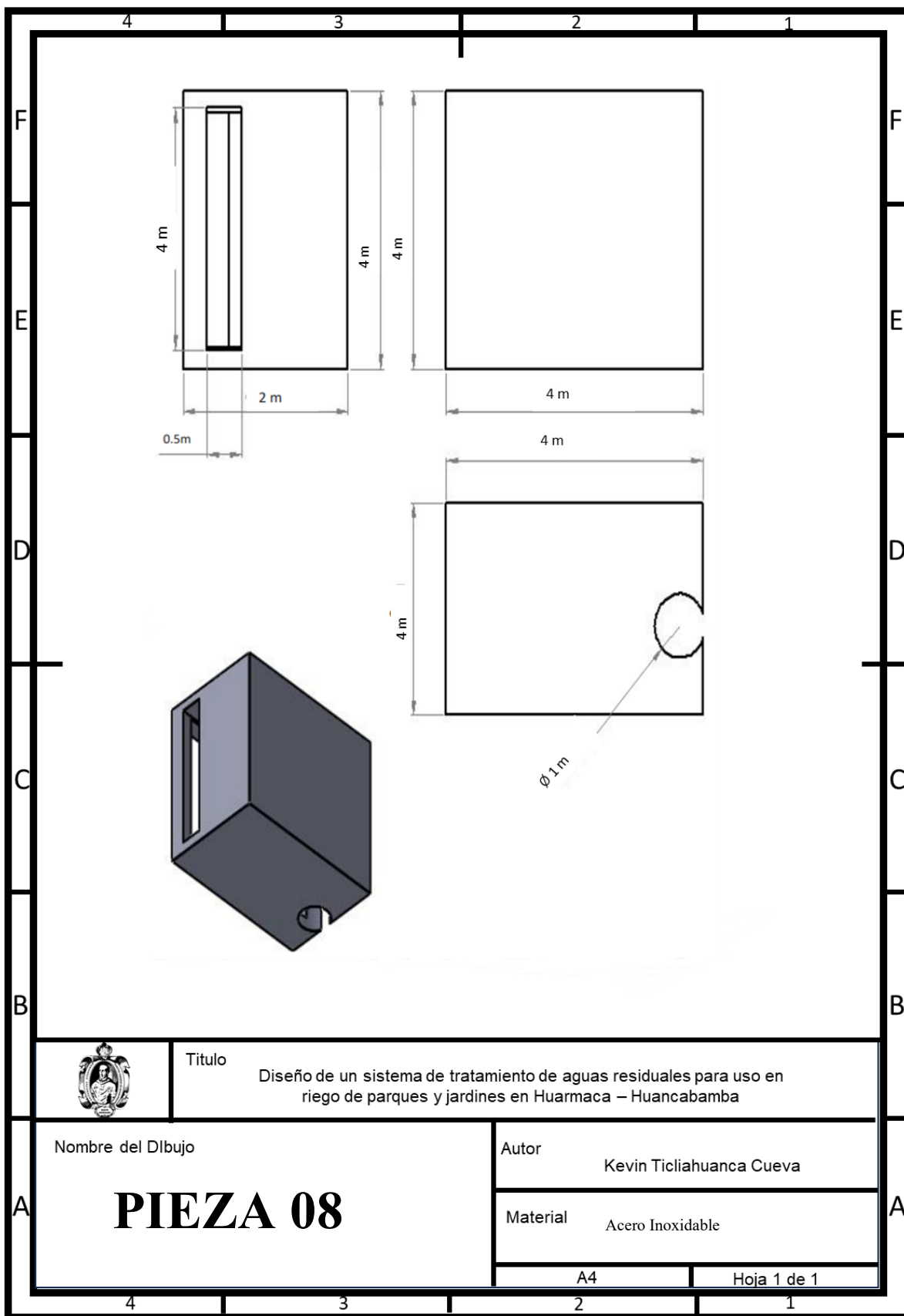
Fuente: Elaboración Propia

## Anexo 36: Plano de tubos de acero inoxidable



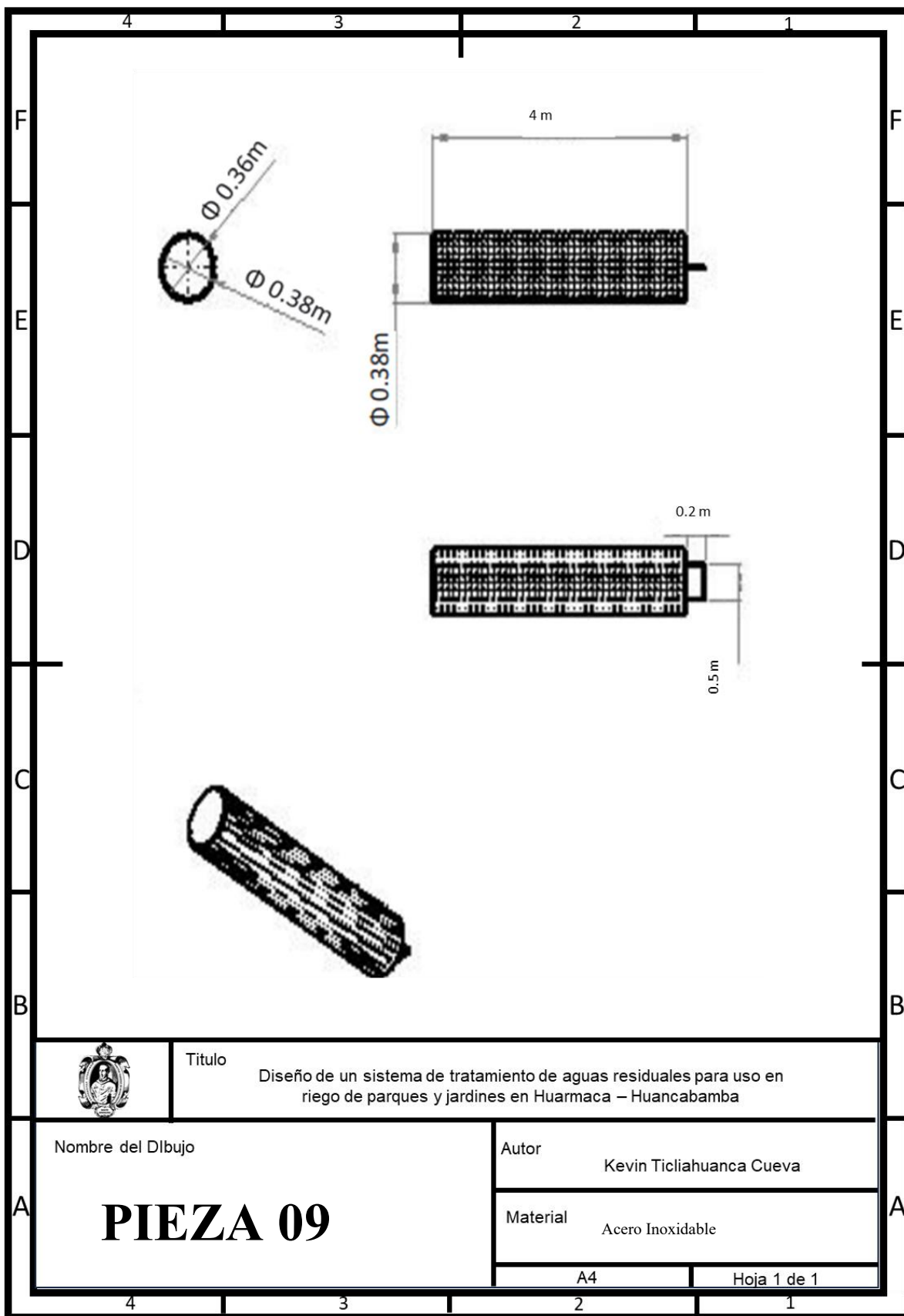
Fuente: Elaboración Propia

**Anexo 37: Plano del cuerpo del tamizador**



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 38: Plano del tamizador



Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 39: Inversiones en obras civiles

Descripción	Unidad	Metros	Precio m <sup>2</sup> S/.	Total, S/.
Muros - columnas	m <sup>2</sup>	12	215,00	2 580
Acabados - revestimiento	m <sup>2</sup>	12	19,00	228
Piso	m <sup>2</sup>	10	22,80	228
<b>Total</b>				<b>S/ 3 036,00</b>

Fuente: Resolución Ministerial 370 – 2018 – Vivienda

### Anexo 40: Inversiones en obras de concreto y excavaciones

Descripción	Unidad	metros	precio S/.	Total, S/.
Canal de ingreso				
Excavación a mano	m <sup>3</sup>	1,5	S/ 12,50	18,75
Concreto F'C=100kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	0,55	S/ 90,00	49,5
Encofrado y desencofrado	m <sup>3</sup>	3,3	S/ 5,20	17,16
Tarrajeo	m <sup>3</sup>	3,3	S/ 13,60	44,88
<b>Total</b>				<b>111,54</b>
Tamizado				
Excavación manual	m <sup>3</sup>	15	S/ 12,50	187,5
Soportes	m <sup>2</sup>	4	S/ 90,00	360
Encofrado y desencofrado	m <sup>2</sup>	3.3	S/ 5,20	17,16
Tarrajeo	m <sup>2</sup>	3.3	S/ 13,60	44,88
<b>Total</b>				<b>609,54</b>
vertedero de salida del tamiz				
Excavación manual	m <sup>3</sup>	1	S/ 12,50	12,5
Encofrado y desencofrado	m <sup>2</sup>	3,3	S/ 5,20	17,16
Tarrajeo	m <sup>2</sup>	3,3	S/ 13,60	44.88
<b>Total</b>				<b>74.54</b>
Desengrase y desaceitado				
Excavación manual	m <sup>3</sup>	3,31	S/ 12,50	41,375
Encofrado y desencofrado	m <sup>2</sup>	4	S/ 5,20	20,8
Tarrajeo	m <sup>2</sup>	4	S/ 13,60	54,4
<b>Total</b>				<b>116,575</b>
Vertedero rectangular				
Excavación manual	m <sup>3</sup>	3.5	S/ 12,50	43,75
Encofrado y desencofrado	m <sup>2</sup>	5	S/ 5,20	26
Tarrajeo	m <sup>2</sup>	5	S/ 13,60	68
<b>Total</b>				<b>551</b>
Lagunas de estabilización				
Excavación manual	m <sup>2</sup>	5 800	S/ 10,50	60 900
<b>Total</b>				<b>60 900</b>
<b>TOTAL</b>				<b>S/ 62 363,20</b>

**Anexo 41: Inversiones en máquinas y equipos**

Equipos / máquinas	Cantidad	unidad	Costos unitarios S/.	Total, S/.
Tamiz	2	Unid	4 000	8 000
Separadores de grasa GR	2	Unid	7 398	14 796
vertederos	4	Unid	2 000	8 000
Geomembranas	4	Unid	35 000	140 000
<b>Total</b>				<b>S/ 170 796</b>

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 42: Inversiones en accesorios**

Accesorios	Cantidad	Diámetro	Costo unitario S/.	Total, S/.
Tubos PVC	3	4"	68	204
Codos	3	4"	7,60	22,80
<b>Total</b>				<b>S/ 226,80</b>

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 43: Total de la inversión tangible**

No	Descripción	Total (S/)
1	Inversión en obras civiles	3 036,00
2	Inversión en obras de concreto y excavaciones	62 363,20
3	Inversiones en equipos y máquinas	170 796,00
4	Inversiones en accesorios	226,80
<b>Total</b>		<b>S/ 236 422,00</b>

Fuente: Elaboración propia

**Anexo 44: Total, de la inversión intangible**

No	Descripción	Total (S/)
1	Estudios técnicos e ingeniería	1 200
2	Instrucciones al personal	250
3	Análisis Físicoquímico	1 000
		<b>S/ 2 450,00</b>

**Anexo 45: Inversión total de la propuesta**

<b>Total, de la inversión Tangible</b>		<b>S/ 236,422.00</b>
Inversión en obras civiles		3 036
Inversión en obras de concreto y excavaciones		62 363,195
Inversiones en equipos y máquinas		170 796
Inversiones en accesorios		226,8
<b>Total, de la inversión Intangible</b>		<b>S/ 2 450,00</b>
Estudios técnicos e ingeniería		1 200
Instrucciones al personal		250
Análisis Físicoquímico		1 000
Imprevistos	5%	11 943,60
<b>TOTAL</b>		<b>S/ 250 815,59</b>

Fuente: Elaboración propia

### Anexo 46: Multas y sanciones

Multas y sanciones			
Infracción	Observación	Multas	
		UIT	SOLES
Leve	Contaminación de fuentes naturales de agua, superficiales y subterráneas	0,5 - 2	2 575 - 10 300
Grave	Realizar vertimientos de aguas residuales, en los cuerpos de agua o reutilizar sin tener autorización por la ANA	2 - 5	10 300 - 25 750
Muy Grave	Arrojar residuos sólidos a cuerpos de agua ya sea natural o artificial	5 - 10 000	25 750 - 5,15x10 <sup>7</sup>

Fuente: Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos: Ley 29338

### Anexo 47: Demanda por año de agua en el regadío de parques y jardines

Plantas	Requerimiento de agua anual(m <sup>3</sup> )	Espacio cultivado
Flores	1,9	1 m <sup>2</sup>
Césped	2,4	1 m <sup>2</sup>
Árboles	42,7	29,4m <sup>2</sup>
Arbustos	26	17,6m <sup>2</sup>

Fuente: Uso eficiente del agua en las áreas verdes

### Anexo 48: Costos de trabajadores encargados del sistema de tratamiento

Trabajador	Cantidad	salario S/.	Total, año/Op.
Responsable del sistema de tratamiento	1	2800	33 600
Operarios	2	1800	43 200
<b>Total</b>			<b>76 800</b>

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 49: Estimación del mantenimiento de acuerdo la inversión inicial

Tipos de inversiones	%
Estructuras, edificios, materiales de piedra, metal, ladrillo, canales primarios, estanques, pozas de decantación de residuos	2 - 3%
Edificaciones de madera, máquinas de gran tamaño como tractores, camiones, canales grandes de agua, estanques para el sector acuícola	4 - 6%
Equipos electrónicos, equipos de laboratorio, equipos de oficina, motores y equipos de prueba	12 - 15%

Fuente: FAO

### Anexo 50: Matriz de Leopold después del sistema

MATRIZ DE LEOPOLD																
		Conducción de las aguas por oleoducto	Aguas en el sistema de tratamiento													
MEDIO	FACTORES AMBIENTALES		Recorrido de aguas por tuberías	Ingreso de las aguas	llenado y embalses	Derrumbes	Residuos domésticos	Descarga de agua	Promedio positivo	Promedio negativo	Promedios aritméticos	Impactos por subcomponentes	Impactos por componentes	Impactos Total del proyecto		
FISICO	AIRE	Clima	1	-1	-2	-1	-1	2	5	2	4	-3	-34	-13	-13	
		Calidad de aire	3	5	3	2	3	5	6	3	3	-31				
	AGUA SUPERFICIAL	Caudal	-4	-7	1	1	1	4	4	6	4	2	-1			-21
		Calidad del agua	3	3	2	4	2	2	6	4	2	-20				
	SUELOS	Suelos/calidad del suelo	1	1	-1	-1	1	7	6	4	2	42	42			
BIOLÓGICO	ECOSISTEMAS	Ecosistemas Terrestres	1	-1	-1	-3	-3	6	6	2	4	16	33			
		Ecosistemas acuáticos	3	3	5	3	1	6	1	5	17					
	VEGETACION	Flora Y vegetación	2	1	1	-1	1	6	3	3	-1	21	21			
	FAUNA	Mamíferos	6	6	6	6	6	6	6	1	7	36	0			
		Anfibios Y Reptiles	6	6	6	6	6	6	6	0	7	-12				
		Insectos	4	-2	-2	-2	-2	-1	4	0	5	-24				
SOCIAL	SOCIAL	Economía	6	-1	-1	-2	5	-1	6	0	3	-15	-54	-54		
		Demografía	5	-1	-1	-1	3	-2	5	0	4	-19				
		Salud	3	-1	-1	-1	-1	-3	3	0	7	-20				
Promedios Positivos			3	2	3	2	5	8	23							
Promedios Negativos			2	6	5	10	5	6		48						
Promedios Asimétricos			-38	-73	-45	-52	-2	197			-13					

Fuente: FAO

## Anexo 51: Laboratorio de ensayos

Tabla 7: Datos del laboratorio de ensayo ALAB



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA  
CON REGISTRO N° LE - 096



### INFORME DE ENSAYO

#### III. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUARMACA
2.-DIRECCION	: JR. GRAU S/N
3.-PROYECTO	: PLANEFA 2023
4.-PROCEDENCIA	: HUARMACA
5.-SOLICITANTE	: JUAN JOSE SANCHEZ ABAD
6.-ORDEN DE SERVICIO	: 000002370-2023-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: P-OPE-1 MUESTREO
8.-MUESTREADO PO	: ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.
9.-FECHA DE EMISION DE INFORME	:2023-06-17

#### IV. DATOS DE ITEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Agua Residual
2.-NUMERO DE MUESTRAS	: 4
3.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-06-10
4.-PERIODO DE ENSAYO	: 2023-06-10 AL 2023-06-17

Liz Y. Quispe Quispe  
Jefe de Laboratorio  
CIP N° 211662

Marieni V. Rivera Castromante  
Supervisor de Laboratorio de  
Microbiología e Hidrobiología  
CBP N° 16639

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

SEDE PRINCIPAL  
Av. Guardia Chalaca N° 1877,  
Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 713 0756  
Cel.: 977 516 675 / 940 598 572

SEDE ZARUMILLA  
Prolongación Zaramilla Mz. D2 Lt. 3,  
Bellavista - Callao  
Telf.: (+01) 713 0636  
Cel.: 937 111 379 / 940 598 572

SEDE AREQUIPA  
COOP SIDSUR Mz E Lt. 9,  
Arequipa  
Telf.: (+054) 616 843  
Cel.: 932 646 642 / 940 598 572

SEDE PIURA  
Urb. Miraflores Mz. G Lt. 17,  
Castilla - Piura  
Telf.: (+073) 542 535  
Cel.: 919 475 133 / 940 598 572

Pág. 1 de 3

www.alab.com.pe

Fuente: Municipalidad Distrital de Huarmaca



**CARTA DE ACEPTACION DE LA MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUARMACA**

**Huarmaca 19 de abril del 2023**

Mgtr. Ing. Marcos G. Baca López

Director de la Escuela de Ingeniería Industrial

Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo

Asunto: Aceptación de desarrollo de tesis

Presente

Por medio del presente me dirijo a usted, para expresarle mi cordial saludo y a la vez mencionarle que como responsable de la Sub Gerencia de Gestión y Fiscalización Ambiental y en cumplimiento de sus funciones, hago de su conocimiento que el estudiante **Ticlahuanca Cueva, Kevin** identificado con DNI: No **73336972** y código universitario **191AD91813**, estudiante de la escuela profesional de Ingeniería Industrial de la Universidad a la cual usted representa, ha sido admitido para poder realizar su proyecto de tesis en la Municipalidad Distrital de Huarmaca, ubicada en Jirón Grau S/N, teniendo como fecha de inicio 18 de abril de 2023 hasta la culminación de la misma.

Asimismo, nos comprometemos a brindar la información necesaria durante todo el periodo de investigación para que se logre desarrollar de manera responsable y efectiva.

Por otro lado, aprovecho la oportunidad para expresarle mi respeto y saludos cordiales.

**Atentamente,**

  
MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HUARMACA  
Ing. Omar Wilian Peña García  
SUB GERENCIA DE GESTION Y FISCALIZACION AMBIENTAL