



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“EFICACIA DE UN DESTILADOR SOLAR EN EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA
PROVINCIA DE TRUJILLO”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autores:

Merenciana Sanchez Asiclo
Kassandra Yagkug Contreras

Asesor:

Ing. Wilberto Effio Quezada

Trujillo - Perú

2020

DEDICATORIA

Este trabajo de investigación se lo dedicamos principalmente a Dios, quien como guía estuvo presente en el caminar de nuestras vidas, bendiciéndonos y dándonos las fuerzas necesarias para continuar con nuestras metas trazada sin desfallecer. A nuestras familias, por la comprensión, confianza y ayuda incondicional que nos han brindado a lo largo de la carrera.

También se lo dedicamos al Programa Nacional de becas y Crédito por darnos la oportunidad de continuar con nuestros estudios y cumplir uno de los anhelos más deseados a través de la obtención de una beca integral. Asimismo, a nuestros profesores quiénes nos proporcionaron los conocimientos necesarios sobre la carrera elegida para aplicarlos en el campo laboral. También a nuestros queridos amigos por brindarnos su amistad y apoyo moral en momentos difíciles.

AGRADECIMIENTO

En el presente trabajo agradecemos a Dios por ser nuestro guía y por brindarnos la hermosa oportunidad de vivir un día más de vida, y al mismo tiempo por acompañarnos en este sendero llena de cosas por descubrir. Además, por ofrecernos tener una familia maravillosa y estar rodeados de personas extraordinarias.

Gracias a nuestros padres, hermanos y amigos por brindarnos su apoyo moral, por los consejos y valores que nos han inculcado. Agradecemos al Programa Nacional de Becas y Crédito por el apoyo económico y moral por parte del equipo que lo conforman. Asimismo, agradecer a nuestros profesores de la Universidad Privada del Norte por haber brindado sus conocimientos a lo largo de nuestra carrera, principalmente al Ing. Wilberto Effio Quezada por apoyarnos en el desarrollo de nuestra tesis y al Ing. Grant Ilich Llaque Fernández por guiarnos en la estructura de nuestra investigación.

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
ÍNDICE DE ECUACIONES	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	11
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	37
CAPÍTULO III. RESULTADOS	47
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	62
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	72
ANEXOS	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sólidos totales en suspensión de la muestra de la PTAR de Salaverry	48
Tabla 2. Aceites y grasas de la muestra de la PTAR de Salaverry	49
Tabla 3. pH de la muestra de la PTAR de Salaverry	50
Tabla 4. Demanda bioquímica de oxígeno de la muestra de la PTAR de Salaverry	51
Tabla 5. Demanda química de oxígeno de la muestra de la PTAR de Salaverry	52
Tabla 6. Coliformes termotolerantes de la muestra de la PTAR de Salaverry	53
Tabla 7. Sólidos totales en suspensión de la muestra de la PTAR de Covicorti	54
Tabla 8. Aceites y grasas de la muestra de la PTAR de Covicorti	55
Tabla 9. pH de la muestra de la PTAR de Covicorti	56
Tabla 10. Demanda bioquímica de oxígeno de la muestra de la PTAR de Covicorti	57
Tabla 11. Demanda química de oxígeno de la muestra de la PTAR de Covicorti	58
Tabla 12. Coliformes termotolerantes de la muestra de la PTAR de Covicorti	59
Tabla 13. Comparación de las aguas tratadas con los LMP y ECA	60
Tabla 14. Volumen de agua tratada durante 10 días	113
Tabla 15. Temperatura de la muestra de la PTAR de Salaverry	117
Tabla 16. Temperatura de la muestra de la PTAR de Covicorti.....	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Destiladores solares.....	43
Figura 2. Diseño del destilador solar de una vertiente	47
Figura 3. Sólidos totales en suspensión de la muestra de la PTAR de Salaverry.....	48
Figura 4. Aceites y grasas de la muestra de la PTAR de Salaverry	49
Figura 5. pH de la muestra de la PTAR de Salaverry.....	50
Figura 6. Demanda bioquímica de oxígeno de la muestra de la PTAR de Salaverry	51
Figura 7. Demanda química de oxígeno de la muestra de la PTAR de Salaverry.....	52
Figura 8. Coliformes termotolerantes de la muestra de la PTAR de Salaverry.....	53
Figura 9. Sólidos totales en suspensión de la muestra de la PTAR de Covicorti.....	54
Figura 10. Aceites y grasas de la muestra de la PTAR de Covicorti.....	55
Figura 11. pH de la muestra de la PTAR de Covicorti.....	56
Figura 12. Demanda bioquímica de oxígeno de la muestra de la PTAR de Covicorti...	57
Figura 13. Demanda química de oxígeno de la muestra de la PTAR de Covicorti.....	58
Figura 14. Coliformes termotolerantes de la muestra de la PTAR de Covicorti.....	59
Figura 15. ECA para riego de vegetales y bebidas de animales.....	88
Figura 16. LMP para plantas de tratamiento de agua residual doméstica o municipal. ...	89
Figura 17. Etiqueta de datos	97
Figura 18. Cadena de custodia de la muestra de Salaverry	98
Figura 19. Cadena de custodia de la muestra de Covicorti	99
Figura 20. Formatos para el análisis de muestra del afluente de la PTAR.....	108
Figura 21. Volumen de agua destilada	113
Figura 22. Temperatura interna y ambiental	114
Figura 23. Humedad ambiental	115

Figura 24. Radiación solar.....	116
Figura 25. Temperatura de la muestra de la PTAR de Salaverry.....	117
Figura 26. Temperatura de la muestra de la muestra de la PTAR de Covicorti.....	118
Figura 27. Tipos de destiladores solares.....	119

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Sólidos totales en suspensión	29
Ecuación 2: Aceites y grasas	30
Ecuación 3: Demanda biológica de oxígeno	31
Ecuación 4: Demanda química de oxígeno	32
Ecuación 5: Demanda química de oxígeno	32
Ecuación 6: Coliformes termotolerantes	33
Ecuación 7: Eficacia de remoción	34

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo determinar la eficacia de un destilador solar para mejorar la calidad de las aguas residuales de Trujillo, para lo cual se construyó dos destiladores solares de una vertiente. En la experimentación se empleó dos tipos de aguas residuales provenientes del afluente de las Plantas de Tratamiento de Salaverry y Covicorti. Se utilizó 1 litro diario de agua residual para cada prototipo durante un periodo de 10 días. Asimismo, se efectuaron las mediciones de los factores ambientales durante el día y la caracterización de los parámetros fisicoquímicos (Temperatura, SST, Aceites y grasas, pH, DBO5 y DQO) y microbiológicos (Coliformes termotolerantes) del agua residual antes y después del tratamiento. Los resultados de remoción de la muestra tratada del afluente de la PTAR de Salaverry son: 96.63 % de SST, 100% en aceites y grasas, 93.42% de DBO5, 95.39 % de DQO y 100% de coliformes termotolerantes; y la muestra del afluente de la PTAR de Covicorti presenta una remoción del 99 % SST, 100 % para aceites y grasas, del 93.33 % para DBO5, del 95.90 % de DQO y el 100 % de coliformes termotolerantes. Se concluye que la eficacia del destilador solar de una vertiente es significativa para mejorar la calidad de las aguas residuales de los afluentes de las PTAR de Covicorti y Salaverry, puesto que remueve contaminantes como: sólidos totales suspendidos, aceites y grasas, DBO, DQO y coliformes termotolerantes. Esto se demuestra a través de la prueba t-Student $p < 0.05$ con un nivel de confianza del 95%.

Palabras clave: Eficacia, destilador solar, aguas residuales, agua tratada

ABSTRACT

The objective of this research is to determine the effectiveness of a solar still to improve the quality of Trujillo's wastewater, for which two single-slope solar stills were built. Two types of wastewater from the tributary of the Salaverry and Covicorti Treatment Plants were used in the experimentation. 1 liter of residual water was used daily for each prototype over a period of 10 days. Likewise, measurements of environmental factors were carried out during the day and the characterization of the physicochemical parameters (Temperature, TSS, Oils and fats, pH, BOD5 and COD) and microbiological (thermotolerant coliforms) of the residual water before and after treatment. The removal results of the treated sample from the Salaverry WWTP tributary are: 96.63% SST, 100% oils and fats, 93.42% BOD5, 95.39% COD and 100% thermotolerant coliforms; and the Covicorti WWTP tributary sample shows a removal of 99% SST, 100% for oils and fats, 93.33% for BOD5, 95.90% COD and 100% thermotolerant coliforms. It is concluded that the efficiency of the one-slope solar distiller is significant to improve the quality of the wastewater from the tributaries of the Covicorti and Salaverry WWTPs, since it removes contaminants such as: total suspended solids, oils and greases, BOD, COD and thermotolerant coliforms. This is demonstrated through the t-Student test $p < 0.05$ with a confidence level of 95%.

Keywords: Efficacy, solar still, wastewater, treated water

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

A nivel mundial uno de los problemas más preocupantes para la humanidad es la cantidad de aguas residuales generadas por las actividades humanas, que no se tratan de manera adecuada (Rodríguez, 2017, S/P). Se caracterizan principalmente por poseer un 1% de sólidos mezclados en un 99 % de agua (WWAP, 2017, Pág.3). El problema en los países europeos se debe a la falta de infraestructura adecuada para tratar enormes volúmenes de agua residual domésticas (EcoDiario. Es., 2018, S/P). Uno de los países que ha sido denunciado y multado por mala depuración es España, debido a los vertidos no autorizados sobre las aguas litorales españolas causando degradación y pérdida en su calidad (Público, 2019, S/P).

Latinoamérica enfrenta una crisis de cultura ineficiente del agua en todos los ámbitos, puesto que en su mayoría no se cuenta con tecnologías adecuadas para el tratamiento de aguas residuales (Almar water solution, 2018, S/P), como consecuencia el 70% de las aguas residuales vuelven a los ríos con un alto índice de contaminación (Banco Mundial, 2013, S/P), que se componen principalmente de tres cuartas partes de materias fecales, representando un riesgo para la salud humana y para el ambiente; asimismo atenta contra el orden de la vida ecológica acuática (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2014, S/P).

En el Perú, el aumento de las aguas residuales se encuentra conectado con el aumento de la población, convirtiéndose en un problema serio a tratar; debido a que causan aspectos desfavorables en el ambiente y la salud humana (Herrera y López, 2015, Pág.1). Un caso ocurrido en el año 1991 marca la historia del Perú, “la

epidemia del cólera”, deja 2.900 muertes a nivel nacional (WWAP, 2017, Pág. 110), debido al vertimiento de más del 90% de los desechos urbanos y el 70% de desechos industriales sin previo tratamiento sobre los cursos de agua superficial y subterránea (León y Sabando, 2017, Pág. 2). Esto se debe a la falta de control operacional y mantenimiento por las empresas prestadoras de servicio de agua (Arce, 2013, Pág. 2). Además, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) informa que solo 1 de 204 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) cumple con las normativas peruanas vigentes (Gestión, 2016, S/P).

En el departamento de La Libertad, la contaminación de las aguas por vertidos está afectando de manera directa la vida acuática del litoral liberteño (RPP noticias, 2015, S/P). También se ve afectada la salud humana, siendo el agua un agente de transmisión de diferentes enfermedades como la hepatitis, cólera, malaria, dengue y diarreas (Gonzales y Roldán, 2016, Pág. 18). En la provincia de Trujillo, existen diversas industrias, fábricas, centros comerciales, etc., que vierten sus desechos directamente a los ríos, lagos sin previo o escaso tratamiento. La desembocadura final de estas aguas es el mar, donde el 40% es arrojado de manera directa debido a que no se cuenta con la tecnología necesaria para tratarla (Colegio de Ingenieros del Perú, 2013, S/P). Esto se respalda con la investigación de Jiménez (2014, Pág. 20); quien demuestra que el efluente de la PTAR de Covicorti supera los Límites Máximos Permisibles (LMP) para aguas residuales domésticas. Asimismo, afecta y altera un cuerpo receptor mayor impidiendo que sea utilizada para ciertas actividades como lo estipula los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para riego.

Debido a la problemática global en el tratamiento de aguas residuales se utiliza los destiladores solares como propuesta de solución. Ante esta dificultad se pretende

determinar la eficacia de remoción de contaminantes mediante el proceso de destilación solar en el tratamiento de aguas residuales provenientes de las diferentes actividades humanas. Se informan que los destiladores solares son dispositivos térmicos que usan la radiación solar para remover las impurezas del agua (Santos, 2009, Pág. 8), y elimina microorganismos como bacterias y otros que atentan contra la salud humana por su alto grado de peligrosidad (Gagliardi, 2008, Pág. 96). Esta tecnología emplea energía renovable (energía solar), son económicos y fáciles de construir, además no requieren personal de mantenimiento (Andión, Brito, Fernández, Fonseca y Perdomo, 2009, Pág. 18).

Su purificación se mide mediante la eficacia, el cual es un parámetro muy importante que ayuda a determinar la cantidad de contaminantes que ha disminuido en el producto destilado. Se divide en: remoción de material en suspensión, la remoción de sustancias químicas disueltas y la contaminación biológica (Hermosillo, 1989, Pág. 21). Además, cantidad de agua tratada al día depende de los fenómenos meteorológicos (temperatura, humedad, radiación solar), la forma y el tamaño del equipo (VV. AA, 2018, Pág. 307), por eso existen diversos tipos de destiladores solares como: destilador solar de una vertiente, de dos vertientes, circular, entre otros (Fonseca, Miranda y Torres, 2012, Pág. 181). La destilación solar origina los procesos de evaporación, condensación y precipitación; produciendo agua con menos impurezas que la inicial (Freire, Thomé y Motta, 2012, Pág. 204); y todos los contaminantes quedan en el fondo del destilador existiendo una separación de agua-sólidos debido a los cambios de transformación del producto a destilar (Lloveras, Nacenta y Rodríguez, 2012, Pág. 1964). El agua tratada producto del proceso de

destilación del sistema es un líquido libre de contaminantes y microorganismos patógenos.

Esta investigación es conveniente porque se centra en evaluar la eficacia del destilador solar para remover los contaminantes de las aguas residuales que son generadas por las diferentes actividades humanas. El destilador solar de una vertiente es fácil de construir y sirve para eliminar microorganismos, sales, bacterias, metales pesados e impurezas, mediante el cambio de fase del agua residual utilizando como fuente la energía del sol; obteniéndose un agua con menor concentración de contaminantes. Por tal motivo la investigación se orienta al rubro de tecnologías limpias porque no produce impactos significativos durante su proceso.

Tiene relevancia social porque se presenta como solución para tratar aguas residuales altamente contaminadas, trayendo el beneficio de reutilizar el agua tratada en diferentes actividades humanas como el riego de vegetales de tallo alto, asimismo reduce la generación de impactos negativos en el ambiente y la salud humana; trayendo mejoras significativas en la eficiencia energética. Puesto que, todo el proceso de la destilación utiliza energía renovable producida por la radiación solar siendo muy eficaz para remover la materia orgánica. Además, son fáciles de construir y transportar, debido a que los costos son altamente bajos en comparación a otra gama de tratamientos sofisticados.

Asimismo, esta investigación podrá ser usada como modelo para futuros proyectos teniendo en cuenta las bases de información, puesto que tiene como objetivo evaluar la eficacia de un destilador solar en el tratamiento de aguas residuales, que han sido desechadas por la población tras utilizarlas. También, aporta

de conocimientos en cuanto a tecnologías limpias, fáciles y baratas para los tratamientos de aguas negras, lo que permite desarrollar y mejorar las propuestas de solución de manera eficiente.

Para reforzar la investigación se realiza la búsqueda de información de tesis y artículos de revistas científicas que guardan relación con nuestras variables y objetivos, los cuales se mencionan a continuación:

León y Sabando (2017), en su tesis ***“Diseño y construcción de un destilador solar para aguas residuales en la ciudad de Riobamba”*** tienen como objetivo diseñar y construir un destilador solar para el tratamiento de aguas residuales. Se establecen las dimensiones del equipo teniendo en cuenta los costos, la eficiencia y se procede a realizar el diseño en el programa AutoCAD. Luego, se construye el destilador de acero inoxidable con las siguientes características: inclinación del vidrio de 30° y capacidad de 4 Litros. Los resultados de la eficiencia de remoción de los contaminantes en el agua tratada son: 89.06% de DBO₅, 96.02% de DQO, 99.95 % de coliformes termotolerantes y 97.09% de coliformes totales. Se concluye que el destilador solar es eficiente en la remoción de contaminantes de las aguas residuales, así también se debe utilizar volúmenes bajos de agua para una mayor eficacia.

Lloveras et al. (2012) en su investigación ***“Tratamiento de aguas industriales residuales mediante destilación fría sólido- líquido”*** tienen como objetivo tratar las aguas residuales de origen industrial mediante destilación. Para ello, se realiza una decantación del agua residual para finalmente ser llevadas a una destilación fría sólido-líquido en dos etapas. Como resultados se tienen las siguientes variaciones: 27500 ppm (veintisiete mil quinientos ppm) de DQO a 27 ppm. Finalmente, se

concluye que mediante una destilación fría sólido-líquido se puede tratar el agua residual, ya que, el producto obtenido está libre de impurezas.

García, García, Nájera, Vázquez y Vera (2010), en su tesis ***“Desarrollo y caracterización de un destilador solar para su aprovechamiento en el tratamiento de agua contaminada”*** tienen como objetivo desarrollar y caracterizar un destilador solar para su aprovechamiento en el tratamiento de agua contaminada. Se realiza un estudio de la técnica de destilación solar a partir de la energía renovable y se ejecuta un modelo matemático basado en el balance de la energía dentro del destilador. Como resultado se obtiene la cantidad máxima de agua tratada de $3.26 \text{ kg/m}^2\text{-día}$, con 151144.83 watts de radiación solar. Se concluye, que la destilación solar es un excelente método para tratar aguas negras, debido a la eliminación de contaminantes y permitir el aprovechamiento de esta. Asimismo, explica que a menor radiación la eficiencia de producción tiende a disminuir.

Colmenares y Pinzón (2008) en su investigación ***“Diseño, construcción y pruebas de un destilador solar”*** su objetivo es diseñar y construir un prototipo de destilador solar, con estándares de calidad y realizar pruebas con base en investigación de la energía renovable, para mostrar a través de prácticas de laboratorio de transferencia de calor. Se efectúa, el diseño del equipo de una sola vertiente de $51 \text{ cm} \times 37.5 \text{ cm}$, con un área transversal de incidencia con el sol de 0.1495 cm^2 , una bandeja de 0.09625 cm^2 y un espesor de 2.5 cm de aislante térmico. Posteriormente, se construye el destilador de acero inoxidable con cubierta de vidrio; la experimentación se llevó a cabo, durante un periodo de 19 días, donde se mide la temperatura, radiación solar y volumen de agua destilada diaria. Los resultados del agua contaminada son 4200 UFC coliformes totales y 1300 UFC Escherichia C.

luego del tratamiento arroja en la primera prueba 0 para ambos. Se finaliza, que la destilación solar es un método aceptable para la desinfección microbiológica y su cantidad de destilado depende de la diferencia de temperatura entre el agua y la superficie del vidrio.

Rodríguez y Saavedra (2008) en su investigación ***“Diseño y construcción de un destilador solar de aguas residuales para el laboratorio de energías renovables DECEM”*** su objetivo es diseñar y construir un destilador solar con aplicación al análisis y descontaminación de muestras de aguas residuales. Se construye prototipo tomando en cuenta los parámetros de diseño como: material (láminas acero inoxidable) para mayor durabilidad bandeja de acero inoxidable, espesor y dimensiones externas del equipo. Luego, se mide cada 15 minutos la temperatura interna, temperatura ambiente, humedad relativa, radiación solar, iniciando desde las 9 am hasta las 2 pm. Como resultado se obtiene 700 ml de agua tratada de un volumen inicial de 3 litros y la eficiencia térmica es el 22%. Se concluye que el destilador de dos vertientes tiene mayor eficiencia y es de bajo costo.

Santos (2009), su tesis titulada ***“Diseño, construcción y caracterización de un destilador solar de caseta”*** su objetivo es diseñar, construir y caracterizar un destilador solar de caseta para mejorar la calidad del agua. Con el software Solid Edge se diseñó un destilador solar fácil de construir. Como resultados se tiene una reducción de 1600 UFC/100 ml a 1.8 UFC/100 ml de coliformes totales y una variación de 5400 UFC/100 ml a 1.8 UFC/100 ml de coliformes fecales. Se concluye que la reducción de contaminantes es del 99.95 % de los coliformes fecales y totales en el agua tratada. Asimismo, se determina que el nivel del agua dentro del destilador influye de forma inversa en la eficiencia térmica del equipo, ya que, la eficiencia

máxima alcanzada fue de 44.4% cuando el nivel de agua es de 1 cm.; este hasta un valor de 8.7% cuando el nivel del agua es de 6 cm.

Castrillón y Hincapié (2012), en su investigación ***“Potabilizar agua con energía solar, una alternativa para las comunidades más alejadas de los centros urbanos”*** tiene como objetivo encontrar alternativas para potabilizar el agua con energía solar. Para ello, se efectuó una revisión documentaria de las tecnologías de energía solar. Como resultados se eligen diferentes alternativas de colectores que emplean radiación solar para tratar las aguas. Finalmente, se concluye que es posible tratar aguas contaminadas, debido a que el funcionamiento de estos equipos se da a altas temperaturas y tienen un efecto sobre los microorganismos, es por ello que son capaces de limpiar el agua altamente contaminada.

Nascimento, Nascimento, Spilki, Staggemeier y Lauer (2018), en su tesis ***“Eficacia de un destilador solar para desinfectar de virus y bacterias indicadoras en agua destinada al consumo humano”***. Se centran en determinar la eficacia de un destilador solar en la destrucción de virus y de bacterias indicadoras en el agua para el consumo humano. Se utiliza un destilador solar de doble pendiente, donde se colocó 5 litros de agua contaminada con coliformes totales y Escherichia Coli, las pruebas se llevan a cabo de 8 am a 3 pm. Como resultados se obtiene que el número de coliformes totales y *E. coli* para todas las muestras tratadas por el destilador solar estaba por debajo del límite de detección del método analítico (<1 NMP / 100 ml). Se concluye que la eficacia de remoción de coliformes totales y Escherichia coli en todas las pruebas realizadas fue del 100%, independientemente de su nivel de contaminación.

Pérez y Salazar (2015), en su tesis titulada *“Análisis del comportamiento de un prototipo de destilador solar en la ciudad de Cartagena”* su objetivo principal es analizar la eficiencia de un prototipo de destilación a escala piloto en la desalinización de agua de mar. Al comienzo, se arma el prototipo de 1 metro de ancho, 1.5 m de alto y 0.7 m de altura, 5mm de espesor de vidrio, teniendo una capacidad de 35 litros; al destilador se agrega agua hasta un nivel de 5 cm. Como resultados se tienen las siguientes variaciones: pH de 8.1 a 7.2, salinidad de 35.9 mg/L a menos de 1, turbidez de 5.25 a 1.74 UNT, conductividad de 54.3 mS/cm a 493 a $\mu\text{S/cm}$. Asimismo, los valores promedio son: temperatura de 34 °C, la producción de agua tratada de 214.89 mL/día y la radiación solar máxima es de 700 W/ m^2 y la mínima de 684.29 W/ m^2 . Se concluye, que el método empleado para tratar aguas es una alternativa ecológica eficiente.

Fonseca, Abdala, Griñan y Sanchez (2005) en su estudio *“Prototipo de destilador solar de fibra de vidrio”* tienen como objetivo construir y evaluar un prototipo de destilador solar tipo caseta de fibra de vidrio. Este consta de una bandeja de área 0.16 m^2 y la cubierta de vidrio tiene una inclinación de 20°. En el proceso se evalúa el funcionamiento del destilador mediante la cuantificación de la radiación electromagnética, el volumen de agua producida de manera diaria y la caracterización de los parámetros químicos del agua tratada. La productividad del equipo en días con alta radiación solar alcanza valores de 350 mL diario de agua tratada. Asimismo, el análisis de la conductividad es menor que 10 $\mu\text{S/cm}$ y el pH cumple con la norma establecida. Finalmente se concluye que la producción del equipo varía de acuerdo a las condiciones climáticas y el agua tratada puede ser reutilizada para el transporte automotor, baterías etc.

Intriago y Zambrano (2017) en su tesis ***“Repotencialización de un destilador solar para agua salina por medio de transferencia de calor y condensación fotovoltaica”*** tiene como objetivo repotenciar un destilador solar para la conversión de agua salina a dulce a través de transferencia de calor direccionado y condensación fotovoltaica en la Parroquia San Clemente, Manabí-Ecuador. Se diseña y construye un destilador solar teniendo en cuenta la información bibliográfica obtenida. La experimentación es por un periodo de 7 días y se realiza una caracterización antes y después del proceso de destilación solar. La remoción de tratamiento del destilador convencional es: 78% de dureza y 89.456% de cloruros; y del destilador repotenciado es de 82% dureza y 91.64% cloruros. Asimismo, la eficiencia máxima del equipo convencional es 13% y del equipo repotenciado es de 27%. Se concluye que el agua tratada cumple con los límites permisibles en TULSMA considerada apta para el consumo humano.

Mamani (2012), su tesis ***“Diseño, construcción y caracterización de un destilador solar tubular de agua de mar”*** tiene como objetivo diseñar, construir y evaluar un destilador solar tubular de agua de mar. Para lo cual, se construye el destilador a escala piloto para evaluar el funcionamiento y cualidades del equipo y del agua destilada. Se hicieron mediciones del volumen de agua tratada, temperatura, humedad, radiación solar; de 9 am a 5 pm durante 90 días. De la misma manera se midió, la producción máxima de volumen de agua tratada de 120 mL/día con una irradiancia solar promedio de 423.8 W/m y una producción mínima de 45 mL/día con una irradiancia solar de 102 W/m. Finalmente, se concluye que el destilador solar es favorable en la producción de agua tratada.

Aylas (2017), en su tesis ***“Obtención de agua potable mediante un tratamiento solar (destilador cascada) del agua de mar de la punta –Callao-2017”*** su objetivo es obtener agua potable mediante el tratamiento de destilación solar del agua de mar. Para ello, se realiza el diseño de 2 destiladores en AutoCAD, seguidamente, se procede al armado de los prototipos y se coloca el agua de mar a destilar. Los resultados demuestran una disminución en los contaminantes como: en la conductividad del 98.3%, turbidez el 89.9%, pH en un 19.5% (Disminución de pH de 8.30 de promedio a 6.66 de promedio), alcalinidad un 70.3% DQO del 93.4%, DBO5 del 93.7%, Nitritos en un 95.9% y nitratos del 99.6%. Se concluye que la destilación solar disminuye significativamente de un rango de 70 a 99 % los contaminantes del agua.

Chiroque (2018), en sus tesis ***“Comparación de destiladores solares para obtención de agua dulce en pozos de agua salobre en la comunidad Campesina San Juan Bautista de Catacaos-Piura”***, tiene como objetivo comparar destiladores solares para la obtención de agua dulce en pozos de agua salobre en la C.C. San Juan Bautista de Catacaos-Piura-2017. Se construyen 4 modelos de destiladores solares, para la experimentación de 3 meses usando agua salobre de pozos. Como resultados se obtiene que el destilador solar de dos vertientes, el destilador solar de cascada, el destilador solar de dos vertientes modificado y el destilador de una vertiente tienen rendimientos promedios de 1,651; 1,525; 1,445 y 0.921 litros de agua destilada por m²/día. Por último, el prototipo más eficaz y económico es el destilador de dos vertientes que logra producir 1.651 litros de agua destilada por m²/día a un costo de S/. 337.32 soles.

Jiménez (2014), en su tesis *“Calidad del agua de las lagunas de oxidación de Covicorti, Trujillo-La Libertad”* cuyo objetivo principal es determinar la calidad del agua procedente de las lagunas de oxidación de Covicorti en Trujillo. Para ello, se analiza los parámetros físicos, químicos y biológicos en las tres lagunas facultativas, la frecuencia de muestreo se realiza dos veces por mes. Como resultado se obtiene lo siguientes: DBO 294.76 mg/L, pH 7.9, sólidos totales en suspensión 1140 mg/L, y coliformes termotolerantes 258.65×10^4 NMP/100 mL. Por lo tanto, se concluye que la calidad del agua de las lagunas de oxidación de Covicorti supera los Límites Máximos Permisibles para aguas residuales domésticas y los Estándares de Calidad Ambiental para uso de riego.

Pérez (2016), en su investigación *“Contaminación de playa de Salaverry por las aguas residuales de las pozas de oxidación, distrito Salaverry-La Libertad”* cuyo objetivo es determinar la contaminación en la playa de Salaverry por las aguas residuales de las pozas de oxidación. Para lo cual, se fijan dos zonas de muestreo una de 200 m a la izquierda del efluente y la otra a 100 m a la derecha, luego se procede al recojo de muestra cada 6 semanas desde julio a diciembre. Los resultados máximos registrados del agua de mar son: 24.93 DBO, 48.74 DQO, 131.7 SS, 24.92 ST; y del efluente de las pozas son: 7.40 DBO, 14.36 DQO, 49.23 SS, 7.89 ST. Por consiguiente, se concluye que el efluente de las pozas de oxidación no supera los Límites Máximos Permisibles para aguas residuales domésticas para efluentes. Y las aguas de mar sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental en la categoría 2 y 4 del DS N° 015-2015 en los siguientes parámetros: DBO, DQO y SST.

En las siguientes líneas se evidencia las bases de nuestra investigación:

Eficacia de un destilador solar

Según Huevo y Morán (2012) sostienen que: Un destilador solar es un equipo que aprovecha la energía solar para limpiar el agua, mediante el proceso de funcionamiento elimina bacterias, microorganismos y muchas impurezas, entre otros. (págs. 173-174). Su purificación se mide mediante la eficacia, el cual es un parámetro muy importante que ayuda a determinar la cantidad de contaminantes que ha disminuido en el producto destilado. Se divide en: remoción de material en suspensión, la remoción de sustancias químicas disueltas y la contaminación biológica (Hermosillo, 1989, Pág. 21).

- **Componentes del destilador solar**

Colector solar: Es una bandeja que está en el interior del destilador; en esta se llena el agua contaminada a tratar, debe poseer las condiciones físicas para captar mejor la radiación del sol, además debe ser de material inoxidable. La bandeja está cubierta por aislante térmico para soportar las condiciones climáticas.

Evaporador: Sucede cuando la superficie del destilador recibe suficiente energía y rompe la tensión superficial; es cuando se produce la evaporación a cualquier temperatura, cuando se encuentre expuesto a mayor cantidad de radiación, el proceso de evaporación será más rápido. La energía solar influye directamente en este proceso.

Cámara de aire: Está ubicado entre el evaporador y la parte superior (cubierta de vidrio). Su función principal de esta zona es trasladar agua al aire y mediante un cambio de temperatura convertirlo en aire saturado, el aire transporta las moléculas de agua.

Condensador o cubierta: Es la parte externa del destilador que se caracteriza por ser transparente (vidrio) para captar mejor los rayos del sol. Esta zona tiene menor temperatura que el resto del destilador; la diferencia de temperaturas entre el evaporador y la cubierta produce la formación de pequeñas gotas de agua (Rojas, 2015, Págs. 34-36).

Hermosillo (1989), explica que la radiación solar es absorbida completamente por la bandeja colectora del destilador solar siempre y cuando tenga color negro mate, lo que se interpreta en un incremento de calor que se transmite al agua (Pág. 15).

- **Tipos de destiladores solares**

- Destilador solar de caseta o de una vertiente**

- Es el modelo de destilador más sencillo, es una caja que tiene en la parte superior un vidrio inclinado llamado cubierta. El equipo consta de las siguientes partes: posee una bandeja colectora dentro del equipo donde se coloca el agua a destilar y fuera del equipo tiene una bandeja para recoger el agua destilada. (Huezo y Moran, 2012, Págs. 21-22).

- Destilador solar de casita o de dos vertientes**

- Este tipo de destilador se encuentra conformado por una cubierta transparente de dos vertientes y una bandeja negra para el almacenamiento del agua a destilar. Este sistema debe encontrarse herméticamente cerrado para evitar fugas de calor, siendo fundamental para la eficiencia de producción (Jiménez, s/f, Pág. 92).

Destilador solar de tipo escalera

Este tipo de destilador nace como versión mejorada ante el destilador tipo caseta para mejorar la producción de destilación. El sistema está conformado por un colector- evaporador, unidas a paneles verticales, que unidos forman una escalera. Tiene como ventaja que la posición inclinada del destilador solar ayude a iniciar rápidamente el proceso de destilación. Una desventaja es que es muy propenso a contaminar el producto de la destilación, por la forma del equipo mismo (Hermosillo, 1989, Pág. 31).

Destilador solar esférico

Los destiladores solares de este tipo tienen la forma esférica que ayuda a generar muy poca sombra, estas esferas pueden ser de tipo plástico o vidrio. Su eficiencia va desde el 50 hasta el 100 %, llegando a producir entre 5 a 7 litros por metro cuadrado por día (García, 1983, Pág. 2587-258).

- **Destilación solar**

La destilación del agua es un proceso simple que usa el calor del sol. Este proceso depende de la cantidad de ondas electromagnéticas que está en contacto con la bandeja del interior del destilador, el cual ayuda al aumento de la temperatura del recipiente, favoreciendo la evaporación. El agua en estado de vapor se eleva por convección y topa con la cubierta del equipo del destilador y se enfría ya que en el exterior la temperatura está más fría, por lo que se condensa formando pequeñas gotas de agua. Las impurezas del agua se quedan en el depósito (Yaqué, 2013, Pág. 162). Complementan Castrillón y Hincapié (2012), que los microorganismos son aniquilados por las elevadas temperaturas que se

originan dentro del equipo solar (Pág. 21), esto se debe a la radiación solar que es absorbido por el dispositivo, este contiene irradiación ultravioleta que se encarga de destruir el ADN de las bacterias evitando su reproducción o inafectación en ambientes cerrados (Cornejo, 2009, Pág. 286). Sin embargo, existe la posibilidad que parte del destilado se contamine con el destilando lo que genera que el producto tenga algunos contaminantes (Hermosillo, 1989, Págs. 26-27). (Ver anexo 32_ Tipos de destiladores solares).

- **Factores que influyen en la destilación**

Los destiladores solares son dispositivos que captan la radiación solar y que funcionan como ciclo térmico generando el fenómeno natural de la evaporación y condensación, este proceso da como producto agua destilada que es un líquido puro libre de impurezas y agentes contaminantes por lo que puede ser reutilizada para consumo u otros fines. El proceso de destilación solar se ve influenciada por los siguientes factores como el calor del sol, el viento, la temperatura dentro y fuera del destilado (Mamani, 2012, Págs. 13-14).

Asimismo, explica Cuervo y Méndez (2008), que los factores ambientales, el ángulo respecto al plano horizontal y el área que posee la superficie transparente influye en la cantidad de radiación que recibe la parte externa del cuerpo que lo limita (Pág. 36), además durante este proceso puede ocurrir tres cosas (absorción, reflexión y transparencia) donde se puede ganar o perder calor (Pág. 49).

Radiación Solar

El sol emite energía que es de relevancia en la sociedad por ser una energía limpia inagotable que puede ser aprovechada en diferentes actividades humanas. La energía solar que se recibe es abundante, pero se pierde por las sombras, los reflejos, la suciedad en los captadores, etc.; estos factores disminuyen la potencia utilizable (Entrena, 2013, Pág. 199).

La radiación solar alcanza la superficie terrestre y comprende los $0.2\mu\text{m}$ y los $4\mu\text{m}$, siendo muy fundamental para el desarrollo de la vida. Tiene como componentes a la radiación visible, la radiación fotosintéticamente activa y la radiación ultravioleta (Barbero, Batlles, López, Pérez, Rodrigo y Rubio, 1998, Págs. 36-37).

- **Tipos de destilación**

Destilación simple

Es una destilación sencilla donde los vapores producidos pasan por un sistema de refrigeración y se condensan obteniéndose así un líquido destilado. Asimismo, mediante esta técnica se pueden separar dos mezclas de elementos que tengan diferentes puntos de ebullición de 60°C a 80°C . Sin embargo, este método no es confiable (Lamarque, Zigadlo, Labuckas, López, Torres y Maestri, 2008, Págs. 30-31).

Destilación fraccionada

Es una destilación donde los vapores formados ascienden por una columna fraccionada vertical que trabaja en forma adiabática (donde la columna está cubierta con un aislante térmico), luego los vapores pasan por un refrigerante donde se condensan y finalmente se recolecta el líquido destilado. Se puede decir que este proceso es la combinación de muchas destilaciones simples por eso resulta ser un método más eficaz para separar la mezcla de dos componentes (Lamarque et al., 2008, Pág. 31).

Destilación por arrastre con vapor de agua

En este tipo de destilación permite separar sustancias orgánicas o volátiles, es decir, el vapor de agua pasa por una cámara donde se encuentra el componente volátil a extraer y llega al sistema de refrigeración donde se condensa y seguidamente se recolecta el componente extraído y el líquido destilado (Lamarque et al., 2008, Pág. 31).

Calidad de agua residual

La calidad de un cuerpo acuático se mide a través de las concentraciones orgánicas e inorgánicas; asimismo, esta puede verse afectada por ciertos factores externos e internos (Sierra, 2011, Pág.47). La calidad de un cuerpo de agua se mide a través de sus parámetros físicos, químicos y biológicos de manera continua o discreta antes de aplicarse algún tipo de tratamiento (Rigola, 1990, Pág. 27). Asimismo, las propiedades que tiene el agua en un determinado momento, pueden presentar variaciones en el tiempo debido a los factores externos (Sierra, 2011, Pág. 47).

A continuación, se detalla las características más importantes:

- **Características físicas**

Temperatura

La temperatura es el grado térmico que posee un determinado cuerpo, cuando aumenta o disminuye afecta directamente en la solubilidad de gases y acondiciona el pH (Martín et al., 2009, Pág. 33).

Sólidos totales en suspensión

Es un parámetro que se encarga de determinar la porción de sólidos que tiene el agua después de 10 minutos de reposo, su valor se encuentra expresado en ppm (Concepción, 2008, S/P).

Para calcular este parámetro se utilizó la fórmula de sólidos totales suspendidos obtenida de libro Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2012).

$$mg \text{ Sólidos Totales en Suspensión/L} = \frac{(A - B) \times 10^6}{V_{muestra}} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Donde:

SST: Sólidos Suspendidos totales, en mg/L

A: Peso del filtro + residuo seco, mg

B: Peso del filtro, mg

V = Volumen de Muestra, mL

- **Características químicas**

pH

Mide la alcalinidad y la acidez del agua dependiendo de su clasificación en la que esta se encuentre (Sierra, 2011, Pág. 59). Si posee

un pH >7,5 (Agua básica), pH comprendido entre 6,5 y 7,5 (Agua neutra),
pH <6,5 (Agua ácida) (Aguilar, 2013, S/P).

Aceites y grasas

Estos modifican la calidad del agua originando películas que no permiten la transferencia del oxígeno atmosférico. Y como consecuencia se origina que vaya disminuyendo la eficiencia ante la aplicación de tratamientos de aguas (Sierra, 2011, Pág. 84).

Las grasas y aceites de tipo fijo se descomponen fácilmente con el calor, pero no se volatilizan a temperaturas normales, un ejemplo claro son las glicerinas que necesitan estar a los 600°C para cambiar de estado de fase (Livingston, 1879, Pág. 380).

Para determinar este parámetro se utilizó la fórmula de aceites y grasas obtenida de libro Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2012).

$$AyG = \frac{(A - B) \times 10^6}{V} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

AG: Aceites y grasas, en mg/L

A: Peso final del vaso de precipitación

B: Peso inicial del vaso de precipitación

V: Volumen de muestra utilizada en mL.

Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)

Es empleado para determinar la medida de oxígeno que hay presente en el agua para oxidar los compuestos orgánicos. Se analiza en laboratorio mediante bioensayos para medir el oxígeno que

microorganismos necesitan, en donde se emplea una temperatura controlada de 20°C por un tiempo de 5 días (Félix, Gutiérrez y Lemos, 2010, Pág. 85).

Los altos niveles de demanda de oxígeno que necesitan las bacterias aeróbicas para desaparecer el material biodegradable son perjudiciales, puesto que al eliminar el oxígeno de manera total en el agua dan inicio al proceso de descomposición anaeróbica que genera olores desagradables (Brown, LeMay, Bursten y Murphy, 2009, Pág. 786). Para calcular este parámetro se utilizó la fórmula de DBO obtenida de libro Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2012).

$$DBO_5mg = \frac{ODi - Odf}{P} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

DBO: Demanda Bioquímica de Oxígeno

ODI: Oxígeno disuelto inicial

ODF: Oxígeno disuelto final

P: Fracción residual decimal de la muestra de agua residual usada

Demanda química de oxígeno (DQO)

Mide el oxígeno que se consume por las reacciones químicas que posee un agua residual. La reacción de oxidar la materia orgánica es de un 95% y 99% expresada en mg O₂/L (Ojeda, 2014, S/P). Para determinar este parámetro se utilizó la fórmula de DQO obtenida de libro Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2012).

$$A = m \times C$$

Ecuación (4)

Donde:

A= absorbancia

M= pendiente

C= concentración

$$DQO \text{ mg } O_2/L = \frac{A - b}{m}$$

Ecuación (5)

Donde:

DQO: Demanda Química de Oxígeno

ODI: Oxígeno disuelto inicial

ODF: Oxígeno disuelto final

P: Fracción residual decimal de la muestra de agua residual

- **Características microbiológicas**

- **Coliformes termotolerantes**

Son organismos que se encuentran en las fuentes de materia fecal, este se considera como un indicador para encontrar la cantidad de agentes extraños en un líquido. Incluyen los géneros *Escherichia* y *Klebsiella* (Buitrón, Cervantes, García, y López, 2017, Pág. 254). Asimismo, son considerados microorganismos aeróbicos que tienen gran capacidad de supervivencia (Lozano y Lozano, 2015, S/P), y se reproducen rápidamente en aguas con alto contenido de materia orgánica y temperaturas altas (Buitrón et al., 2017, Pág. 254). Para hallar la cantidad de coliformes termotolerantes se empleó la técnica el Número Más Probable (NPM) para

coliformes termotolerantes obtenida de libro Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2012).

$$\frac{NMP}{100ml} = \frac{n^{\circ} \text{ de tubos positivos} \times 100}{\sqrt{(\text{mL de muestra en tubos negativos} \times \text{mL de muestra en todos los tubos})}} \quad \text{Ecuación (6)}$$

- **Tipos de aguas residuales**

Agua residual urbana

Se caracterizan por contener materias minerales, sedimentos, flotantes, coloidales y microorganismos consideradas impurezas en el agua residual urbana, lo cual provoca fermentaciones y cambios en la calidad del agua (Martín et al., 2009, Pág. 29).

Agua residual industrial

Son producidas por las actividades industriales que son vertidas tras finalizar los procesos a cuerpos de aguas superficiales, causando un impacto negativo y perjudicial (Martín et al., 2009, Pág. 28).

- **Eficacia de remoción**

Es un indicador que permite cuantificar la cantidad de contaminantes que ha disminuido en el producto destilado. Se divide en: remoción de material en suspensión, la remoción de sustancias químicas disueltas y la contaminación biológica (Hermosillo, 1989, Pág. 21).

Para calcular la eficacia de remoción de materia orgánica, se realiza un proceso de biodegradación en un sistema aeróbico o anaeróbico para la depuración de aguas residuales. Además, esta se determina como la

cantidad de sustancia orgánica que queda en el interior del biodigestor, mediante este tratamiento el agua de salida disminuye su carga orgánica (Reina, 2015, Pág. 52).

$$\% \text{ de remoción} = \left(\frac{S_0 - S}{S_0} \right) \times 100 \quad \text{Ecuación (7)}$$

- **Estándares de calidad ambiental (ECA)**

Miden las concentraciones que están en el ambiente, asimismo establecen ciertos valores para el riego de vegetales y la bebida de los animales los cuales se tienen que cumplir para evitar cualquier tipo de contaminación. (Ver anexo 3_ Estándares de calidad ambiental (ECA) para riego de vegetales y bebidas de animales)

- **Límites Máximos Permisibles (LMP)**

Cuantifican la cantidad de agentes físicos, químicos y biológicos que posee un efluente de agua residual que al exceder provocan daños a la salud humana y al ambiente (Ministerio del ambiente, 2010, Pág. 3). (Ver anexo 4_ Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales).

Marco Legal

- **Decreto supremo N° 003-2010-MINAM. Artículo 1°.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR).** Establece los parámetros que se deben evaluar en un efluente de agua residual de una PTAR los cuáles son

7: aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO, DQO, pH, sólidos totales en suspensión y temperatura.

- **Protocolo De Monitoreo De La Calidad De Los Efluentes De Las Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales Domésticas O Municipales.** Esta norma establece los pasos para realizar un muestreo del efluente de una planta de tratamiento de agua residual domestica; como: la toma de muestras de agua residual, preservación, etiquetado, rotulado y transporte de la muestra. También, informa los instrumentos que se utiliza para recolección de datos como: la etiqueta para muestras de agua residual y la cadena de custodia para la recolección de datos.
- **Decreto Supremo N° 004 -20117-MINAM. Aprueban estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias.**
 - **Artículo 1. Objeto de la norma.** Establece las categorías de los estándares de calidad ambiental para agua.

Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Agua para riego restringido. Son aquellas aguas que de acuerdo a su calidad se utilizan para el riego de cultivos de alimentos que se consumen cocidos como: habas; cultivos de tallo alto donde el agua no está en contacto con el fruto (Ejemplo: árboles frutales), también en cultivos industriales no comestibles y cultivos forestales.

- **Ley N° 28611 ley general del ambiente. Artículo 11.- De los lineamientos ambientales básicos de las políticas públicas Sin perjuicio del contenido específico de la Política Nacional del Ambiente, el diseño y aplicación de las políticas públicas consideran los siguientes lineamientos.** Indica que se

debe desarrollar tecnologías limpias como solución a los daños ambientales asimismo como prevención.

- **Artículo 121°.** - **Del vertimiento de aguas residuales**, en base a la capacidad de autodepuración de las aguas residuales se establece los ECAS para evitar su deterioro, que las empresas deben cumplir para lograr obtener la autorización de vertimiento.
- **Ley de recursos hídricos ley N° 29338. Artículo III.- Principios. Indica que el agua es un recurso muy valioso en todos los ámbitos: culturales, económicos, sociales y ambientales que forma parte del ciclo hidrológico.**
- **Artículo 79°.** - **Vertimiento de agua residual.** Se manifiesta que el ente encargado de autorizar vertimientos de efluentes tratados es la Autoridad Nacional del Agua teniendo en cuenta los ECAS Y LMP. En caso de que cause algún impacto negativo sobre el cuerpo receptor el ente tomará acciones de corrección.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la eficacia del destilador solar de una vertiente para mejorar la calidad de las aguas residuales del afluente de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de Covicorti y Salaverry de la provincia de Trujillo?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Evaluar la eficacia del destilador solar de una vertiente para mejorar la calidad de las aguas residuales del afluente de las PTARs de Covicorti y Salaverry de la provincia de Trujillo.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar y construir el destilador solar de una vertiente para mejorar la calidad de las aguas residuales del afluente de las PTARs de Covicorti y Salaverry de la provincia de Trujillo.
- Caracterizar física, química y microbiológicamente las aguas residuales de la PTAR de Covicorti y Salaverry antes y después del tratamiento.
- Determinar los porcentajes de remoción de los contaminantes del agua tratada de Salaverry y Covicorti.
- Comparar las aguas tratadas con la normativa peruana vigente: Estándares de calidad ambiental (ECA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP)

1.4. Hipótesis

H₀: La eficacia del destilador solar no es significativa para mejorar la calidad de las aguas residuales del afluente de las PTARs de Covicorti y Salaverry de la provincia de Trujillo.

H₁: La eficacia del destilador solar es significativa para mejorar la calidad de las aguas residuales del afluente de las PTARs de Covicorti y Salaverry de la provincia de Trujillo.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

Según Hernández y Baptista (2014), indica que la investigación es experimental porque se analiza los efectos que causa la manipulación de la variable independiente (Eficacia de destilador solar) sobre la dependiente (calidad de agua residual). Es de tipo pre experimental, puesto que, se centra en determinar la eficacia de remoción en la variable dependiente tras el tratamiento aplicado (Pág. 141).

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

- **Población:** Agua residual de las Plantas de Tratamiento de la provincia de Trujillo.
- **Muestra:** 1 litro de agua residual de la Planta de Tratamiento de Salaverry y Covicorti de la provincia de la provincia de Trujillo.

2.2. Técnicas e instrumentos para la recolección de datos

2.3.1. Recolección de datos para la muestra

Para la recolección de la muestra se tuvo en cuenta la ubicación de los puntos de muestreo, la identificación y accesibilidad al lugar para evitar futuros inconvenientes en el proceso de la investigación. Los análisis de las se realizan de dos formas in-situ y ex-situ. Con respecto a la parte in-situ se realiza en el lugar de recojo de las muestras teniendo en consideración algunos aspectos del Protocolo de Monitoreo para efluentes de aguas residuales. Y la parte ex situ se realiza en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte.

Identificación

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2013), establece que los puntos de monitoreo deben ser claramente reconocidos, de manera que se permita ver su ubicación exacta con la ayuda del Sistema de Posicionamiento (GPS), el cual se registra en coordenadas UTM (Pág. 6). Se identificaron las principales Plantas de Tratamiento de agua residual en la ciudad de Trujillo mediante un reconocimiento de la zona, luego se procedió a ubicar los lugares seleccionados para la investigación en el Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS) mediante el registro de las coordenadas UTM del lugar utilizando el programa Google Earth Pro. En este caso es necesario tener en consideración las siguientes características: tipo de agua residual, punto de recojo fácil de establecer y accesibilidad al lugar y permiso para ingresar. Con referencia a lo mencionado anteriormente se estableció utilizar las aguas residuales de las PTARs de Salaverry y Covicorti.

Accesibilidad

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2013), indica que el lugar de muestreo debe ser de fácil acceso y seguro para evitar interferencias (Pág. 7). El punto de muestreo debe estar en un lugar de fácil acceso peatonal y vehicular, de tal manera que permita transportar los equipos y materiales para la obtención de la muestra

Localización

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2013), expresa que el punto de muestreo debe estar ubicado en una zona donde exista mayor mezcla (Pág. 7). El punto de recojo de la muestra de la PTAR de Salaverry se ubica 721422.48m E y 9093036.69 m N (Ver anexo 5_Georeferenciación del punto de monitoreo del afluente de la PTAR de Salaverry) y de la PTAR de Covicorti tiene las siguientes coordenadas: 714850.14 E y 9101707.37 N (Ver anexo 5_Georeferenciación del punto de monitoreo del afluente de la PTAR de Covicorti)

2.3.2. Técnicas de recolección de datos

Para la ejecución del presente proyecto de investigación se utilizarán las siguientes técnicas de recolección de datos:

Observación directa

Los tipos de observación directa que se emplean son dos: la observación directa cualitativa y la observación directa cuantitativa. En la observación cualitativa se toma fotografías de ambas variables que se utilizan en esta investigación: la variable independiente (eficacia de un destilador solar) y la variable dependiente (tratamiento de agua residual). Donde se analiza todo el proceso antes y después del tratamiento. Mientras que la observación directa cuantitativa permite conocer la cantidad de muestras utilizadas durante todo el desarrollo, asimismo ayuda identificar los valores de sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos antes y después de la destilación.

Etiquetas de muestreo

El etiquetado es muy importante porque registra datos de la toma de la muestra para evitar confusiones o errores durante el análisis en laboratorio. Esta debe estar correctamente rotulada y adherida al envase de la muestra (Ver anexo 10_ Etiqueta de muestras) (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2013, Pág. 10-11)

Cadena de Custodia

Esta técnica ha sido seleccionada porque permite profundizar el conocimiento del comportamiento exploratorio mediante la obtención de datos estadísticos de los análisis físicos, químicos y biológicos de las muestras, tales como: temperatura, SST, pH, DBO, DQO y Coliformes termotolerantes. El instrumento que permitirá la realización de esta técnica es la cadena de custodia. Esta ficha ayuda a tener un proceso ordenado en el registro de la información de las muestras recogidas (Ver anexo 11_ Cadena de custodia) (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2013, Pág. 11)

2.4. Procedimientos

2.3.3. Procedimiento para el diseño del destilador

Se realizó una investigación sistemática de trabajos elaborados anteriormente por otros autores, teniendo en cuenta las dos variables: Eficacia del destilador solar y calidad del agua residual. Posteriormente, se eligió el tipo de destilador solar de acuerdo a los costos, fácil de elaboración y que sea eficiente en la remoción de contaminantes. Teniendo el modelo se

procedió a establecer las dimensiones del prototipo para así poder trazar las vistas en el AutoCAD.

2.3.4. Procedimiento para la construcción del destilador

Para la construcción y montaje del prototipo se realizó el costeo y compra de materiales. Luego se procedió a la construcción del destilador solar:

Primero se trazó las dimensiones del dispositivo teniendo en cuenta el diseño en AutoCAD, luego se procedió a cortar las láminas de acero inoxidable y a armar la estructura base del destilador, después se pintó el destilador de color negro para atraer el calor y mejorar el proceso de destilación. En el interior de la parte frontal del prototipo se colocó una pieza de vidrio de 5 cm de ancho x 60 cm de largo para formar la canaleta que recibirá el agua tratada. Seguidamente se perforó dos agujeros, uno al costado de la canaleta para el recojo de agua tratada y otra en la parte posterior del destilador para ingresar el agua residual. Luego se colocó la luna de vidrio inclinada en la parte superior del destilador utilizando silicona para asegurarlo, después se pegó los tubos de media con las llaves de control en la parte posterior del destilador. Finalmente se colocó la manguera transparente que conduce el agua tratada al recipiente y para asegurarse que quede herméticamente cerrado se utilizó soldimix para sellar alguna ranura que haya quedado y evitar futuras fugas. (Ver anexo 8_ Procedimiento para la construcción del destilador solar).



Figura 1. Destiladores solares

2.3.5. Procedimiento para el análisis de agua residual y tratada

- **Determinación de temperatura**

Primero se ubicó los puntos de monitoreo en el ingreso del agua residual cruda a la PTAR. Segundo se procedió a medir la temperatura de la muestra con un termómetro porque este parámetro se analiza de manera in situ (Ver anexo 14_ Determinación de la temperatura).

- **Determinación de pH**

Primero se calibró el equipo de pH- metro, luego se colocó 150 mL de muestra en un vaso de precipitación de 250 mL, seguido se introdujo la sonda de pH para dar lectura, y se espera el resultado. Finalmente se registraron 3 valores medidos para tener más veracidad de datos de pH (Ver anexo 15_ Procedimiento para la determinación de pH).

- **Determinación de sólidos totales en suspensión**

Se cortó círculos de papel filtro, después se pesó en la balanza analítica (peso inicial), en seguida se colocó en la bomba al vacío. Luego se filtró 150 mL de muestra, y se procedió a sacar papel filtro; se retiró con una pinza y se colocó en un crisol para ser secado en cocina eléctrica. Por último, se pesó el papel filtro. Con los datos obtenidos se calculó la cantidad de sólidos totales suspendidos en la muestra por mg/L. (Ver anexo 16_Procedimiento para la determinación de sólidos totales en suspensión)

- **Determinación de la Demanda química de oxígeno (DQO)**

Para determinar la demanda química de oxígeno se utilizó 2.5 ml de muestra y se vertió a un tubo de digestión, se agregó 1.5 mL de solución digestora más 3.5 mL de solución de ácido sulfúrico y se procedió a mezclar completamente. Luego, los tubos son llevados al termoreactor a una temperatura de 150°C durante dos horas. Finalmente, se realizó la lectura de la muestra en el colorímetro y los resultados obtenidos es de mg/L de demanda de oxígeno. (Ver anexo 17_ Procedimiento para determinar la demanda química de oxígeno)

- **Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**

Primero se midió 90 mL de muestra en una probeta y se agregó a la botella ámbar de 500 mL, luego se adicionó un 1 sobre de Búfer de nutrientes y una pastilla de agitación. Seguidamente se tapó y en la tapa se colocó 3 pastillas pellets y se llevó a la incubadora por 5 días. Después de

5 días se realizó la lectura del resultado. (Ver anexo 18_Procedimiento para la determinación de la demanda biológica de oxígeno)

- **Determinación de aceites y grasas**

Para determinar aceites y grasas primero se midió 20 mL de muestra y 10 mL de bencina en unas probetas de 25 mL, después, se colocó la muestra y la bencina en una pera de decantación y se movió las peras de decantación por un tiempo de 10 minutos para mezclar bien las sustancias. Seguidamente se dejó reposar las peras de decantación hasta lograr que se formen dos fases. Segundo se pesó el peso inicial del vaso de precipitación de 20 mL en la balanza analítica después se agregó la grasa de la pera de decantación y se llevó a baño María. Finalmente se pesó el peso final del vaso de precipitación. Con los datos obtenidos se calculó la cantidad de aceites y grasas en la muestra por mg/L. (Ver anexo 19_ Procedimiento para la determinación de aceites y grasas)

- **Determinación de Coliformes termotolerantes.**

Primeramente, se procedió a esterilizar las pipetas en el esterilizador de calor seco. Segundo se pesó el medio EC y se agregó a un matraz de 250 mL, se adicionó agua destilada para aforar. Luego se añadió 9 mL de cultivo a cada tubo de ensayo (15 tubos de ensayo). Después, se llevó los tubos de ensayo a la autoclave hasta una temperatura de 121°C. Luego se realizó se aforó los tubos de ensayo con las diluciones respectivas de muestra. Finalmente, se llevó a baño María por 24 horas. Pasado las 24 horas se contabiliza el número de tubos positivos y negativo en las hileras. Los resultados se obtuvieron por el método del Numero Más Probable

(NMP). (Ver anexo 20_ Procedimiento para a determinación de coliformes termotolerantes).

2.5. Procesamiento de datos

Para evaluar la eficacia del destilador solar de una vertiente en el tratamiento de aguas residuales de las PTAR de Covicorti y Salaverry de la provincia de Trujillo, se aplicó la prueba de t-Student para grupos relacionados (mediciones antes - después) con un nivel de confianza del 95% a través del programa estadístico IBM-SPSS (Statistical Package for Social Science) versión 25.0.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Diseño y construcción del destilador solar de una vertiente

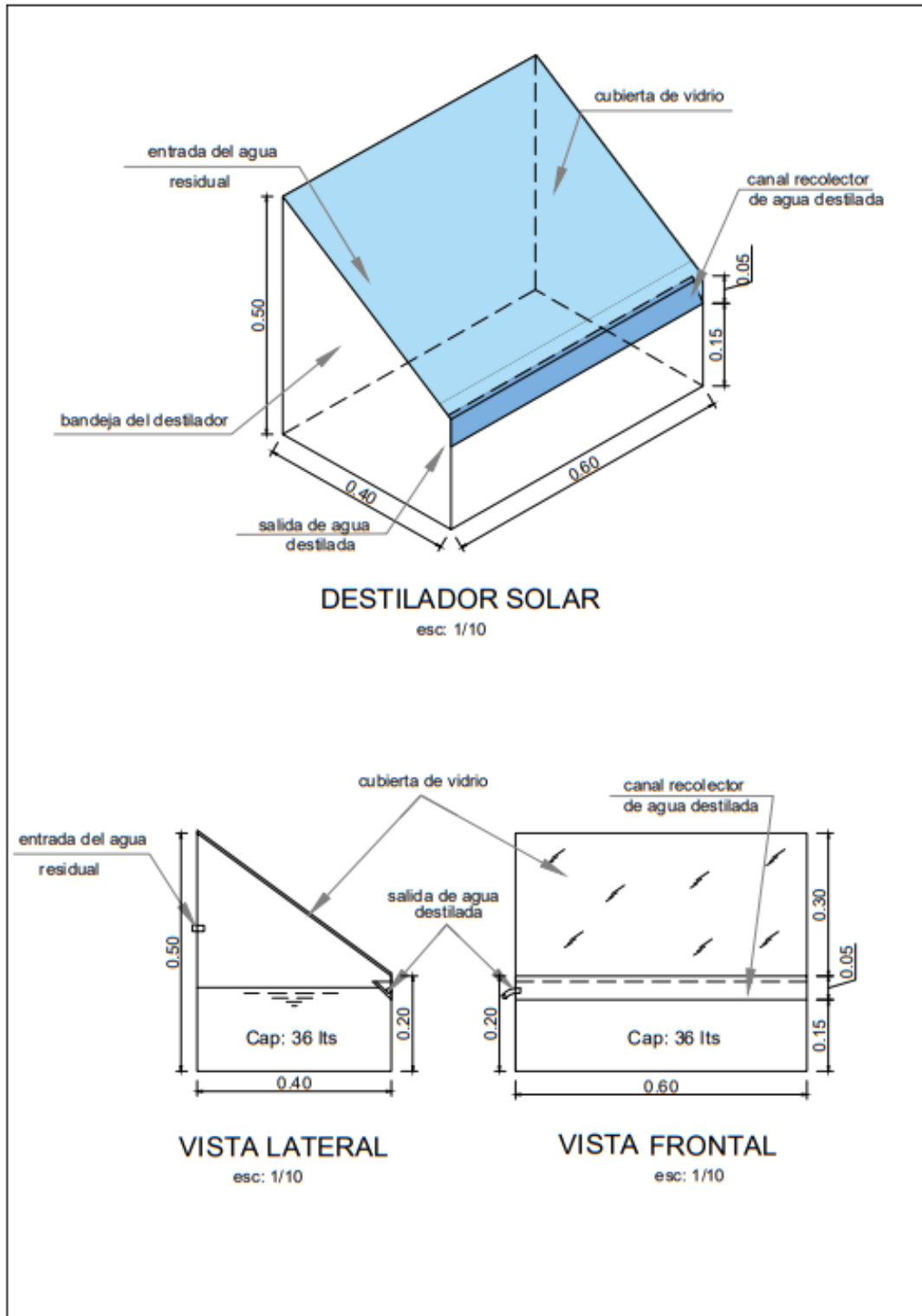


Figura 2. Diseño del destilador solar de una vertiente

3.2. Características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales del afluente de la PTAR de Salaverry

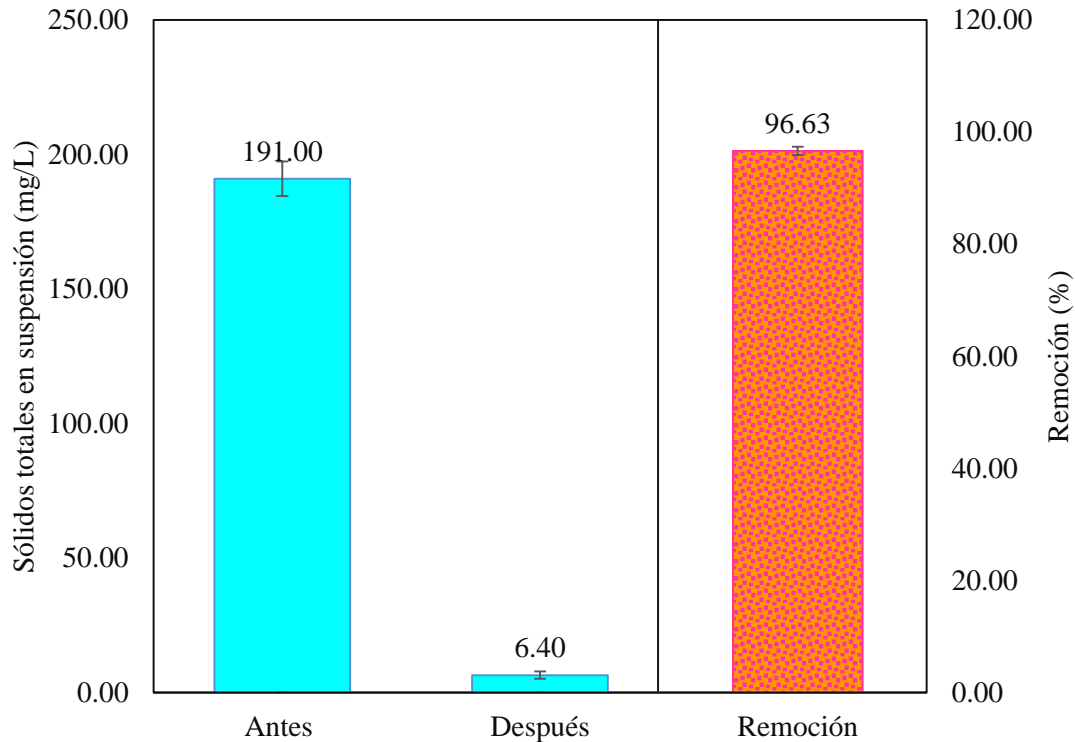


Figura 3. Sólidos totales en suspensión de la muestra de la PTAR de Salaverry

Tabla 1

Sólidos totales en suspensión de la muestra de la PTAR de Salaverry

Medición	Diferencias emparejadas		t	Grados de libertad	p	
	Media	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
		Inferior				Superior
Antes - Después	184.60	157.20	212.00	17.32	5 0.00001	

Nota. Se observa que los sólidos totales en suspensión antes del tratamiento de aguas residuales fue de 191.00 mg/L, posterior al uso del destilador solar de una vertiente los sólidos disminuyeron a 6.40 mg/L, generando una remoción del 96.63%; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 184.60 mg/L entre ambas mediciones (antes - después).

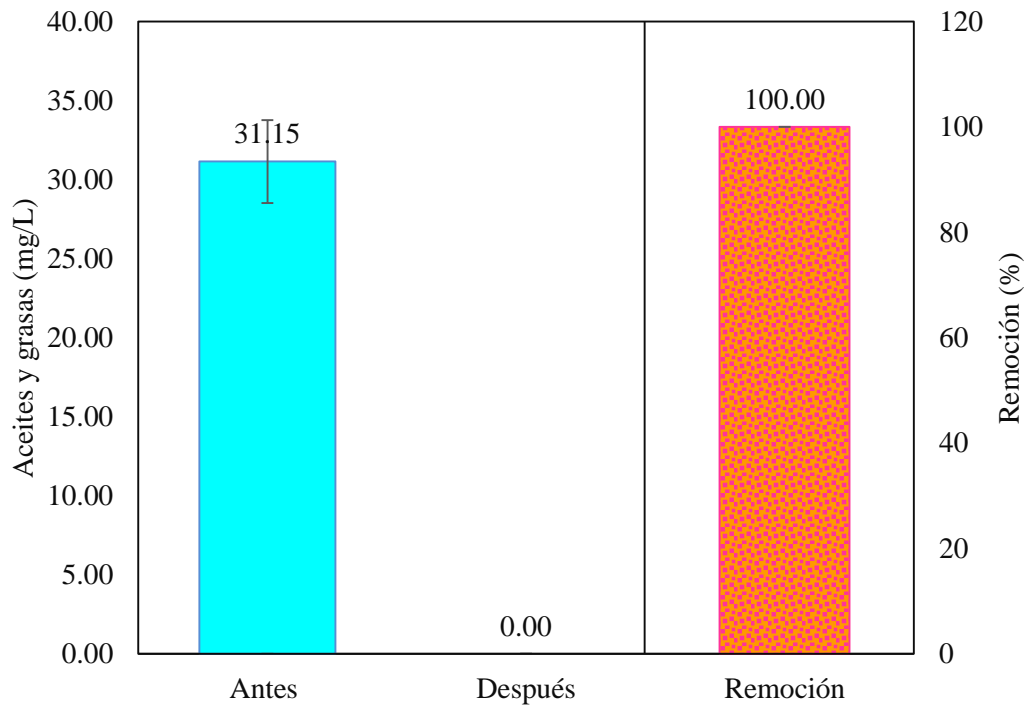


Figura 4. Aceites y grasas de la muestra de la PTAR de Salaverry

Tabla 2

Aceites y grasas de la muestra de la PTAR de Salaverry

Medición	Diferencias emparejadas		t	Grados de libertad	p
	Media	95% de intervalo de confianza de la diferencia			
		Inferior			
Antes - Después	31.15	28.39	33.91	29.06	5 0.000001

Nota. Se observa que el contenido de aceites y grasas antes del tratamiento de aguas residuales fue de 31.15 mg/L, posterior al uso del destilador solar de una vertiente el contenido disminuyó a 0.00 mg/L, generando una remoción del 100%; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 31.15 mg/L entre ambas mediciones (antes - después).

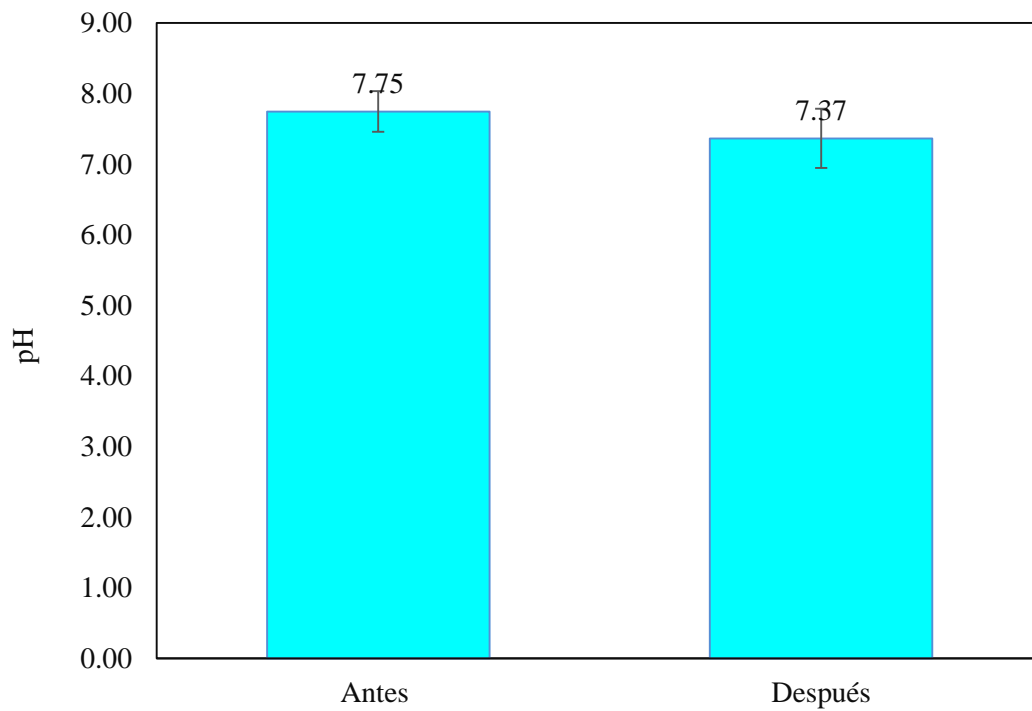


Figura 5. pH de la muestra de la PTAR de Salaverry

Tabla 3

pH de la muestra de la PTAR de Salaverry

Medición	Diferencias emparejadas			t	Grados de libertad	p
	Media	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
		Inferior	Superior			
Antes - Después	0.38	0.24	0.52	7.06	5	0.001

Nota. Se observa que el pH antes del tratamiento de aguas residuales fue de 7.75, posterior al uso del destilador solar de una vertiente el pH fue de 7.37; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 0.38 entre ambas mediciones (antes - después).

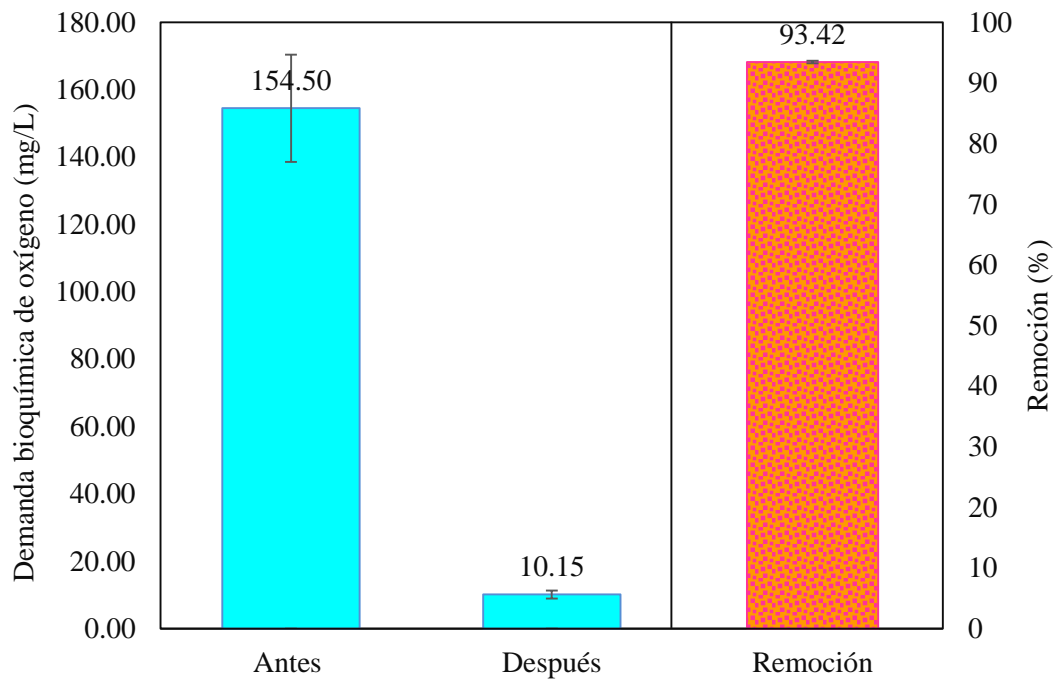


Figura 6. Demanda bioquímica de oxígeno de la muestra de la PTAR de Salaverry

Tabla 4

Demanda bioquímica de oxígeno de la muestra de la PTAR de Salaverry

Medición	Diferencias emparejadas		t	Grados de libertad	p	
	Media	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
		Inferior				Superior
Antes - Después	144.35	128.61	160.09	23.57	5 0.000003	

Nota. Se observa que DBO antes del tratamiento de aguas residuales fue de 154.50 mg/L, posterior al uso del destilador solar de una vertiente el contenido disminuyó a 10.15 mg/L, generando una remoción del 93.42%; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 144.35 mg/L entre ambas mediciones (antes - después).

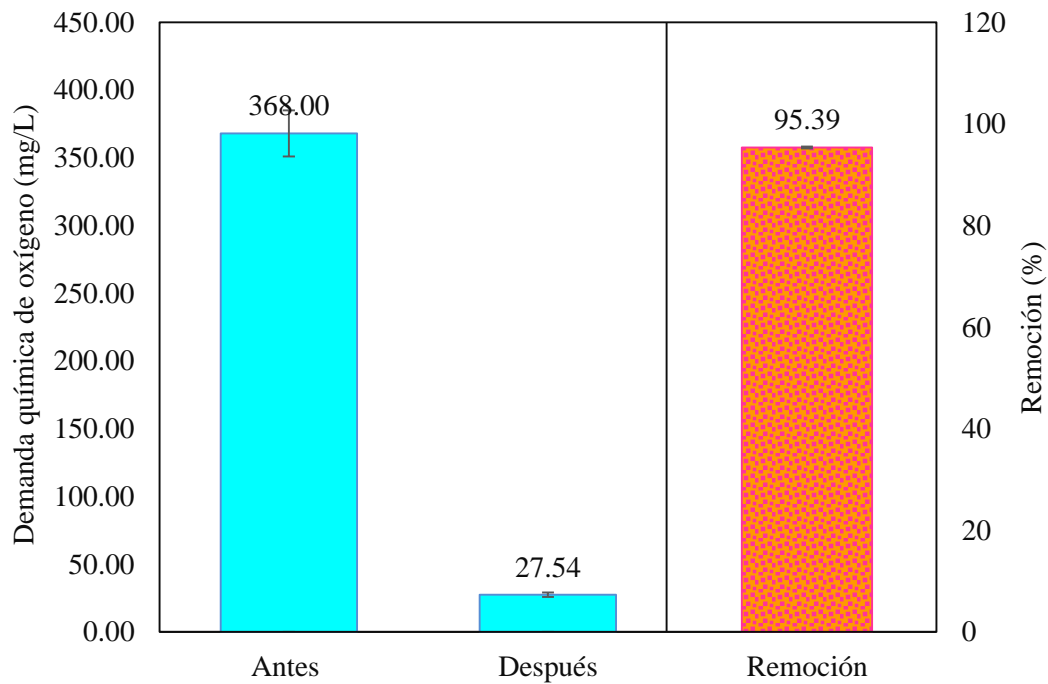


Figura 7. Demanda química de oxígeno de la muestra de la PTAR de Salaverry

Tabla 5

Demanda química de oxígeno de la muestra de la PTAR de Salaverry

Medición	Diferencias emparejadas		t	Grados de libertad	p	
	Media	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
		Inferior				Superior
Antes - Después	351.00	323.72	378.28	33.07	5 0.0000005	

Nota. Se observa que DQO antes del tratamiento de aguas residuales fue de 368.00 mg/L, posterior al uso del destilador solar de una vertiente el contenido disminuyó a 27.54 mg/L, generando una remoción del 95.39%; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 351.00 mg/L entre ambas mediciones (antes - después).

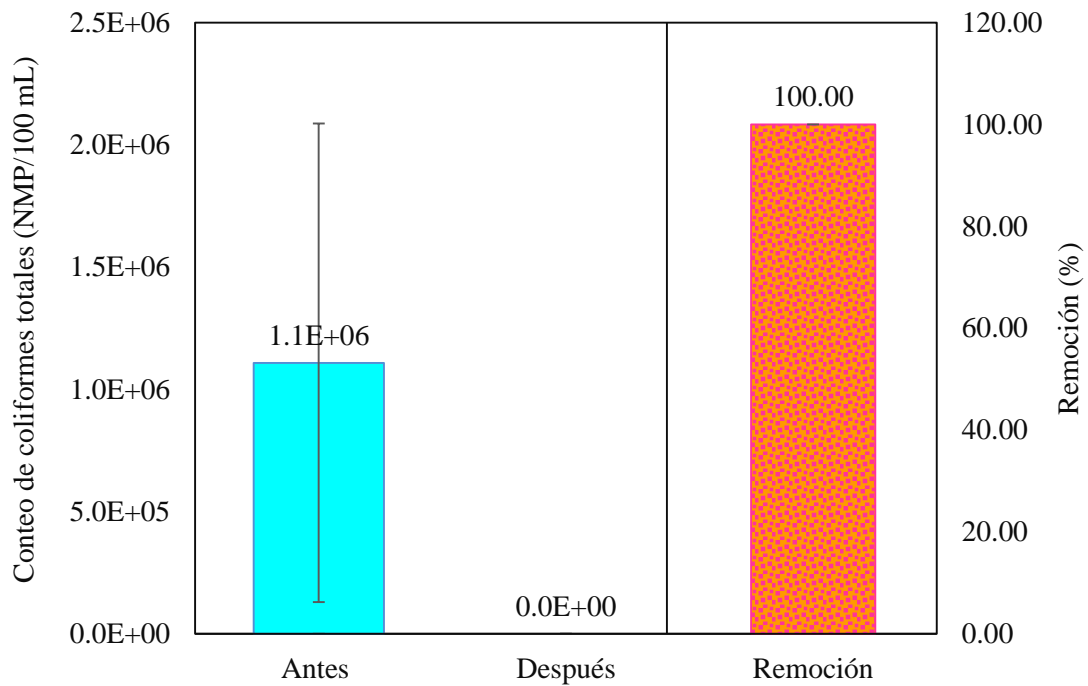


Figura 8. Coliformes termotolerantes de la muestra de la PTAR de Salaverry

Tabla 6

Coliformes termotolerantes de la muestra de la PTAR de Salaverry

Medición	Diferencias emparejadas			t	Grados de libertad	p
	Media	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
		Inferior	Superior			
Antes - Después	1.1E+06	8.1E+04	2.1E+06	2.77	5	0.039

Nota. Se observa que CCT antes del tratamiento de aguas residuales fue de 1.1E+06 NMP/100 mL, posterior al uso del destilador solar de una vertiente el contenido disminuyó a 0 NMP/100 mL, generando una remoción del 100%; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 1.1E+06 NMP/100 mL entre ambas mediciones (antes - después).

3.3. Características físicas, químicas y microbiológicas de las aguas residuales del afluente de la PTAR de Covicorti.

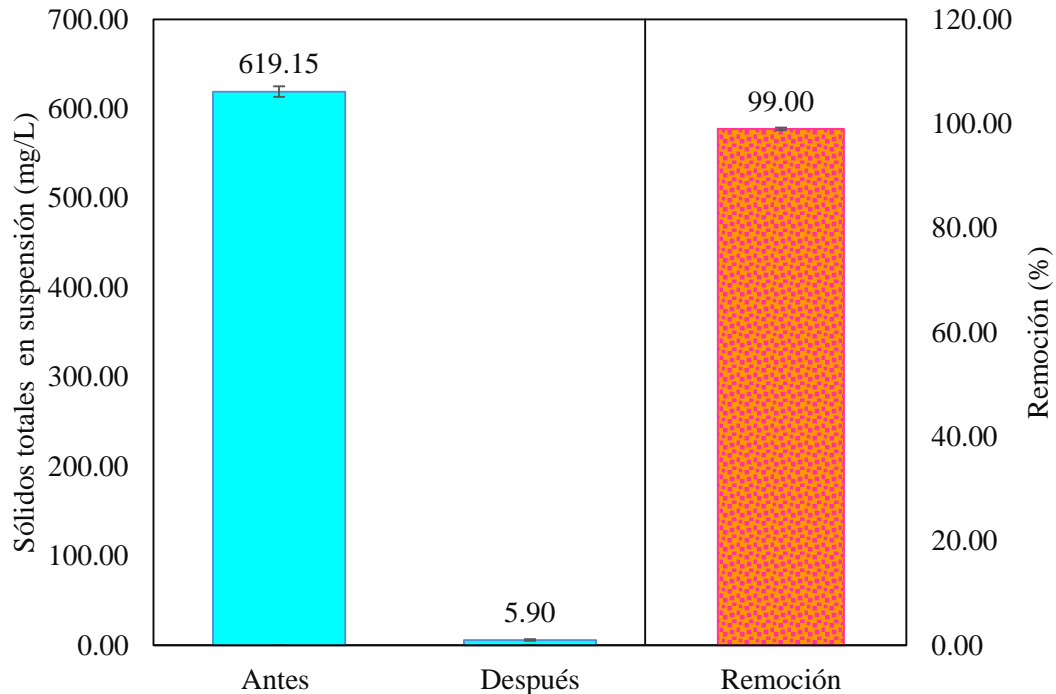


Figura 9. Sólidos totales en suspensión de la muestra de la PTAR de Covicorti

Tabla 7

Sólidos totales en suspensión de la muestra de la PTAR de Covicorti

Medición	Diferencias emparejadas			t	Grados de libertad	p
	Media	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
		Inferior	Superior			
Antes - Después	613.25	418.67	807.83	8.10	5	0.0005

Nota. Se observa que los sólidos totales en suspensión antes del tratamiento de aguas residuales fue de 619.15 mg/L, posterior al uso del destilador solar de una vertiente los sólidos disminuyeron a 5.90 mg/L, generando una remoción del 99.00%; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 613.25 mg/L entre ambas mediciones (antes - después).

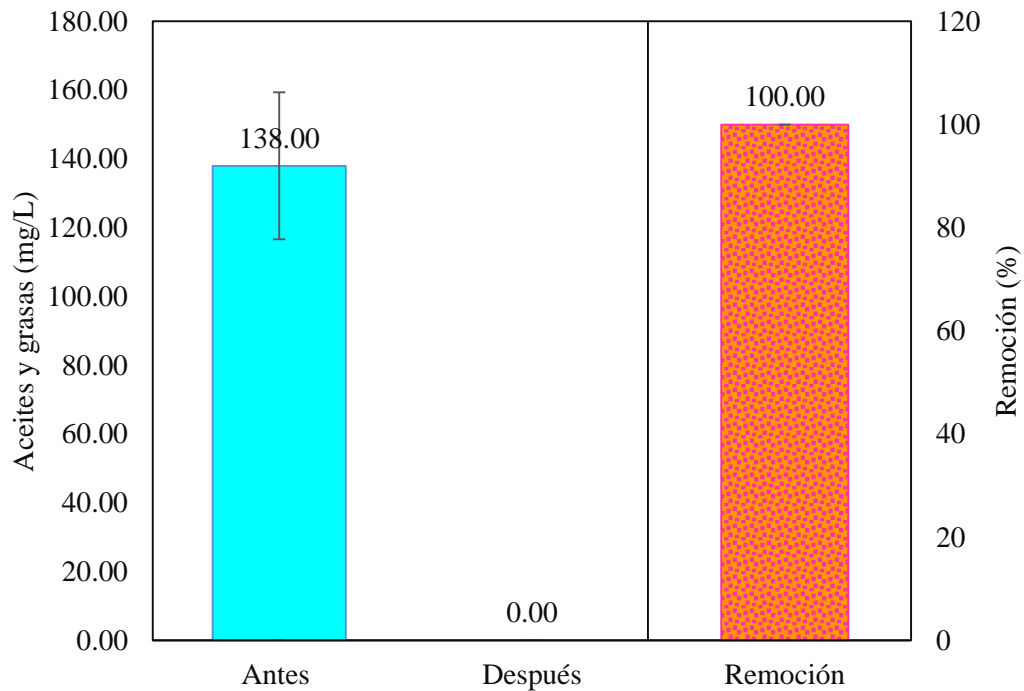


Figura 10. Aceites y grasas de la muestra de la PTAR de Covicorti

Tabla 8

Aceites y grasas de la muestra de la PTAR de Covicorti

Medición	Diferencias emparejadas			t	Grados de libertad	p
	Media	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
		Inferior	Superior			
Antes - Después	138.00	115.60	160.40	15.84	5	0.00002

Nota. Se observa que el contenido de aceites y grasas antes del tratamiento de aguas residuales fue de 138.00 mg/L, posterior al uso del destilador solar de una vertiente el contenido disminuyó a 0.00 mg/L, generando una remoción del 100%; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 138.00 mg/L entre ambas mediciones (antes - después).

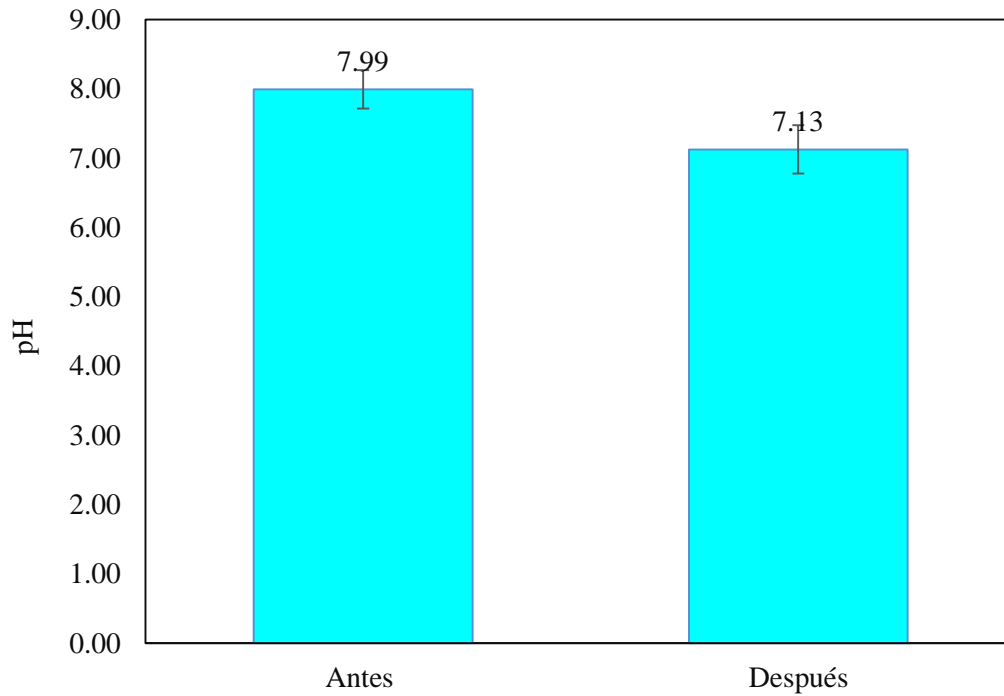


Figura 11. pH de la muestra de la PTAR de Covicorti

Tabla 9

pH de la muestra de la PTAR de Covicorti

Medición	Diferencias emparejadas			t	Grados de libertad	p
	Media	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
		Inferior	Superior			
Antes - Después	0.86	0.79	0.94	29.30	5	0.000001

Nota. Se observa que el pH antes del tratamiento de aguas residuales fue de 7.99, posterior al uso del destilador solar de una vertiente el pH fue de 7.13; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 0.86 entre ambas mediciones (antes - después).

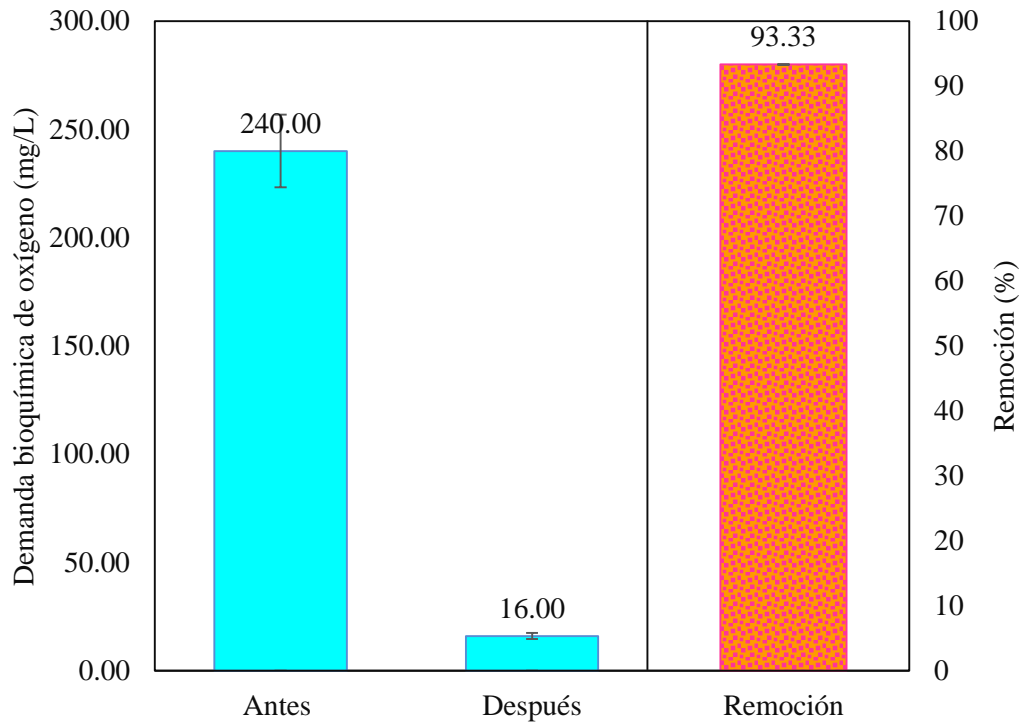


Figura 12. Demanda bioquímica de oxígeno de la muestra de la PTAR de Covicorti.

Tabla 10

Demanda bioquímica de oxígeno de la muestra de la PTAR de Covicorti

Medición	Diferencias emparejadas			t	Grados de libertad	p
	Media	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
		Inferior	Superior			
Antes - Después	224.00	207.41	240.59	34.70	5	0.0000004

Nota. Se observa que la DBO antes del tratamiento de aguas residuales fue de 240 mg/L, posterior al uso del destilador solar de una vertiente el contenido disminuyó a 16.00 mg/L, generando una remoción del 93.33%; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 224.00 mg/L entre ambas mediciones (antes - después).

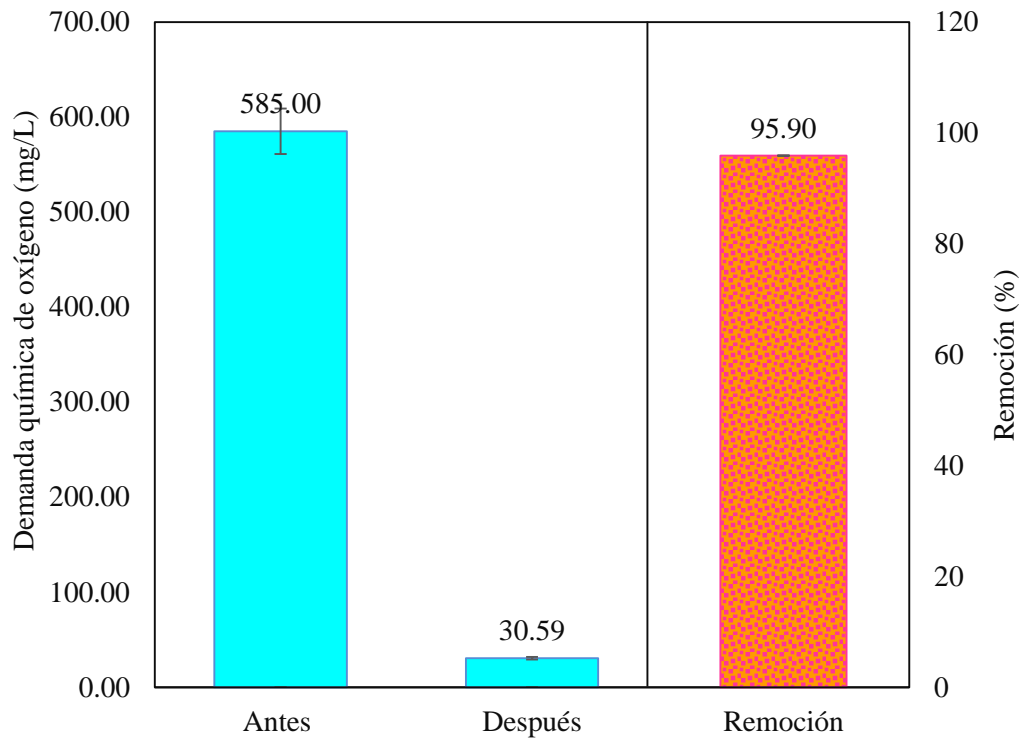


Figura 13. Demanda química de oxígeno de la muestra de la PTAR de Covicorti.

Tabla 11

Demanda química de oxígeno de la muestra de la PTAR de Covicorti

Medición	Diferencias emparejadas		t	Grados de libertad	p	
	Media	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
		Inferior				Superior
Antes - Después	561.00	530.31	591.69	46.99	5 0.0000001	

Nota. Se observa que DQO antes del tratamiento de aguas residuales fue de 585.00 mg/L, posterior al uso del destilador solar de una vertiente el contenido disminuyó a 30.59 mg/L, generando una remoción del 95.90%; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 561.00 mg/L entre ambas mediciones (antes - después).

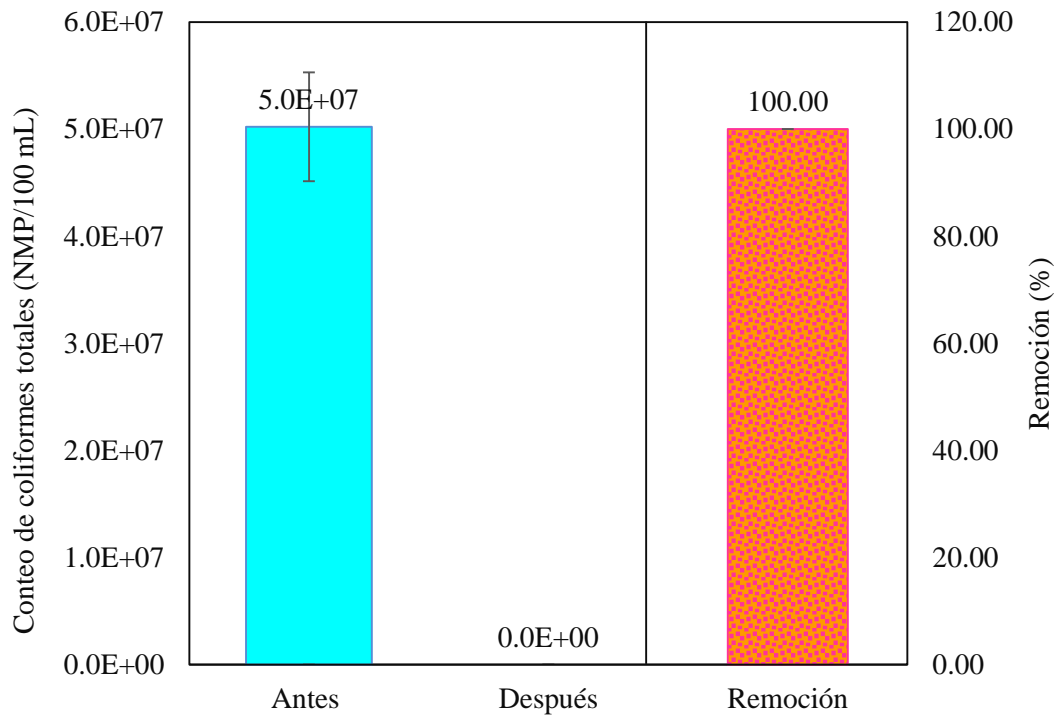


Figura 14. Coliformes termotolerantes de la muestra de la PTAR de Covicorti.

Tabla 12.

Coliformes termotolerantes de la muestra de la PTAR de Covicorti

Medición	Diferencias emparejadas		t	Grados de libertad	p
	Media	95% de intervalo de confianza de la diferencia			
		Inferior			
Antes - Después	5.0E+07	4.0E+07	6.1E+07	12.08	5 0.00007

Nota. Se observa que CCT antes del tratamiento de aguas residuales fue de 5.0E+07 NMP/100 mL, posterior al uso del destilador solar de una vertiente el contenido disminuyó a 0 NMP/100 mL, generando una remoción del 100%; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 5.0E+07 NMP/100 mL entre ambas mediciones (antes - después).

3.4. Comparar las aguas residuales tratadas con la normativa peruana vigente: los Límites Máximos Permisibles (LMP) y los Estándares de calidad ambiental (ECA).

Tabla 13
Comparación de las aguas tratadas con los LMP y ECA

Parámetros	Salaverry	Covicorti	LMP	ECA para riego de vegetales	
				Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido
Físicos					
Temperatura (°C)	22.10 ± 0.65	22.50 ± 0.84	<35	Δ3	
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	6.40 ± 1.37	5.90 ± 0.85	150	No aplica	
Químicos					
Aceites y grasas (mg/L)	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	20	No aplica	
pH	7.37 ± 0.42	7.13 ± 0.35	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	
DBO (mg/L)	10.15 ± 1.19	16.00 ± 1.41	100	15	
DQO (mg/L)	17.00 ± 1.70	24.00 ± 1.41	200	40	
Microbiológicos					
coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	1.0E+02	1.0E+03	2.0E+03

Nota. Se observa que para los parámetros físicos como temperatura, que Salaverry presentó 22.10±0.65 °C y Covicorti 22.50±0.84 °C, siendo menores a LMP (35 °C) y para ECA encontrándose dentro del rango Δ3 (20 °C) equivalente a 17 a 23 °C; para SST Salaverry presentó 6.40±1.37 mg/L y Covicorti 5.90±0.85 mg/L siendo ambos menores a LMP (150 mg/L). Con referencia a los parámetros químicos no se observaron aceites ni grasas en las aguas tratadas (0.00 mg/L) para ambas plantas de tratamiento, siendo menores a LMP (20 mg/L); para pH el valor fue de 7.37±0.42 para Salaverry y 7.13±0.35 para Covicorti; encontrándose dentro del rango establecido por el ECA (6.5 - 8.5) y LMP (6.5 - 8.5); con respecto a DBO Salaverry presentó 10.15±1.19 mg/L y Covicorti 16.00±0.41 mg/L, siendo menores a LMP (100 mg/L), y para ECA solo fue menor la planta de Salaverry (15 mg/L); con referencia a DBQ Salaverry presentó 17.00±1.70 mg/L y Covicorti 24.00±1.41 mg/L, siendo menores a LMP (200 mg/L) y ECA (40 mg/L). Para

los parámetros microbiológicos en CCT ambas plantas de tratamiento no presentaron coliformes totales en las aguas tratadas (0 NMP/100 mL), siendo menores a LMP (100) y ECA (1000 para riego no restringido y 2000 para riego restringido).

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

En la Figura 2, se muestra las características del destilador solar de una vertiente cuyas dimensiones son: 0.60 m de largo, 0.40 m de ancho, 0.20 m de altura frontal, tiene un área de 0.24 m^2 y una capacidad de 36 litros para tratar las aguas negras. Esto se compara con la tesis de Colmenares y Pinzón (2008), quienes indican que los destiladores solares de una vertiente son una alternativa para obtener aguas altamente tratadas; sin embargo, León y Sabando (2017), explican que los destiladores solares de dos vertientes son más eficientes en producción, puesto que permiten mayor absorción de los rayos solares por la inclinación del vidrio. Pero ambos dispositivos son la solución para tratar las aguas negras (Castrillón y Hincapié, 2012). Todo esto se corrobora con la información de Hermosillo (1989), que menciona que los destiladores de una vertiente son fáciles de construir y operar, pero no muy eficientes en producción de agua destilada (Pág. 29).

En la Figura 3, se observa que los sólidos totales en suspensión (SST) antes del tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Salaverry fue de 191.00 mg/L, y posterior al proceso de destilación solar los sólidos disminuyeron a 6.40 mg/L, generando una remoción del 96.63%; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 184.60 mg/L entre ambas mediciones (antes - después). Mientras que en la Figura 9, se indica que los sólidos totales en suspensión antes del tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Covicorti fue de 619.15 mg/L, posterior al uso del destilador solar de una vertiente los sólidos disminuyeron a 5.90 mg/L,

generando una remoción del 99.00%; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 613.25 mg/L entre ambas mediciones (antes - después). Este proceso de separación eficiente se da gracias a la radiación solar que calienta la bandeja colectora del destilador solar, generando dentro del sistema el incremento temperatura del agua a destilar, dando origen el aumento de presión de vapor de agua (tendencia a evaporarse), el cual es superior a las sales minerales presentes en la muestra contaminada, como consecuencia el agua inicia la transformación de fase, mientras que los sólidos quedan presentes en la bandeja colectora del dispositivo (Hermosillo, 1989, Pág.15); de igual forma Yaque (2013) señala que los contaminantes disueltos en el agua como las sales y sólidos se quedan en el depósito mientras el vapor de agua asciende (Pág.29). Teniendo estas evidencias se explica las diferencias de remoción con la base teórica de Hermosillo (1989), quien alude que las aguas que contengan sales pocos volátiles serán removidas en casi toda su totalidad mediante este proceso, sin embargo, se excluye las aguas contaminadas con sales volátiles similares al agua puesto que se adhieren al producto obtenido por la destilación, es por ello, que existe mínimas cantidad de sedimentos en el agua obtenida por este tratamiento (Pág. 21).

La Figura 4, se demuestra que el contenido de aceites y grasas antes del tratamiento de aguas residuales de la PTAR Salaverry fue de 31.15 mg/L, posterior al tratamiento el contenido disminuyó a 0.00 mg/L, generando una remoción del 100%; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 31.15 mg/L entre ambas mediciones (antes - después). Y la Figura 10, revela que el contenido de

aceites y grasas antes del tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Covicorti fue de 138.00 mg/L, y después del tratamiento disminuyó a 0.00 mg/L, generando una remoción del 100%; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 138.00 mg/L entre ambas mediciones (antes - después). Los aceites y grasas mediante la destilación solar no logran ser arrastrados durante el proceso debido a que las temperaturas no superan los 50°C, esto lo sustenta Livingston (1879), quién indica que las grasas y aceites de tipo fijo se descomponen fácilmente con el calor, pero no se volatilizan a temperaturas normales, un ejemplo claro son las glicerinas que necesitan estar a los 600°C para cambiar de estado de fase (Pág. 380).

La Figura 5, evidencia que el pH antes del tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Salaverry fue de 7.75, posterior al uso del destilador solar de una vertiente el pH fue de 7.37; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 0.38 entre ambas mediciones (antes - después). Y la Figura 11, se observa que el pH de las aguas residuales de la PTAR de Covicorti antes del tratamiento fue de 7.99, posterior al uso del destilador solar de una vertiente el pH fue de 7.13; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 0.86 entre ambas mediciones (antes - después). Se compara con la información de Aylas (2017), quien indica que sus muestras tras ser tratadas por el destilador cascada tuvieron una disminución de pH de 8.30 a 6.66 de promedio. Esta variación lo explica Martín et al. (2009), que cuando la temperatura aumenta o disminuye en un determinado cuerpo afecta directamente en la solubilidad de gases y acondiciona el pH (Pág. 33). Sierra (2011), explica

que las características físico químicas que posee el agua en un determinado momento, pueden presentar variaciones en el tiempo debido a los factores externos (Pág. 47). Asimismo, el producto tratado se considera agua neutra por mantenerse dentro del rango como lo indica Aguilar (2013), pH entre 6.5 y 7.5 es agua neutra (S/P). La tendencia de disminución de pH se explica a través de un claro ejemplo que menciona Ruiz et al. (2009), que los océanos están expuestos a una gran cantidad de CO₂ que se encuentra en el aire, por lo que estos lo absorben en gran cantidad el cual reacciona formando ácido carbónico que acidifica el agua (Pág,124)

En la Figura 6 se observa que la DBO antes del tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Salaverry fue de 154.50 mg/L, después del tratamiento disminuyó a 10.15 mg/L, generando una remoción del 93.42%; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 144.35 mg/L entre ambas mediciones (antes - después). Mientras que en la Figura 12 se observa que DBO antes del tratamiento de aguas residuales de Covicorti fue de 240 mg/L, después del procedimiento disminuyó a 16.00 mg/L, generando una remoción del 93.33%; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 224.00 mg/L entre ambas mediciones (antes - después). Los resultados iniciales se comparan con la teoría de Brown et al. (2009), quienes afirman que los altos niveles de demanda de oxígeno que necesitan las bacterias aeróbicas para desaparecer el material biodegradable son perjudiciales, ya que, al eliminar el oxígeno de manera total en el agua dan inicio al proceso de descomposición anaeróbica que genera olores desagradables

(Pág.786). Asimismo, el proceso de tratamiento del agua residual se relaciona con la investigación de León y Sabando. (2017), quienes tratan agua residual en un destilador solar de una vertiente, obteniendo como resultado un eficaz de remoción del 89.06% de DBO5. De igual manera, Aylas (2017), en su investigación demuestra una disminución de contaminantes del 93.7% de la DBO5 con un equipo de dos vertientes, donde afirma que los destiladores son eficaces en el tratamiento de aguas residuales. Todo esto se respalda con la teoría de Intriago y Zambrano (2014), quienes indican que los destiladores solares usan la energía del sol para eliminar materiales, sustancias, residuos y microorganismos de las aguas contaminadas, dejándolas libres de impurezas. (Pág. 14). Sin embargo, existe la posibilidad que parte del destilado se contamine con el destilando lo que genera que el producto tenga algunos contaminantes (Hermosillo, 1989, Págs. 26-27).

En cuanto a la DQO se muestra la Figura 7, que antes del tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Salaverry fue de 368.00 mg/L, posterior al uso del destilador solar de una vertiente el contenido disminuyó a 27.54 mg/L, generando una remoción del 95.39%; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 351.00 mg/L entre ambas mediciones (antes - después). Y en la Figura 13, se observa que DQO antes del tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Covicorti fue de 585.00 mg/L, posterior al uso del destilador solar de una vertiente el contenido disminuyó a 30.59 mg/L, generando una remoción del 95.90%; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de 561.00 mg/L entre ambas mediciones

(antes - después). Esto se relaciona con la información de León y Sabando (2017), que obtienen 99.95% de remoción de DQO con el destilador de una vertiente, mientras que Lloveras et al. (2012), tiene variaciones de 27.500 ppm de DQO a 27 ppm con su destilador fría sólida líquida. La existencia de niveles bajos de DQO en el agua tratada se debe a que Jiménez (S.F), argumenta que las aguas contaminadas con minerales radiactivos y metales pesados no se pueden purificar mediante este tipo de tratamiento (Pág. 77), existiendo cantidades pequeñas de materia que necesitan ser oxidadas por vía química que es medido a través de DQO (Pulido y Vallejos, 2003, Pág. 100).

En la Figura 8, se refleja que coliformes termotolerantes (CCT) antes del tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Salaverry fue de $1.1E+06$ NMP/100 mL, posterior al uso del destilador solar de una vertiente el contenido disminuyó a 0 NMP/100 mL, generando una remoción del 100%; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de $1.1E+06$ NMP/100 mL entre ambas mediciones (antes - después).. Además, en la Figura 14, se observa que se observa que CCT antes del tratamiento de aguas residuales de la PTAR de Covicorti fue de $5.0E+07$ NMP/100 mL, posterior al uso del destilador solar de una vertiente el contenido disminuyó a 0 NMP/100 mL, generando una remoción del 100%; según la prueba de t-Student para grupos relacionados existió efecto significativo ($p < 0.05$), con una diferencia de medias de $5.0E+07$ NMP/100 mL entre ambas mediciones (antes - después). Esto se compara con el tratamiento del destilador solar de dos vertientes de la investigación de Santos (2009), León y Sabando (2017), quienes logran remover un 99.95% de estos microorganismos, y el destilador solar de

doble pendiente de Nascimento et al. (2018), alcanza resultados inferiores a lo que establece la normativa (<1 NMP / 100 mL) representando el 100%, en todas las muestras tratadas por el destilador solar. Esto se sustenta con lo que dice Castrillón y Hincapié (2012), que los microorganismos son aniquilados por las elevadas temperaturas que se producen en el interior del equipo solar (Pág.21), esto se debe a la radiación solar que es absorbido por el dispositivo, este contiene irradiación ultravioleta que se encarga de destruir el ADN de las bacterias evitando su reproducción o inactivación en ambientes cerrados (Cornejo, 2009, Pág.286). A esto se suma la información de Hermosillo (1989), quien explica que la radiación solar es absorbida completamente por la bandeja colectora del destilador solar siempre y cuando tenga color negro mate, lo que permite el incremento de calor que posteriormente es transmitido al agua (Pág. 15).

En la Tabla 13 se muestra la comparación de los parámetros del agua residual tratada con el Decreto supremo N° 003-2010-MINAMN que establece los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de aguas residuales domésticas y para comprobar si el producto obtenido es reutilizable se compara con el Decreto supremo N° 004-2017-MINAMN que establece los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para riego. En ella, se observa que los parámetros físicos como temperatura, que Salaverry presentó 22.10 ± 0.65 °C y Covicorti 22.50 ± 0.84 °C, siendo menores a los límites Máximos Permisibles (35 °C) y para ECA encontrándose dentro del rango $\Delta 3$ (20 °C) equivalente a 17 a 23 °C; para SST Salaverry presentó 6.40 ± 1.37 mg/L y Covicorti 5.90 ± 0.85 mg/L siendo ambos menores a LMP (150 mg/L). Con referencia a los parámetros químicos no se observaron aceites ni grasas en las aguas tratadas (0.00 mg/L) para ambas

plantas de tratamiento, siendo menores a LMP (20 mg/L); para pH el valor fue de 7.37 ± 0.42 para Salaverry y 7.13 ± 0.35 para Covicorti; encontrándose dentro del rango establecido por el ECA (6.5 - 8.5) y LMP (6.5 - 8.5); con respecto a DBO Salaverry presentó 10.15 ± 1.19 mg/L y Covicorti 16.00 ± 0.41 mg/L, siendo menores a LMP (100 mg/L), y para ECA solo fue menor la planta de Salaverry (15 mg/L); con referencia a DBQ Salaverry presentó 17.00 ± 1.70 mg/L y Covicorti 24.00 ± 1.41 mg/L, siendo menores a LMP (200 mg/L) y ECA (40 mg/L). Para los parámetros microbiológicos en CCT ambas plantas de tratamiento no presentaron coliformes totales en las aguas tratadas (0 NMP/100 mL), siendo menores a LMP (100) y ECA (1000 para riego no restringido y 2000 para riego restringido). Para respaldar esta información se compara con lo que informan Intriago y Zambrano (2017), quienes realizaron una caracterización del agua antes y después del proceso de destilación, obtuvieron como resultado que el agua tratada cumple con LMP. Antes de la destilación las aguas residuales de Covicorti y Salaverry superan los Estándares de Calidad Ambiental para riego de vegetales y bebidas de animales (Jiménez, 2014 y Pérez, 2016), por lo que no se puede utilizar el agua en otro tipo de actividades, sin embargo el producto final obtenido cumple con LMP y ECA lo que se respalda con García et al. (2010) y Rodríguez y Saavedra (2008), quienes demuestran a través de sus investigaciones que esto es un método excelente para tratar aguas negras con altos contenidos de sólidos.

4.2 Conclusiones

- Se concluye que la eficacia del destilador solar de una vertiente es significativa para mejorar la calidad de las aguas residuales de los afluentes de las PTAR de Covicorti y Salaverry, puesto que remueve contaminantes como: sólidos

totales suspendidos, aceites y grasas, DBO, DQO y coliformes termotolerantes. Esto se demuestra a través de la prueba t-Student $p < 0.05$ con un nivel de confianza del 95%.

- Se diseñó dos destiladores solares de una vertiente con las siguientes medidas: 0.60 m de largo, 0.40 m de ancho, 0.20 m de altura frontal, posee un área de 0.24 m^2 y una capacidad de 36 litros.
- Los resultados antes del tratamiento de las aguas residuales del afluente de la PTAR de Salaverry son: 191 mg/L SST, 31.15 mg/L de aceites y grasas, 7.75 de pH, 154.5 mg/L de DBO, 368 mg/L de DQO y $1.1 \cdot 10^6$ de CCT NMP/10 mL y después del tratamiento son : 6.4 mg/L SST, 0 mg/L de aceites y grasas, 7.37 de pH, 10.15 mg/L de DBO, 27.54 mg/L de DQO y 0 de CCT NMP/10 mL.
- Los resultados antes del tratamiento de las aguas residuales del afluente de la PTAR de Covicorti son: 619.15 mg/L SST, 138 mg/L de aceites y grasas, 7.99 de pH, 240 mg/L de DBO, 585 mg/L de DQO y $5 \cdot 10^7$ de CCT NMP/10 mL y después del tratamiento son : 5.90 mg/L SST, 0 mg/L de aceites y grasas, 7.43 de pH, 16 mg/L de DBO, 30.59 mg/L de DQO y 0 de CCT NMP/10 mL.
- Los porcentajes de remoción de la muestra tratada del afluente de la PTAR de Salaverry son: 96.63 % de SST, 100% en aceites y grasas, 93.42% de DBO5, 95.39 % de DQO y 100% de coliformes termotolerantes; y la muestra del afluente de la PTAR de Covicorti presenta una remoción del 99 % SST, 100 % para aceites y grasas, del 93.33 % para DBO5, del 95.90 % de DQO y el 100 % de coliformes termotolerantes.

- La mayor parte de los parámetros analizados de las aguas tratadas del afluente de la PTAR de Salaverry y Covicorti se encuentran por debajo de la normativa peruana vigente: Estándares de calidad ambiental- categoría 3: riego de vegetales (ECA) y los Límites Máximos Permisibles (LMP).

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguilar, B. (2013). *El suelo de cultivo y las condiciones climáticas*. Málaga, España: UC.

Recuperado de
<https://books.google.com.pe/books?id=wCXKDwAAQBAJ&lpg=PP1&dq=El%20suelo%20de%20cultivo%20y%20las%20condiciones%20clim%C3%A1ticas&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q=El%20suelo%20de%20cultivo%20y%20las%20condiciones%20clim%C3%A1ticas&f=false>

Almar water solution. (2018). *Desafíos y oportunidades en Latinoamérica*. Iagua.

Recuperado de <https://www.iagua.es/noticias/almar-water-solutions/desafios-y-oportunidades-agua-latinoamerica>

Andión, R., Brito, A., Fernández., Fonseca, S. y Perdomo, R. (2009). *Análisis exergético*

del destilador solar de bandeja de fibra de vidrio. En Revista Tecnología Química, 29 (3) pp.18. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=445543760003>

Arce, L. F. (2013). *Urbanizaciones sostenibles: descentralización del tratamiento de*

aguas residuales residenciales (Tesis de titulación). Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/4568>

Autoridad Nacional del agua & Ministerio de Agricultura y Riego (2019). Ley de recursos

hídricos ley N° 29338. S/P. Recuperado de <http://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/228/ANA0000044.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Aylas de la Vega, A. (2017). *Obtención de agua potable mediante un tratamiento solar*

(destilador de cascada) del agua de mar en el distrito de la Punta- Callao- 2017.

(Tesis de titulación). Universidad César Vallejo. Recuperado de
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/10871>

Banco Mundial. (2013, 31 de diciembre). *Un 70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas* [Publicación en blog]. Obtenido de http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados?fbclid=IwAR3AMULOV-yLah4B0Y38tSODpwDFaRFc_9xDP7RVUhzmWoZB4RNnrKqjS0

Barbero, J., Batlles, J., López, G., Pérez, M., Rodrigo, S. y Rubio, A. (1998). *La Radiación solar y aspectos climatológicos de Almería 1990-1996*. Universidad de Almería. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=YHSMAMLfADMC&lpg=PA28&dq=radiacion%20solar&hl=es&pg=PA28#v=onepage&q=radiacion%20solar&f=false>

Brown, T., LeMay, H., Bursten, B. y Murphy, C. (2009). *Química: La ciencia central*. México: Pearson educación.

Buitrón, G., Cervantes, F.J., García, H.A. y López, C.M. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: principios, modelación y diseño*. Reino Unido: IWA Publishing. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=lxNBDwAAQBAJ&lpg=PA254&dq=coliformes%20termotolerantes%20son%20aerobicos&pg=PA254#v=onepage&q=coliformes%20termotolerantes%20son%20aerobicos&f=false>

Castrillón, J.E. y Hincapié, D. A. (2012). Potabilizar agua con energía solar, una alternativa para las comunidades más lejanas de los centros urbanos. *En Revista*

Trilogía, III (6), pp.121-132. Recuperado de
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4521459>

Chiroque, R. (2018). *Comparación de destiladores solares para la obtención de agua dulce en pozos de agua salobre en la C.C. San Juan Bautista de Catacaos-Piura-2018*. Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo", Huaraz, Ancash, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2422>

Colegio de ingenieros del Perú. (2013). *El 40% de las aguas residuales se arroja al mar de Trujillo sin tratar*. Lima: Diario "El Comercio". Recuperado de <http://www2.cip.org.pe/index.php/noticias/item/523-el-40-de-las-aguas-residuales-se-arroja-al-mar-de-trujillo-sin-tratar/523-el-40-de-las-aguas-residuales-se-arroja-al-mar-de-trujillo-sin%20tratar.html>

Colmenares, S. y Pinzon, J. (2008). *Diseño, construcción y pruebas de un destilador solar* (Tesis de titulación). Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, Colombia. Recuperado de https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/199/digital_16406.pdf?sequence=1

Concepción, G. (2008). *Reciclado y tratamiento de aguas residuos*. Madrid: Universidad nacional de educación a distancia. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=jXEFxC3GiGQC&lpg=PT42&dq=Reciclado%20y%20tratamiento%20de%20aguas%20residuos.&hl=es&pg=PT42#v=onepage&q=Reciclado%20y%20tratamiento%20de%20aguas%20residuos.&f=false>

Cornejo, L. (2009). *Ingeniare*. Revista chilena de ingeniería 17 (3)pp.286. Recuperado de

https://books.google.com.pe/books?id=jBk4bspi_IoC&lpg=PA286&dq=como%20influye%20la%20destilacion%20solar%20en%20la%20caracteristicas%20fisico%20qu%C3%ADmica%20del%20agua&hl=es&pg=PA286#v=onepage&q=como%20influye%20la%20destilacion%20solar%20en%20la%20caracteristicas%20fisico,%20qu%C3%ADmica%20del%20agua&f=false

Cuervo, J. y Méndez, R. (2008). *Energía solar térmica*. España: Fundación confemetal.

Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=9l2IOQTRe1UC&pg=PA57&dq=destilador+solar&source=gbs_selected_pages&cad=3#v=onepage&q&f=false

Díaz, M. (2018). *Ecuaciones y cálculos para el tratamiento de aguas*. Casarrubuelos,

Madrid: Ediciones Paraninfo. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=WUaCDwAAQBAJ&lpg=PP1&dq=que%20es%20un%20tratamiento&hl=es&pg=PP1#v=onepage&q=%20tratamiento&f=false>

EcoDiario.es. (2018, 25 de julio). *Greenpeace: "España tiene un grave problema de*

contaminación por aguas residuales" [Publicación en blog]. Recuperado de https://ecodiario.economista.es/sociedad/noticias/9295295/07/18/Greenpeace-espana-tiene-un-grave-problema-de-contaminacion-por-aguasresiduales.htmlfbclid=IwAR0eosjvnDi7tPxmYOuOwpZZ_cOI0Z2rDsXyZdJbpzgCp1ERJC5YsCRLOy4

Entrena, F. J. (2013). *Determinación del potencial solar (UF0212)*. Málaga: IC.

Recuperado de <http://www.ebrary.com>

Félix, S., Gutiérrez, C. y Lemos, P. (2010). *Manual de laboratorio de ecología microbiana*. México, D.F.: Instituto Politécnico Nacional.

Fonseca, S., Miranda, E. y Torres, A. (2012). Modelo matemático y solución analítica del funcionamiento de un destilador solar de bandeja. *En Revista Tecnología Química*, 32 (2) pp.181. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852012000200006

Freire de Sá, L., Thomé, J y Motta, M. (2012). Tratamiento del lixiviado de relleno sanitario usando el destilador solar. *En Revista Ambiente & Agua*, 7 (1) pp.205. doi:<https://doi.org/10.4136/ambiente-agua.815>

Gagliardi, R. (2008). *Gestión de la Educación Técnica Profesional: Capacitación Directiva para la Formación de Jóvenes Autónomos* (1a. ed.). Buenos Aires - Argentina. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=64yTWouNMWQC&lpq=PA96&dq=destilador%20solar%20para%20descontaminar%20agua&pg=PA96#v=onepage&q=destilador%20solar&f=false>

García, J. (1983). *Calculo la energía solar*. Madrid, España: Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Recuperado de https://books.google.com.pe/books?id=P_bLE_m-ik4C&lpq=PP1&dq=Calculo%20la%20energ%C3%ADa%20solar&pg=PP1#v=onepage&q=Calculo%20la%20energ%C3%ADa%20solar&f=false

García, J., García, C. M., Nájera, H., Vázquez, V. y Vera, P. (2010). Desarrollo y caracterización de un destilador solar para su aprovechamiento en el tratamiento de agua contaminada. *En Revista Lacandonia*, 4 (2), pp.71-77.

Gestión (2016). *Sunass: solo una de 2014 plantas de tratamiento de aguas residuales cumple las normativas*. Recuperado de <https://gestion.pe/economia/sunass-204-plantas-tratamiento-aguas-residuales-cumple-normativas-112050-noticia/>

Gonzales, F. y Roldán, A. (2016). *Propuesta de optimización del uso del agua potable en la I.E. 80824 "José Carlos Mariategui" El Porvenir- Trujillo- 2014. (Tesis doctoral)*. Universidad Nacional de Trujillo. Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/4186>

Hermosillo, J. (1989). *Destilación Solar*. Recuperado de <https://rei.iteso.mx/handle/11117/207>

Hernández, R. y Baptista, L. (2014). *Metodología de la investigación*. 6ed. Recuperado de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

Herrera, K. y López, R. (2015). *Planta de tratamiento de aguas residuales para reusó en riego de parques y jardines en el distrito la esperanza, provincia Trujillo*. La Libertad (Tesis de titulación). Universidad Privada Antenor Orrego. Recuperado de <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/1981>

Huezo, F. R. y Morán, J. I. (2012). *Diseño, construcción y validación de un destilador solar para uso en los laboratorios de la planta piloto de la escuela de ingeniería química* (Tesis de titulación). Universidad del Salvador. Recuperado de <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2066>

Intriago, J. y Zambrano, D. (2017). *Repotenciación de un destilador solar para agua salina por medio de transferencia de calor y condensación fotovoltaica* (Tesis previa a la obtención de titulación). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí. Recuperado de:

<http://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/628/1/TMA146.pdf>

Jiménez, A. (2014). *La calidad del agua de las lagunas de oxidación de Covicorti en Trujillo- La Libertad* (Tesis de titulación). Universidad Nacional de Trujillo. Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/4388>

Jiménez, J. (S.F.). *Manual práctico para la construcción de aparatos sencillos relacionados con la energía solar*. 6 ed. Recuperado de http://www.euronet50-50max.eu/images/news/es/Materiales_educativos-biblioteca/ingenios_solares_muestra.pdf

Lamarque, A., Labuckas, D., López, L., Maestri, D., Torres, M. y Zygodlo, J. (2008). *Fundamento teórico-Prácticos de química orgánica*. Córdoba: Encuentro. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=dehU1lJRKy8C&lpg=PA29&dq=definicion%20de%20destilacion&pg=PA29#v=onepage&q=definicion%20de%20destilacion&f=false>

León, G. y Sabando, A. (2017). *Diseño y construcción de un destilador solar para aguas residuales en la ciudad de Riobamba* (Tesis de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Recuperado de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6663>

Livingston, Y. (1879). *Elementos de química, para uso de los colegios y escuelas*. Nueva

York: Universidad de Columbia. Recuperado de

<https://books.google.com.pe/books?id=cpBJAAAAYAAJ&dq=los%20aceites%20y%20grasas%20se%20evaporan&pg=PA380#v=onepage&q=los%20aceites%20y%20grasas%20se%20evaporan&f=false>

Lloveras., Nacenta, J., y Rodríguez, V. (2012). Tratamiento de aguas industriales

residuales mediante destilación fría sólido líquido. *En Revista XVI Congreso*

Internacional de Ingeniería de Proyectos. Recuperado de

<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/17054>

Lozano, W. y Lozano, G. (2015). Potabilización del agua: Principios de diseño, control

de procesos y laboratorios. Colombia: Universidad Piloto de Colombia.

Recuperado de

[https://books.google.com.pe/books?id=3uk0DwAAQBAJ&lpg=PT350&dq=Lozano%2C%20W.%20y%20Lozano%2C%20G.%20%20\(2015\).%20Potabilizaci%C3%B3n%20del%20agua%3A%20Principios%20de%20dise%C3%B1o%20de%20control%20de%20procesos%20y%20laboratorios.&pg=PT350#v=onepage&q=Lozano,%20W.%20y%20Lozano,%20G.%20%20\(2015\).%20Potabilizaci%C3%B3n%20del%20agua:%20Principios%20de%20dise%C3%B1o,%20control%20de%20procesos%20y%20laboratorios.&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=3uk0DwAAQBAJ&lpg=PT350&dq=Lozano%2C%20W.%20y%20Lozano%2C%20G.%20%20(2015).%20Potabilizaci%C3%B3n%20del%20agua%3A%20Principios%20de%20dise%C3%B1o%20de%20control%20de%20procesos%20y%20laboratorios.&pg=PT350#v=onepage&q=Lozano,%20W.%20y%20Lozano,%20G.%20%20(2015).%20Potabilizaci%C3%B3n%20del%20agua:%20Principios%20de%20dise%C3%B1o,%20control%20de%20procesos%20y%20laboratorios.&f=false)

Mamani, E. (2012). *Diseño, construcción y caracterización de un destilador solar tubular*

para desalinizar agua de mar (Tesis de bachillerato). Universidad Nacional Jorge

Basadre Grohmann. Recuperado de:

http://redi.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/2907/140_2012_mamani_flores_e_faci_fisica_aplicada.pdf?sequence=1&isAllowed=yI

Martín, W., López, B. y Monteagudo, Y. (2009). *Gestión y uso racional del agua*. La Habana, Cuba: Félix Varela. Recuperado de: <http://www.ebrary.com>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2013). Protocolo de monitoreo de la calidad de agua de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. Recuperado de <http://ww3.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/anexo-rm-273-2013-vivienda.pdf>

Ministerio del ambiente. (2010). Compendio de la legislación ambiental peruana volumen v calidad ambiental. Recuperado de: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/compendio-legislacion-ambiental-peruana-vol-v-calidad-ambiental>

Ministerio del ambiente. (2010). Decreto Supremo N 003-2010-MINAM. Aprueba límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. El peruano, pág.415676. Recuperado de http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf

Ministerio del ambiente. (2017). Decreto supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueba estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias. El peruano, pág.10. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>

Nascimento, F., Nascimento, C., Spilki, F., Staggemeier, R., y Lauer, C. (2018) Eficacia de una energía solar aún en la destrucción del virus y las bacterias indicadoras en

el agua para el consumo humano. *En revista Ambiente & Agua*, 13 (4), pp.1-12.
doi: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2084>

Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. (2014). Los ríos de América Latina, entre los más contaminados del mundo. Recuperado de fao.org/inaction/agronoticias/detail/es/c/513301/?fbclid=IwAR0myxYSHzfjovoPvF83Rsr4KttoMxPtlfHBVCz-C262mgvIQaR-u7PNY6s

Pérez, J. (2016). *Contaminación en la playa de Salaverry por las aguas residuales de las pozas de oxidación del distrito de Salaverry* (Tesis de titulación). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú. Recuperado de <http://dspace.unitru.edu.pe>

Público. (2019). Greenpeace denuncia que todas las provincias costeras españolas siguen vertiendo aguas residuales. Madrid: Display connectors, sl. Recuperado de <https://www.publico.es/sociedad/vertido-aguas-residuales-mar-greenpeace-denuncia-provincias-costeras-espanolas-siguen-vertiendo-aguas-residuales.html>

Pulido, A. y Vallejos, A. (2003). *Gestión y contaminación de recursos hídricos. Almería: Universidad de Almería, Servicio de publicaciones Almería*. Recuperado de [https://books.google.com.pe/books?id=_XXkUW4geAUC&lpg=PA6&dq=Pulido%20y%20Vallejos%20\(2003\).%20Gesti%C3%B3n%20y%20contaminaci%C3%B3n%20de%20recursos%20h%C3%ADdricos.&hl=es&pg=PA6#v=onepage&q=Pulido,%20y%20Vallejos,%20\(2003\).%20Gesti%C3%B3n%20y%20contaminaci%C3%B3n%20de%20recursos%20h%C3%ADdricos.&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=_XXkUW4geAUC&lpg=PA6&dq=Pulido%20y%20Vallejos%20(2003).%20Gesti%C3%B3n%20y%20contaminaci%C3%B3n%20de%20recursos%20h%C3%ADdricos.&hl=es&pg=PA6#v=onepage&q=Pulido,%20y%20Vallejos,%20(2003).%20Gesti%C3%B3n%20y%20contaminaci%C3%B3n%20de%20recursos%20h%C3%ADdricos.&f=false)

Reina, J. (2015). *Evaluación de la eficiencia y cinética de remoción de materia orgánica en un reactor biológico aeróbico horizontal con medio de soporte PET* (Tesis

- previo a titulación). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador .Recuperado de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10550/1/CD-6244.pdf>
- Rigola, M. (1990). *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*. Colombia: Marcombo. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=fQcXUq9WFC8C&lpg=PA4&dq=Tratamiento%20de%20aguas%20industriales%3A%20aguas%20de%20proceso%20y%20residuales.%20Colombia%3A%20Marcombo&hl=es&pg=PA4#v=onepage&q=Tratamiento%20de%20aguas%20industriales:%20aguas%20de%20proceso%20y%20residuales.%20Colombia:%20Marcombo&f=false>
- Rodríguez, H. (2017). Las aguas residuales y sus efectos contaminantes [Mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- Rodríguez, R. y Saavedra, W. (2008). *Diseño y construcción de un destilador solar de aguas residuales para el laboratorio de energías renovables-DECEM* (Tesis de titulación). Escuela politécnica del ejército, Sangolquí, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/602>
- Rojas, A.G. L. (2015). *Diseño de un destilador solar destinado a la potabilización de agua de lluvia* (Tesis de titulación). Instituto Politécnico Nacional, Azcapotzalco, México. Recuperado de <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/20032>
- RPP Noticias. (2015). *Trujillo: advierten que el 60% de aguas residuales van al mar*. Recuperado de <https://rpp.pe/peru/actualidad/trujillo-advierten-que-60-de-aguas-residuales-van-al-mar-noticia-810972>

Ruiz et al. (2009). Cambio climático, un desafío a nuestro alcance. Salamanca, España:

Ediciones Universidad de Salamanca. Recuperado de
<https://books.google.com.pe/books?id=22gmFIQujEwC&lpg=PA124&dq=el%20co2%20acidifica%20el%20agua&pg=PA6#v=onepage&q=el%20co2%20acidifica%20el%20agua&f=false>

Santos, A. (2009). Diseño, construcción y caracterización de un destilador solar de caseta.

En Revista Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga, 3 (1) pp.7-8-9. doi:
<http://dx.doi.org/10.18566/puente.v3n1.a01>

Sierra, C. A. (2011). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Bogotá, Colombia:

Ediciones de la U. Recuperado de: <http://www.ebrary.com>

Tinoco, T. (2018). *Comparación de destiladores solares para la obtención de agua dulce*

en pozos de agua salobre en la C.C. San Juan Bautista de Catacaos-Piura-2018.

Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”, Huaraz, Ancash, Perú.

Recuperado de:

http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2422/T033_02770570_M.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR05UC71XSB1Zx6OVBMREb2MALwnODOLMtbKNE4OzYkamzLf_Ice5YGLdGw

VV. AA. (2018). *Tecnología Química*. (vol.37, N° 2). Ecuador: Universidad de Oriente.

Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com>

Weather Underground (2017). *Perú* ILALCHIC3. Recuperado de

<https://www.wunderground.com/>

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones

Unidas) (2017). *Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de*

los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: el recurso desaprovechado. París.

UNESCO.

Recuperado

de

<https://books.google.com.pe/books?id=29A1DwAAQBAJ&lpg=PP3&dq=Informe%20mundial%20de%20las%20Naciones%20Unidas%20sobre%20el%20Desarrollo%20de%20los%20Recursos%20H%C3%ADdricos%202017&pg=PP3#v=onepage&q=Informe%20mundial%20de%20las%20Naciones%20Unidas%20sobre%20el%20Desarrollo%20de%20los%20Recursos%20H%C3%ADdricos%202017&f=false>

Yaque, S. A. (2013). *Operaciones auxiliares elementales en laboratorio y en procesos en la industria química y afines (mf1312_1)*. (1a. ed.). España: IC Editorial.
Recuperado de <https://ebookcentral.proquest.com>

ANEXOS

Anexo 1

Matriz de consistencia

EFICACIA DE UN DESTILADOR SOLAR EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE TRUJILLO				
PROBLEMA	HIPOTESIS	OBJETIVO GENERAL	VARIABLE INDEPENDIENTE	METODOLOGIA
¿Cuál es la eficacia de un destilador solar de una vertiente para mejorar la calidad de aguas residuales de la provincia de Trujillo?	La eficacia de un destilador solar no es significativa en la mejora de la calidad de aguas residuales de la provincia de Trujillo.	Evaluar la eficacia de un destilador solar de una vertiente para mejorar la calidad de las aguas residuales de las PTAR de Covicorti y Salaverry de la provincia de Trujillo.	Eficacia de un destilador solar	Diseño: experimental de tipo preexperimental
				$O_1 \times O_2$
				Dónde: X: Eficacia del destilador solar O ₁ : Medición del agua residual antes de la destilación. O ₂ : Medición de agua residual después de la destilación.
				Población: Aguas residuales de la provincia de Trujillo.
		OBJETIVOS ESPECIFICOS	VARIABLE DEPENDIENTE	MUESTRA
		<ul style="list-style-type: none"> Diseñar y construir un destilador solar de una vertiente para mejorar la calidad de las aguas residuales de la provincia de Trujillo. Caracterización física, química y microbiológica de las aguas residuales de la PTAR de Covicorti y Salaverry, antes y después del tratamiento. Determinar los porcentajes de remoción de los contaminantes del agua tratada de Salaverry y Covicorti de Trujillo Comparar las aguas tratadas con la normativa peruana vigente: Estándares de calidad ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP). 	Calidad de agua residual	1 litro de agua residual de Salaverry y Covicorti de la provincia de Trujillo.

Anexo 2

Operacionalización de las variables destilador solar y tratamiento de aguas residuales

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADOR
EFICACIA DE UN DESTILADOR SOLAR	Según Huevo y Morán (2012) sostienen que: Un destilador solar es un equipo que aprovecha la energía solar para limpiar el agua, mediante el proceso de funcionamiento elimina bacterias, microorganismos y muchas impurezas, entre otros. (págs. 173-174). Su purificación se mide mediante la eficacia, el cual es un parámetro muy importante que ayuda a determinar la cantidad de contaminantes que ha disminuido en el producto destilado. Se divide en: remoción de material en suspensión, la remoción de sustancias químicas disueltas y la contaminación biológica (Hermosillo, 1989, Pág. 21).	La capacidad de un destilador solar se mide en la cantidad de agua tratada libre de contaminantes obtenida durante el día que depende de la exposición de radiación solar, diseño, y otros parámetros (VV. AA ,2018, Pág.307)	Productividad del destilador	Volumen de agua destilada
CALIDAD DE AGUA RESIDUAL	Si la calidad de un cuerpo de agua se encuentra contaminada se debe aplicar diversos procesos para eliminar las impurezas que pueda contener con la finalidad de recuperarla, además, esta debe cumplir con ciertos estándares de calidad antes de ser vertida a su cuerpo receptor (Rigola, 1990, Pág.11).Es por ello que las aguas residuales tienen que ser tratadas mediante diferentes tipos de procesos para eliminar las impurezas que hayan adquirido durante su uso (Díaz, 2018, Pág. 234).	La calidad de un cuerpo acuático se mide a través de las concentraciones orgánicas e inorgánicas; asimismo, esta puede verse afectada por ciertos factores externos e internos (Sierra, 2011, Pág.47). La calidad de un cuerpo de agua se mide a través de sus parámetros físicos, químicos y biológicos de manera continua o discreta antes de aplicarse algún tipo de tratamiento (Rigola, 1990, Pág. 27). Los parámetros que se deben medir se dividen en tres grupos: físicos, químicos y microbiológicos (Sierra, 2011, Pág. 53,55)	Parámetros físicos	Porcentaje de remoción de sólidos totales en suspensión
			Parámetros químicos	Porcentaje de remoción de pH, DQO, DBO y aceites y grasas.
			Parámetros microbiológicos	Porcentaje de remoción de Coliformes termotolerantes

Anexo 3

Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para riego de vegetales y bebidas de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS-QUÍMICOS				
Aceites y grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		...
Cianuro Wad	mg/L	0.1		0.1
Cloruros	mg/L	500		...
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(μ S/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0.2		0.5
Fenoles	mg/L	0.002		0.01
Fluoruros	mg/L	1		...
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrogeno (pH)	Unidad de pH	6.5 - 8.5		6.5 - 8.4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	$\Delta 3$		$\Delta 3$
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5

Figura 15.ECA para riego de vegetales y bebidas de animales

Fuente: Ministerio del ambiente (2017). Decreto supremo N° 004-2017-MINAM. Aprueba estándares de calidad ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias. El peruano, pág.10. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf>

Anexo 4

Límites Máximos Permisibles (LMP) para plantas de tratamiento de agua residual doméstica
o municipal

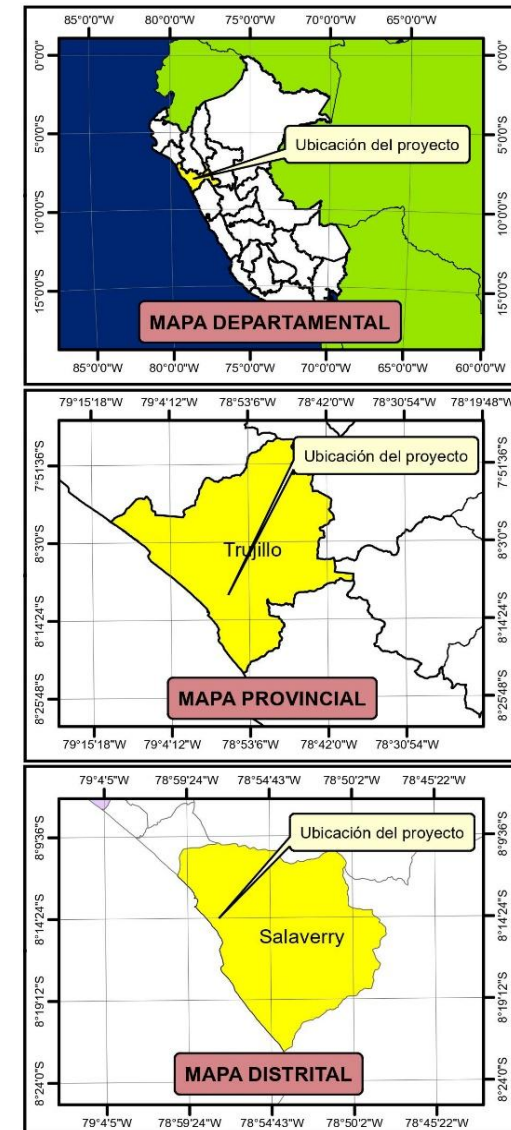
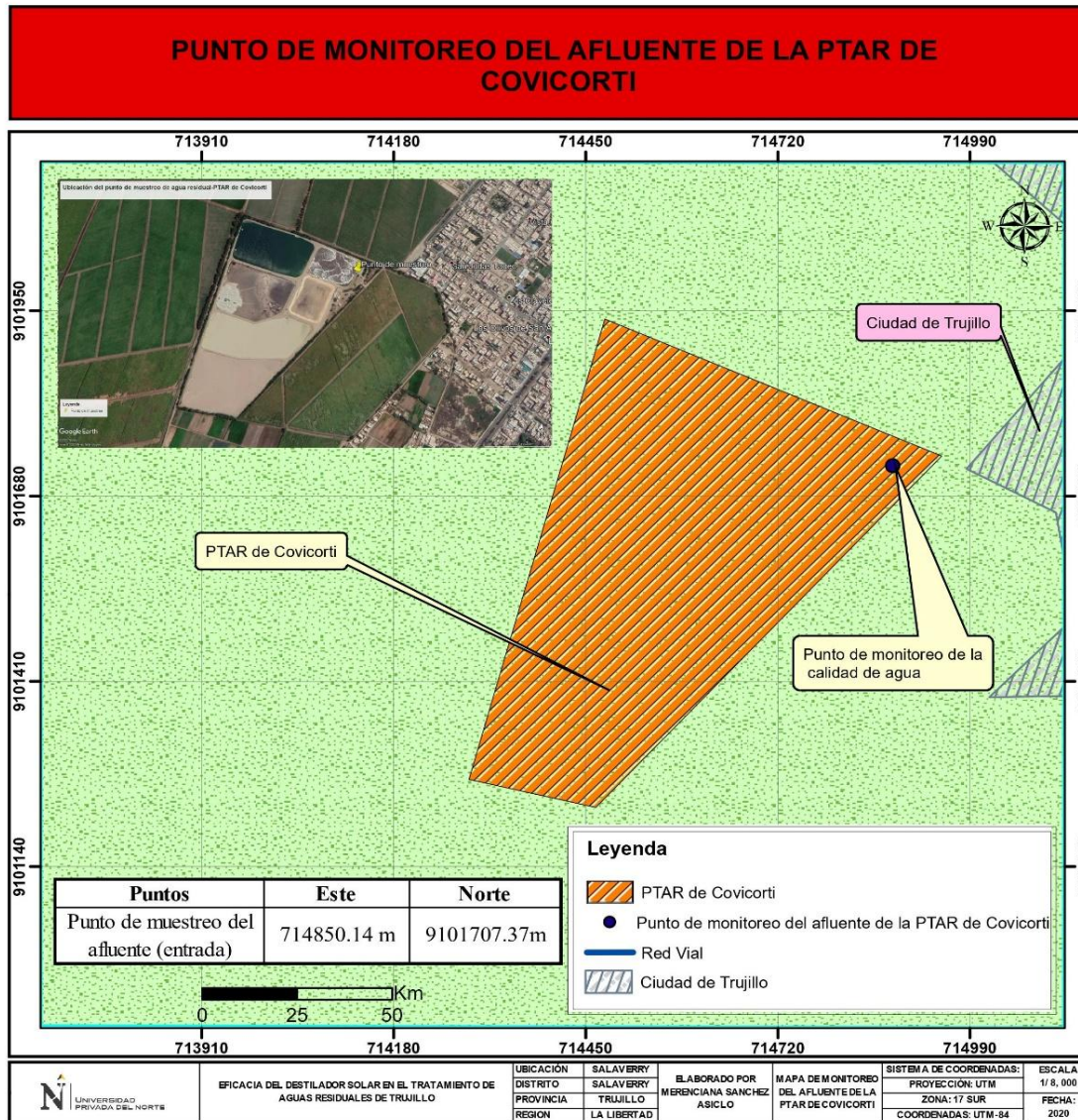
PARAMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5 - 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	< 35

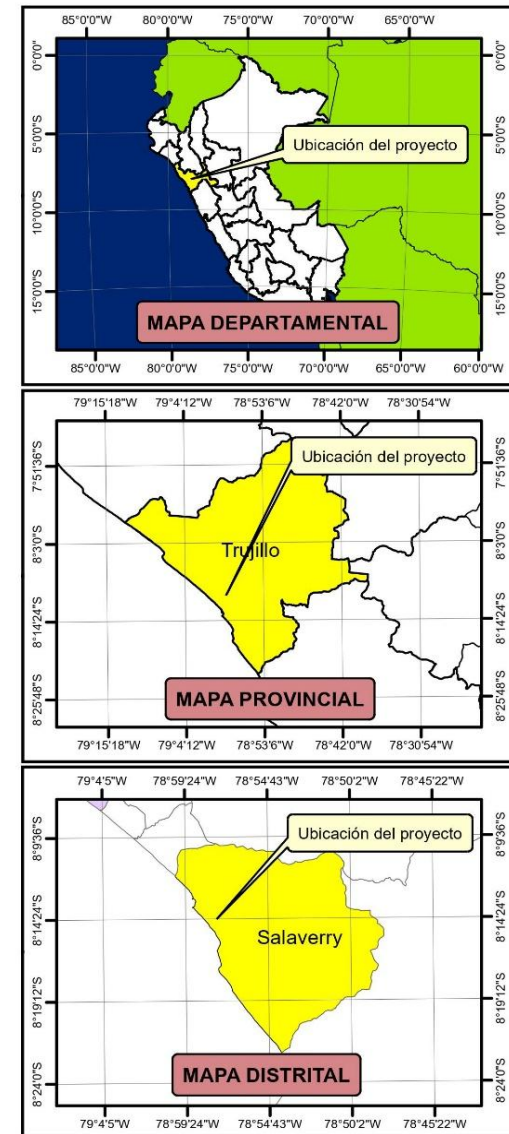
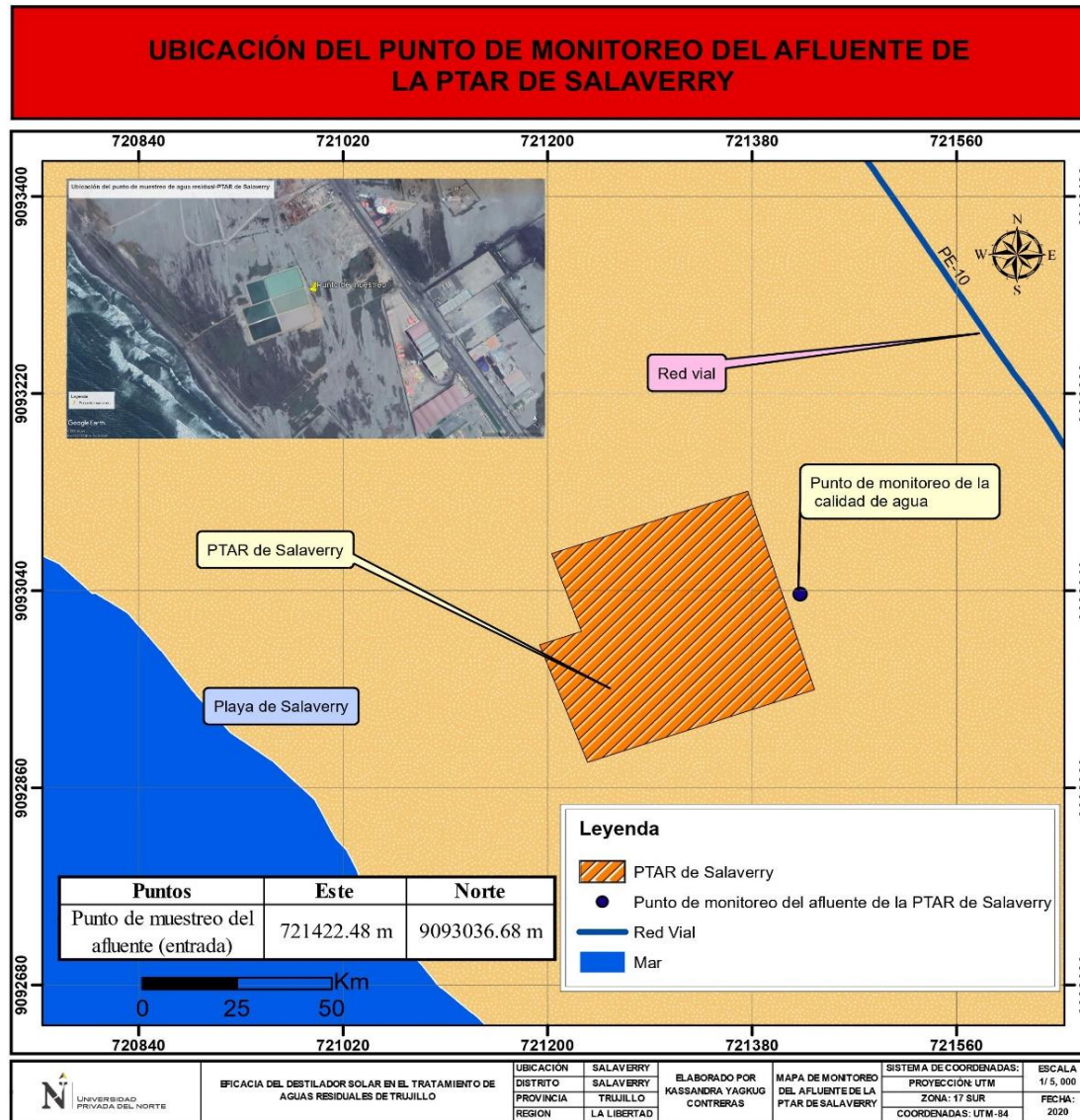
Figura 16. LMP para plantas de tratamiento de agua residual doméstica o municipal.

Fuente: Ministerio del ambiente (2010). Decreto Supremo N 003-2010-MINAM. Aprueba límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales. El peruano, pág.415676. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/DE39F6816BB3C53705257DCC00710E6F/\\$FILE/ds_003-2010-minam-LMP.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/DE39F6816BB3C53705257DCC00710E6F/$FILE/ds_003-2010-minam-LMP.pdf)

Anexo 5

Georreferenciación del punto de monitoreo del afluente de Planta de Tratamiento de
Salaverry y Covicorti





Anexo 6

Planta de tratamiento de agua residual de Salaverry



Anexo 7

Planta de tratamiento de agua residual de Covicorti



Anexo 8

Procedimiento para la construcción del destilador solar

	
<p>1. Primero se construye la estructura del destilador solar con láminas de acero inoxidable teniendo en cuenta el diseño y sus respectivas medidas.</p>	<p>2. Pintar el destilador solar de negro.</p>
	
<p>4. Perforamos dos agujeros, uno al costado de la canaleta para recoger el agua tratada y otro en la parte posterior del destilador para ingresar el agua residual.</p>	<p>5. En el interior de la parte frontal se colocó una pieza de vidrio de 5 cm x 60 para formar la canaleta de recepción el agua tratada.</p>
	
<p>5. Pegamos los tubos de media con las llaves de control en la parte posterior del destilador solar.</p>	<p>6. Finalmente se pega la manguera transparente en el agujero del costado derecho inferior del destilador con soldimix para evitar fugas.</p>

Anexo 9

Recolección de la muestra del afluente de las plantas de tratamiento de agua residual de
Salaverry y Covicorti



Anexo 10

Etiqueta para muestras

Nombre de la PTAR:	
Denominación del punto de monitoreo (afluente o efluente):	
No. de muestra (orden de toma de muestra)	
Fecha y hora	
Ensayo físico químico	<input type="checkbox"/> DBO <input type="checkbox"/> DQO <input type="checkbox"/> AyG <input type="checkbox"/> SST
Ensayo microbiológico	<input type="checkbox"/> CTT
Otros parámetros	
Otros parámetros	
Preservación	
Operador del muestreo	

Figura 17. Etiqueta de datos

Nota. Los etiquetados contienen información sobre la muestra recolectada deben ser rotulados con letra legible para evitar confusiones. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2013). Protocolo de monitoreo de la calidad de agua de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales . Págs.10-23.

Anexo 11

Registro de la cadena de custodia sobre los datos de la PTAR de Salaverry

Formato de análisis

Nombre de la PTAR:														
Muestra	Afluente	Efluente	Fecha	Hora toma de muestra	tipo de frasco	Volumen	Reactivos preservación	Parámetro a ser medido						Observaciones
								pH	A y G	DBO	DQO	SST	CTT	
1	X		16-01-2020	7:40am	Ambar y Plástico	500 ml 500 ml		X	X	X	X	X	X	AR de la PTAR Salaverry
2	X		21-01-2020	7:10am	Ambar y Plástico	500 ml 500 ml		X	X	X	X	X	X	AR de la PTAR Salaverry
Hora de transporte:														




Responsable de la PTAR			Operador del muestreo			Custodia de la muestra			Recepción en laboratorio				
Nombres y apellidos	institución	firma	Nombres y apellidos	institución	firma	Nombres y apellidos	institución	firma	Nombres y apellidos	institución	firma	Hora	Fecha
			Kassandra Yagkug Contreras	UPN		Kassandra Yagkug Contreras	UPN		Kassandra Yagkug Contreras	UPN		5:20pm 5:15pm	16-01-2020 21-01-2020

Figura 18. Cadena de custodia de la muestra de Salaverry

Nota. La cadena de custodia indica los parámetros que se van a evaluar de la muestra de agua recolectada. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2013). Protocolo de monitoreo de la calidad de agua de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales . Pág.11.

Anexo 12

Cadena de custodia para registrar los datos de la PTAR de Covicorti




Nombre de la PTAR:														
Muestra	Afluente	Efluente	Fecha	Hora toma de muestra	tipo de frasco	Volumen	Reactivos preservación	Parámetro a ser medido						Observaciones
								pH	A y G	DBO	DQO	SST	CTT	
1	X		16-01-2020	4:35am	Ambur y Plastico	500ml 500ml		X	X	X	X	X	X	AR de la PTAR Covicorti
2	X		21-01-2020	7:30am	Ambur y Plastico	500ml 500ml		X	X	X	X	X	X	AR de la PTAR Covicorti
Hora de transporte:														
Responsable de la PTAR			Operador del muestreo			Custodia de la muestra			Recepción en laboratorio					
Nombres y apellidos	institución	firma	Nombres y apellidos	institución	firma	Nombres y apellidos	institución	firma	Nombres y apellidos	institución	firma	Hora	Fecha	
			Merenciana Sanchez Asido	UPN		Merenciana Sanchez Asido	UPN		Merenciana Sanchez Asido	UPN		3:35pm 3:35pm	16-01-2020 21-01-2020	

Figura 19. Cadena de custodia de la muestra de Covicorti

Nota. La cadena de custodia indica los parámetros que se van a evaluar de la muestra de agua recolectada. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2013). Protocolo de monitoreo de la calidad de agua de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.




Anexo 13

Recolección de muestras en el afluente de las PTARs



Anexo 14

Procedimiento para la determinación de temperatura en el afluente.

<p>(1) Identificar el punto de muestreo</p>	<p>(2) Medir la temperatura del agua residual doméstica en el flujo de entrada introduciendo en termómetro en la muestra.</p>	<p>(3) Ver resultados que se registra en el sensor del termómetro</p>
		








Anexo 15

Procedimiento para la determinación de pH.

(1) Obtención de la muestra y los instrumentos y equipos necesarios (PH-metro- electrodo de PH) para llevar acabo el procedimiento.	(2) Colocar 50 ml de muestra en cada vaso de precipitación.	(3) Encender el PH- metro.
		
(6) Medir introduciendo en cada muestra el electrodo de PH. Tomar tres valores medidos por cada punto, para sacar un promedio final de cada punto.	(5) Esterilizar el electrodo de PH usando agua destilada.	(4) Calibrar el PH-metro con los estándares requeridos.
		





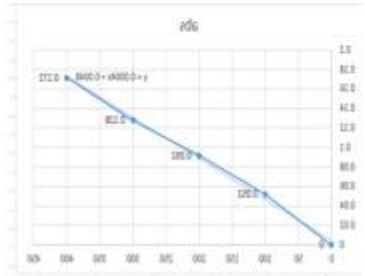



Anexo 16

Procedimiento para la determinación de sólidos totales en suspensión

<p>(1) Medir 150 ml de muestra en un vaso de precipitación.</p>	<p>(2) Pesar e papel filtro inicial que se coloca en la bomba al vacío.</p>	<p>(3) Colocar el papel filtro en la bomba al vacío.</p>	<p>(4) Agregar poco a poco los 150 ml de muestra.</p>
			
	<p>(7) Después del secado colocar en la balanza y ver el peso final.</p>	<p>(6) Llevar el crisol a la cocina eléctrica para que seque.</p>	<p>(5) Retirar el papel filtro lleno de partículas y colocarlo en un crisol.</p>
			




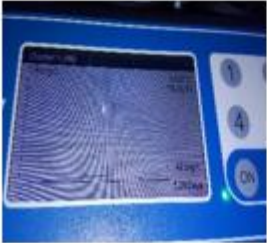


Anexo 17

Procedimiento para determinar la Demanda Química de Oxígeno

<p>(1) Colocar 2.5 mL de muestra o una dilución adecuada en el tubo de digestión</p>	<p>(2) Agregar a cada tubo de digestión 1.5 mL de solución de digestión</p>	<p>(3) Agregar 3.5mL de solución de ácido sulfúrico</p>	<p>(4) Invertir cada uno varias veces para mezclar completamente.</p>
			
<p>(8) Finalmente hacer una curva de calibración</p>	<p>(7) El resultado de las mediciones se da en las unidades de mg/L de demanda de oxígeno</p>	<p>(6) Después leer la muestra en el colorímetro</p>	<p>(5) Colocar los tubos en el termo reactor a una temperatura de 150°C durante 2 horas.</p>
			


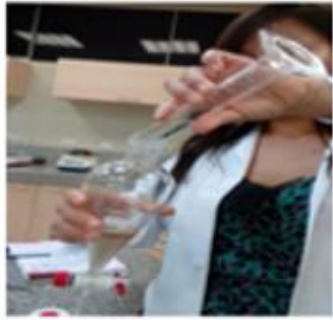





Anexo 18

Procedimiento para la determinación de la Demanda Biológica de Oxígeno

<p>(1) Se midió 90 ml de muestra en una probeta</p>	<p>(2) Agregar a la botella ámbar de 500 ml</p>	<p>(3) Luego se luego se adiciono un 1 sobre Búfer de nutrientes y una pastilla de agitación.</p>
		
<p>(6) Finalmente se realizó la lectura del resultado</p>	<p>(5) Se llevó a la incubadora por 5 días.</p>	<p>(4) Seguidamente se tapó y en la tapa se colocó 3 pastillas pellets</p>
		




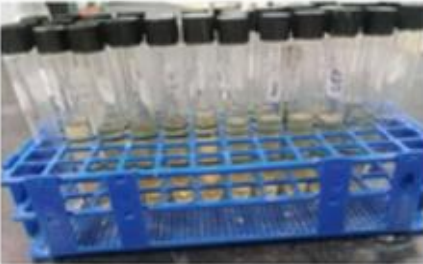
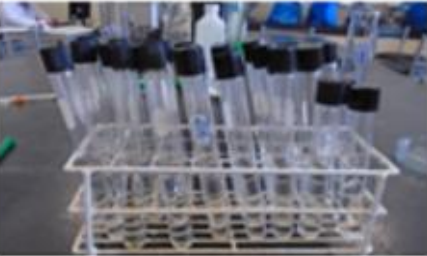
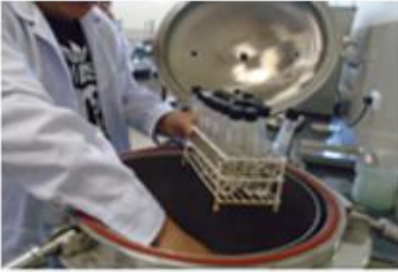
Anexo 19

Procedimiento para la determinación de aceites y grasas

<p>(1) Medir 20 ml de muestra y 10 ml de bencina.</p>	<p>(2) Colocar la muestra y la bencina en una pera de decantación.</p>	<p>(3) Mover las peras de decantación por 10 minutos hasta mezclar bien las sustancias.</p>	<p>(4) Dejar reposar para que las sustancias se separen.</p>
			
	<p>(7) Pesar el peso final del vaso</p>	<p>(6) Llevar el vaso de precipitación a baño María.</p>	<p>(5) Pesar el peso inicial del vaso y luego colocar la grasas que quedaron en la pera de decantación.</p>
			

Anexo 20

Procedimiento para la determinación de coliformes termotolerantes

<p>(1) Primero se esterilizo todos los materiales a utilizar</p>	<p>(2) Pesarse el medio EC y agregar a un matraz de 250 ml después adicionar agua destilada y llevar a la cocina.</p>	<p>(3) Luego se agrega 9 ml de cultivo a los 15 tubos de ensayo</p>
		
<p>(6) Finalmente llevar a baño María por 24 horas</p>	<p>(5) Luego se realizó las diluciones respectivas para cada hilera 10^{-4}, 10^{-5} y 10^{-6}.</p>	<p>(4) Después se esteriliza en el autoclave los tubos de ensayo hasta una temperatura de 121°C</p>
		

Anexo 21

Registros de los análisis de las muestras del afluente de la PTAR

Formato de análisis

Responsable de análisis	Kassandra Yagkug Contreras
Número de ID Card	N00162222
Docente	Wilberto Eggu Quezada
Laboratorio	Análisis instrumental


	Datos de control	Día	Mes	Año	Hora
1	Fecha/Hora de muestreo	16	01	2020	7:10 p.m
1	Fecha/ Hora de inicio análisis	17	01	2020	4:30 p.m
2	Fecha/Hora de muestreo	21	01	2020	7:10 p.m
2	Fecha/ Hora de inicio análisis	22	01	2020	4:00 p.m

Parámetro	pH
N° total de muestras	2
Características y presentación de muestras	

Nombre del equipo	pH-metro
Marca	Hach
Modelo	HANO

ITEM	Tipo de muestra	Unidad	1	2	3	Promedio	Desviación estándar	Coficiente de variación	Normativa (DS.N°003-2010 MINAM)	Normativa (DS.N°004-2017 MINAM)	Cumple/ No cumple
1	AT Covicorti	-	6.8	6.81	6.82	6.81	0.0081	0.001	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	Cumple
2	AT Covicorti	-	7.45	7.44	7.45	7.45	0.0057	0.0007	6.5 - 8.5	6.5 - 8.5	Cumple
3											
4											

FIRMA RESPONSABLE DEL ANALISIS



FIRMA Y SELLO DE RESPONSABLE DE LABORATORIO

Figura 20. Formatos para el análisis de muestra del afluente de la PTAR

Anexo 22

Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la muestra del afluente de la PTAR de Salaverry

Parámetros	Medición	Observaciones						Promedio	Desviación estándar
Temperatura (°C)	Antes	23.20	23.20	23.50	21.00	23.00	22.00	22.65	0.96
	Después	22.00	23.00	21.00	22.00	22.40	22.20	22.10	0.65
Sólidos solubles totales (mg/L)	Antes	166.00	170.00	165.00	207.00	218.00	220.00	191.00	26.71
	Después	5.00	4.50	7.90	6.50	7.50	7.00	6.40	1.37
	Remoción (%)	96.99	97.35	95.21	96.86	96.56	96.82	96.63	0.74
Aceites y grasas (mg/L)	Antes	33.00	34.00	32.90	28.00	31.00	28.00	31.15	2.63
	Después	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Remoción (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
pH	Antes	7.49	7.48	7.48	8.01	8.00	8.02	7.75	0.29
	Después	6.98	6.99	6.98	7.74	7.75	7.76	7.37	0.42
DBO (mg/L)	Antes	141.00	139.00	140.00	170.00	168.00	169.00	154.50	15.91
	Después	8.70	9.90	9.30	11.00	10.00	12.00	10.15	1.19
	Remoción (%)	93.83	92.88	93.36	93.53	94.05	92.90	93.42	0.48
DQO (mg/L)	Antes	320.00	365.00	365.00	400.00	389.10	368.90	368.00	27.54
	Después	14.00	18.00	16.00	18.50	18.00	17.50	17.00	1.70
	Remoción (%)	95.63	95.07	95.62	95.38	95.37	95.26	95.39	0.21
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	Antes	2.0E+06	1.9E+06	2.1E+06	2.3E+05	2.2E+05	2.0E+05	1.1E+06	9.8E+05
	Después	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00	0.0E+00
	Remoción (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00

Anexo 23

Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la muestra del afluente de la PTAR de Covicorti

Parámetros	Medición	Observaciones						Promedio	Desviación estándar
Temperatura (°C)	Antes	24.40	23.00	24.00	23.00	23.10	22.60	23.35	0.69
	Después	22.00	23.00	24.00	22.00	22.00	22.00	22.50	0.84
Sólidos solubles totales (mg/L)	Antes	449.80	449.00	449.10	791.00	790.00	786.00	619.15	186.07
	Después	4.50	5.80	5.60	7.00	6.50	6.00	5.90	0.85
	Remoción (%)	99.00	98.71	98.75	99.12	99.18	99.24	99.00	0.22
Aceites y grasas (mg/L)	Antes	125.00	124.00	129.00	160.00	170.00	120.00	138.00	21.34
	Después	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Remoción (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00
pH	Antes	7.74	7.74	7.74	8.23	8.25	8.26	7.99	0.28
	Después	6.80	6.81	6.82	7.45	7.44	7.45	7.13	0.35
DBO (mg/L)	Antes	245.00	230.00	215.00	255.00	260.00	235.00	240.00	16.73
	Después	16.00	14.00	15.00	16.00	18.00	17.00	16.00	1.41
	Remoción (%)	93.47	93.91	93.02	93.73	93.08	92.77	93.33	0.45
DQO (mg/L)	Antes	580.00	540.00	560.00	618.00	602.00	610.00	585.00	30.59
	Después	24.00	22.00	23.00	26.00	24.00	25.00	24.00	1.41
	Remoción (%)	95.86	95.93	95.89	95.79	96.01	95.90	95.90	0.07
Coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	Antes	5.94E+07	6.10E+07	5.80E+07	4.09E+07	4.15E+07	4.05E+07	5.0E+07	1.0E+07
	Después	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.0E+00	0.0E+00
	Remoción (%)	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	0.00

Anexo 24

Factores ambientales durante el tratamiento del agua residual del afluente de la PTAR de
Salaverry

Temperatura (°C)		Humedad (%)	Radiación	Volumen de agua tratada de Salaverry
Interna	Externa			
35.03	24.67	81.00	603.83	350.00
34.80	23.67	83.33	491.50	250.00
37.27	23.26	78.33	629.53	432.00
34.70	23.35	77.00	537.60	290.00
37.00	24.43	76.67	617.37	384.00
31.33	25.17	77.67	488.40	240.00
32.33	25.96	74.67	400.50	238.00
31.13	25.89	71.67	292.90	230.00
36.53	25.56	74.00	494.50	257.00
27.20	25.00	84.00	201.20	200.00
33.73	24.70	77.83	475.73	287.10
3.20	1.00	3.99	141.09	76.09

Anexo 25

Factores ambientales durante el tratamiento del agua residual del afluente de la PTAR de
Covicorti

Temperatura (°C)		Humedad (%)	Radiación	Volumen de agua tratada de Covicorti
Interna	Externa			
34.83	24.67	81.00	603.83	295.00
34.93	23.67	83.33	491.50	229.00
37.40	23.26	78.33	629.53	350.00
33.30	23.35	77.00	537.60	270.00
37.17	24.43	76.67	617.37	300.00
31.37	25.17	77.67	488.40	210.00
32.30	25.96	74.67	400.50	205.00
31.17	25.89	71.67	292.90	198.00
36.63	25.56	74.00	494.50	237.00
27.27	25.00	84.00	201.20	190.00
33.64	24.70	77.83	475.73	248.40
3.20	1.00	3.99	141.09	53.16

Anexo 26

Volumen de agua destilada

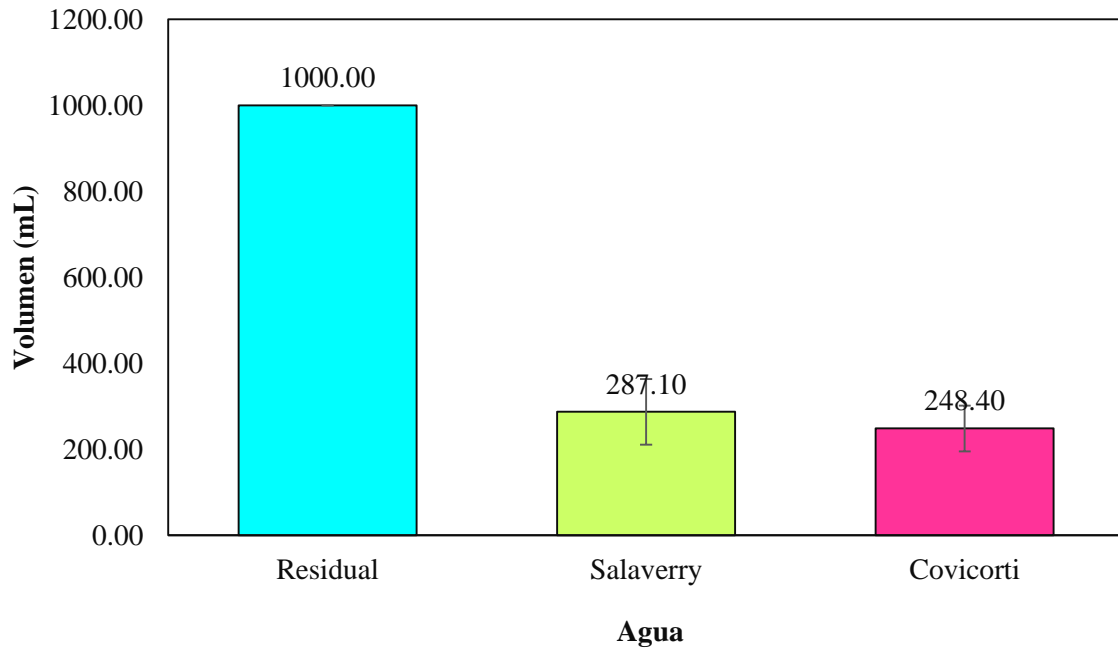


Figura 21. Volumen de agua destilada

Nota. En la Figura 18 se muestra el volumen de agua destilada generada por cada destilador solar a partir de la introducción de 1 litro de agua residual. Se demuestra que el afluente de la PTAR de Salaverry destila unos ml más que la PTAR de Covicorti.

Tabla 14

Volumen de agua tratada durante 10 días desde 16/01/2020 hasta el 25/01/2020

Volumen de agua residual	Volumen de agua tratada	
	Salaverry	Covicorti
1000	350	295
1000	250	229
1000	432	350
1000	290	270
1000	384	300
1000	240	210
1000	238	205
1000	230	198
1000	257	237
1000	200	190
1000.00	287.10	248.40
0.00	76.09	53.16

Anexo 27

Temperatura interna de los destiladores y ambiental

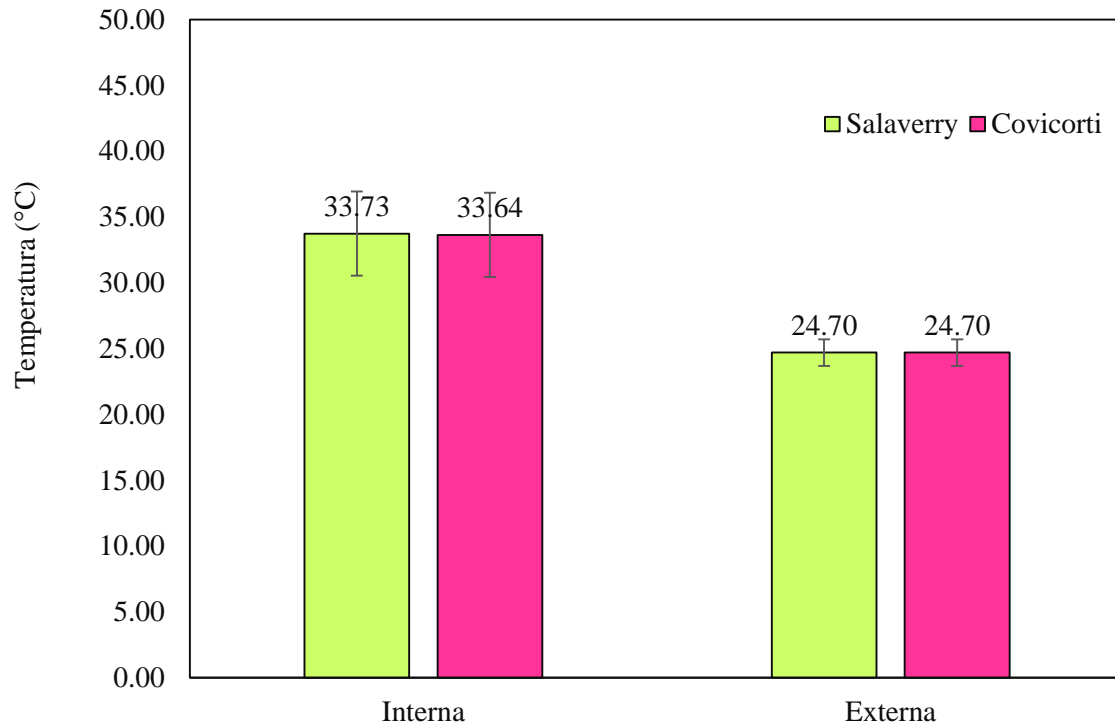


Figura 22. Temperatura interna y ambiental

Nota. En la Figura 19 se observa la temperatura promedio interna y externa del destilador solar de Salaverry y Covicorti. Se muestra que la temperatura interna del dispositivo es mayor a la externa, debido a que se encuentra herméticamente cerrado.

Anexo 28

Humedad ambiental

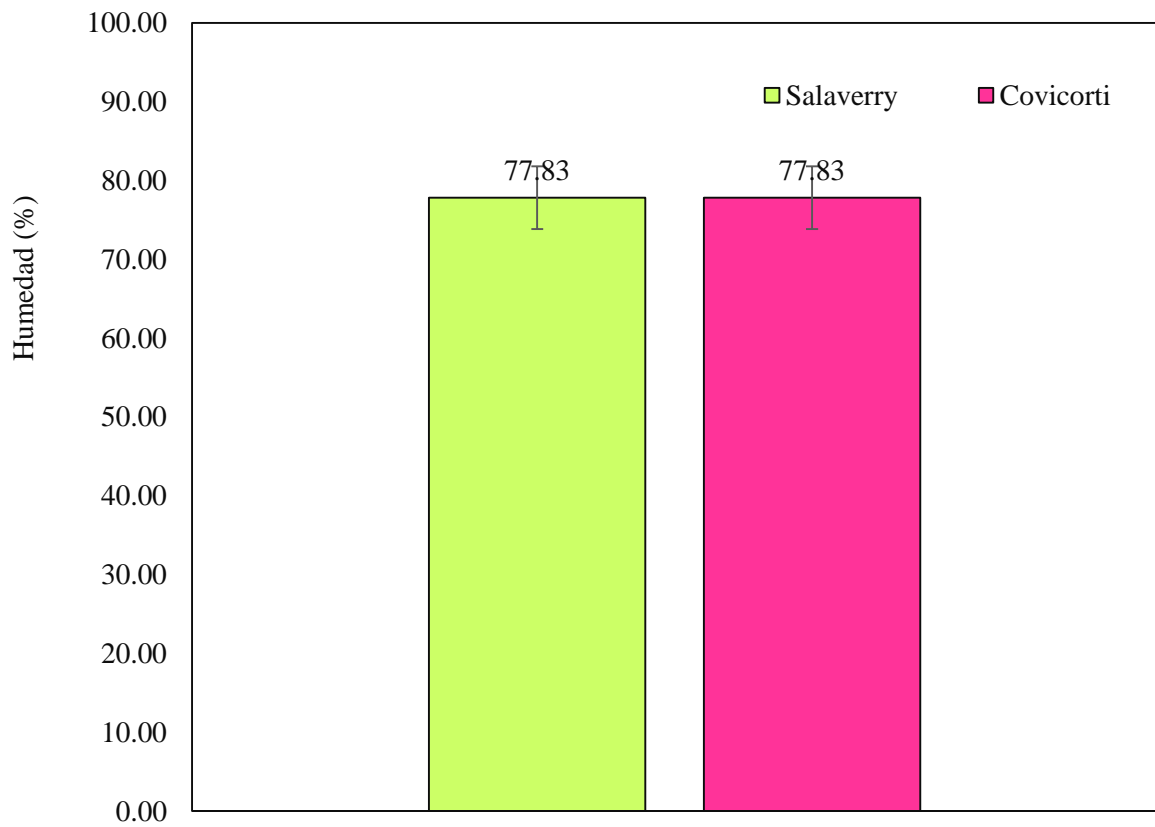


Figura 23. Humedad ambiental

Nota. En el anexo 24 y 25 se muestra el porcentaje de humedad promedio de ambos destiladores.

Anexo 29
Radiación solar

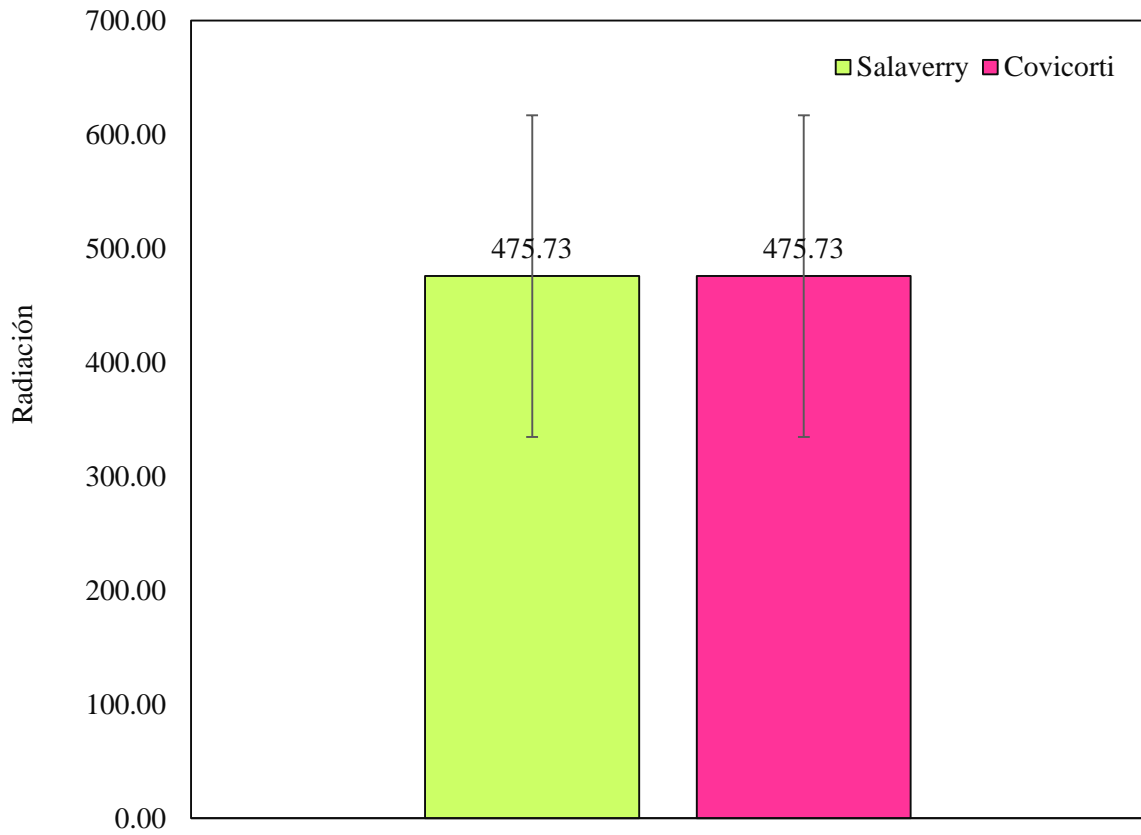


Figura 24. Radiación solar

Nota. En la Figura se observa el promedio de la radiación solar de los 10 días de experimentación. Es la misma radiación solar para ambos destiladores.

Anexo 30

Temperatura de las muestras de la PTAR de Salaverry antes y después del destilado

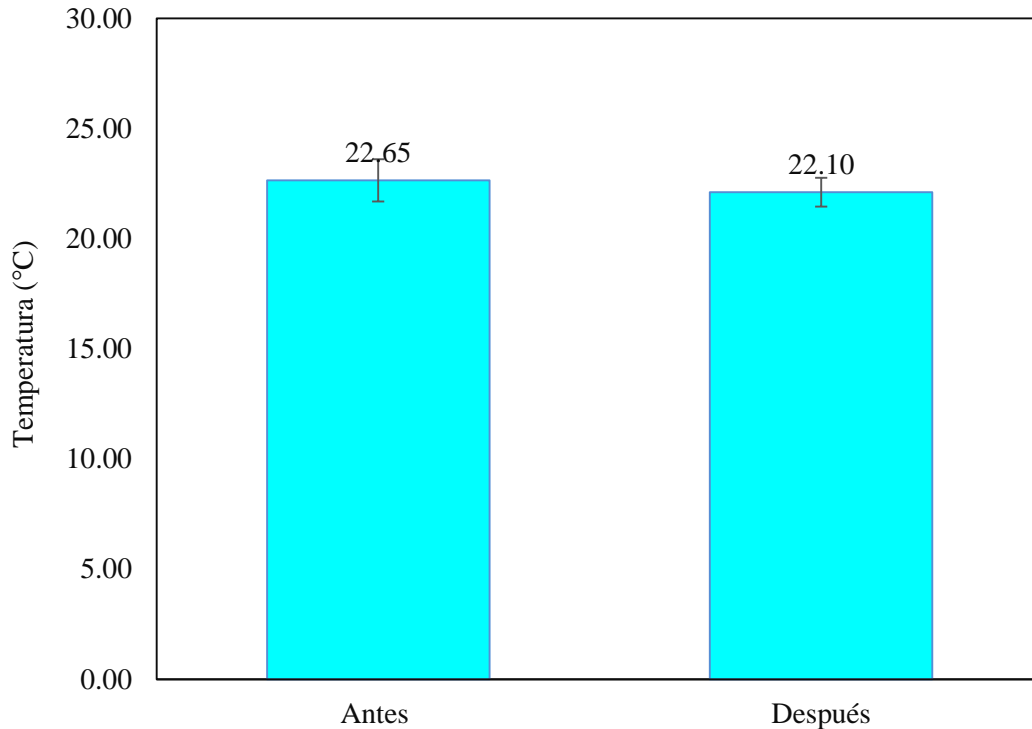


Figura 25. Temperatura de la muestra de la PTAR de Salaverry

Tabla 15:

Temperatura de la muestra de la PTAR de Salaverry

Medición	Diferencias emparejadas			t	Grados de libertad	p
	Media	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
		Inferior	Superior			
Antes - Después	0.55	-0.72	1.82	1.11	5	0.316

Nota. Se observa que la temperatura antes del tratamiento de aguas residuales fue de 22.65 °C, posterior al uso del destilador solar de una vertiente la temperatura fue de 22.10 °C; según la prueba de t-Student para grupos relacionados no existió efecto ($p \geq 0.05$).

Anexo 31

Temperatura de las muestras de la PTAR de Covicorti antes y después del destilado

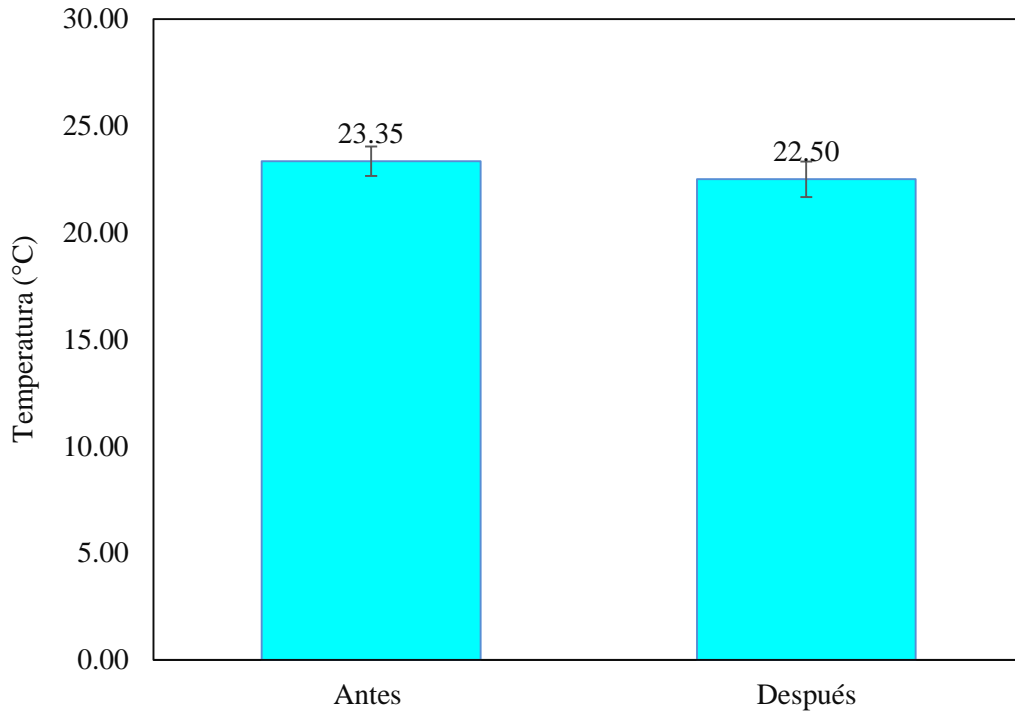


Figura 26. Temperatura de la muestra de la muestra de la PTAR de Covicorti

Tabla 16

Temperatura de la muestra de la muestra de la PTAR de Covicorti

Medición	Diferencias emparejadas			t	Grados de libertad	p
	Media	95% de intervalo de confianza de la diferencia				
		Inferior	Superior			
Antes - Después	0.85	-0.09	1.79	2.33	5	0.067

Nota. Se observa que la temperatura antes del tratamiento de aguas residuales fue de 23.35 °C, posterior al uso del destilador solar de una vertiente la temperatura fue de 22.50 °C; según la prueba de t-Student para grupos relacionados no existió efecto ($p \geq 0.05$).

Anexo 32

Tipos de destiladores solares

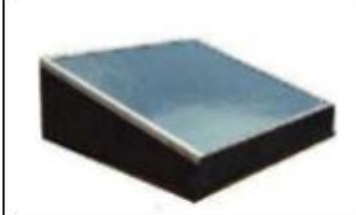

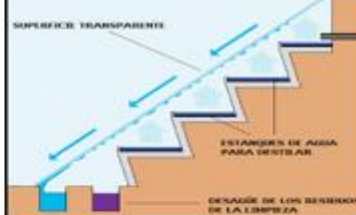
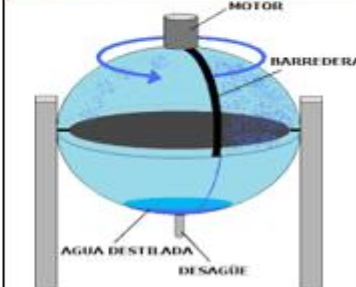
Tipos de destiladores	Características general	Diseño
Destilador solar de una vertiente	Modelo de destilador más sencillo de estructura	
Destilador solar de dos vertientes	Modelo más conocido y difundido en el mundo	
Destilador solar escalera o cascada	Modelo con una mejor acumulación de energía térmica	
Destilador solar esférico de barrera	Modelo más completo y eficiente	

Figura 27. Tipos de destiladores solares

Nota. En la Figura se observa los tipos de destiladores y sus características de cada uno de ellos.