



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL FORESTAL**



**"SISTEMA HÍBRIDO FOTOQUÍMICO - FOTOVOLTAICO PARA LA
DESINFECCIÓN DEL AGUA DE POZO Y GENERACIÓN
SIMULTÁNEA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
LA CIUDAD DE JULIACA, 2019"**

Bach. Dany Coaquira Mamani

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor de Tesis:

Dr. José Luis Pineda Tapia

Co-Asesor(a):

Dra. Natalia Pichel Mira

JULIACA, Perú

2021



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL FORESTAL**



**“SISTEMA HÍBRIDO FOTOQUÍMICO - FOTOVOLTAICO PARA LA
DESINFECCIÓN DEL AGUA DE POZO Y GENERACIÓN
SIMULTÁNEA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
LA CIUDAD DE JULIACA, 2019”**

Bach. Dany Coaquira Mamani

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor de Tesis:

Dr. José Luis Pineda Tapia

Co-Asesor(a):

Dra. Natalia Pichel Mira

JULIACA, Perú

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL**



**“SISTEMA HÍBRIDO FOTOQUÍMICO - FOTOVOLTAICO PARA LA
DESINFECCIÓN DEL AGUA DE POZO Y GENERACIÓN
SIMULTÁNEA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
LA CIUDAD DE JULIACA, 2019”**

Bach. Dany Coaquira Mamani

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor de Tesis:

Dr. José Luis Pineda Tapia

Co-Asesor(a):

Dra. Natalia Pichel Mira

Juliaca, Perú

2021

Ficha Catalográfica

Coaquira, D. (2021). *Sistema híbrido fotoquímico - fotovoltaico para la desinfección del agua de pozo y generación simultánea de energía eléctrica en la ciudad de Juliaca, 2019*. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Dany Coaquira Mamani

TÍTULO: Sistema híbrido fotoquímico - fotovoltaico para la desinfección del agua de pozo y generación simultánea de energía eléctrica en la ciudad de Juliaca, 2019.

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2021

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (89pp)

NOTA: Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal – Universidad Nacional de Juliaca

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal

CÓDIGO: 01-000010-02/C72

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR DE TESIS: Dr. José Luis Pineda Tapia

CO-ASESOR(A) DE TESIS: Dra. Natalia Pichel Mira

PALABRAS CLAVE: Agua potable, sistema híbrido, cinética de desinfección, desinfección solar del agua, indicadores microbiológicos.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL Y FORESTAL**

**“SISTEMA HÍBRIDO FOTOQUÍMICO - FOTOVOLTAICO PARA LA
DESINFECCIÓN DEL AGUA DE POZO Y GENERACIÓN
SIMULTÁNEA DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN
LA CIUDAD DE JULIACA, 2019”**

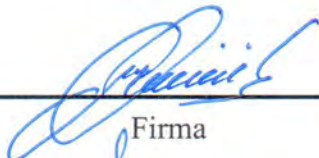
TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Presentado por:

Bach. Dany Coaquira Mamani

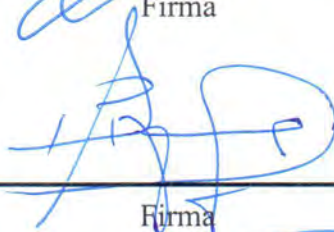
Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

Dr. Wile Mamani Navarro
PRESIDENTE DEL JURADO



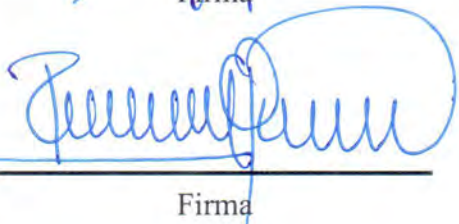
Firma

Dr. Henry Pizarro Viveros
JURADO (segundo miembro)



Firma

M.Sc. Reynaldo Condori Yucra
JURADO (tercer miembro)



Firma

Dr. José Luis Pineda Tapia
ASESOR DE TESIS



Firma

Dra. Natalia Pichel Mira
CO-ASESOR(A) DE TESIS

**PICHEL MIRA
NATALIA -
78804074W**

Firmado digitalmente por PICHEL MIRA
NATALIA - 78804074W
Nombre de reconocimiento (DN): c=ES,
serialNumber=IDCES-78804074W,
givenName=NATALIA, sn=PICHEL MIRA
cn=PICHEL MIRA NATALIA - 78804074W
Fecha: 2021.07.19 15:49:44 +01'00'

Firma

A mi madre Elsa

*Por su apoyo incondicional,
ejemplo de perseverancia y constancia
con el que me ha educado.*

A mi padre Constantino

*Por sus consejos y su esfuerzo
constante, para que sea una persona de bien.*

A mis hermanos Yony, Luz Angela, Jhiunior y Jhon

*Por la motivación de seguir adelante, tratando
de ser un ejemplo para ellos.*

AGRADECIMIENTOS

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca, por darme la oportunidad de formarme académicamente en el campo que me apasiona. En especial al Dr. Oswaldo Luiz Obregón y el Dr. Zoilo Wilfredo Zamalloa Masias, que marcaron gran parte de mi desarrollo profesional, que más allá de ser autoridades y maestros, supieron guiarme adecuadamente en el campo académico y científico.

Al Dr. José Luis Pineda Tapia, Asesor de la investigación - Tesis, por brindarme su tiempo y conocimiento para absolver cada una de las interrogantes. Además, por su invaluable aporte en la dirección y apoyo a la presente investigación.

A la Dra. Natalia Pichel Mira, Co-Asesora de la investigación - Tesis, por el soporte continuo en todo proceso de investigación, así como sus observaciones, recomendaciones y su apoyo valioso en la redacción; sobre todo por su aporte científico sobre el cual se ha basado toda la investigación - Tesis.

A mis compañeros, Lisbeth Carina y Maribel Jara integrantes de la Sociedad de Investigación ACh₂O, por su apoyo directo en la ejecución experimental de esta Investigación - Tesis.

A los maestros, Deyna Lozano Ccopa y José Macedo Tristán por su apoyo y correcciones en la traducción del resumen de este trabajo de investigación - Tesis.

A la escuela Profesional de Ingeniería en Energías Renovables, por su apoyo con la información de base de datos de las condiciones ambientales de la zona de experimentación, en especial al Dr. Norman Jesús Beltrán Castañón por su disposición en colaborar con todos los estudiantes de la UNAJ.

A las autoridades de la Universidad Nacional de Juliaca, por brindarme las facilidades de la infraestructura universitaria para la ejecución de la Tesis, así como el personal administrativo que labora en universidad.

A los miembros del jurado por las revisiones y sugerencias brindadas a lo largo del desarrollo experimental y redacción para el enriquecimiento de esta investigación - Tesis.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
ÍNDICE GENERAL.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I.....	4
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.1. Situación Problemática.....	4
1.2. Formulación del Problema.....	5
1.2.1. Interrogante general:.....	5
1.2.2. Interrogantes específicas:.....	5
1.3. Hipótesis de la Investigación.....	5
1.3.1. Hipótesis general.....	5
1.3.2. Hipótesis específicas.....	5
1.4. Objetivos de la Investigación.....	6
1.4.1. Objetivo general.....	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
1.5. Justificación de la Investigación.....	6
1.5.1. Justificación técnica, tecnológica.....	6
1.5.2. Justificación económica.....	6
1.5.3. Justificación ambiental.....	7
1.5.4. Justificación social.....	7

CAPÍTULO II.....	8
2. REVISIÓN DE LITERATURA	8
2.1. Antecedentes.....	8
2.1.1. Antecedentes internacionales	8
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	12
2.2. Marco Teórico	13
2.2.1. Sistema híbrido (fotoquímico-fotovoltaico)	13
2.2.2. El agua	13
2.2.3. Composición del agua	14
2.2.4. Agua potable.....	14
2.2.5. Desinfección Agua	14
2.2.6. <i>Escherichia coli</i>	15
2.2.7. Cinética de desinfección.....	15
2.2.8. Energía solar	16
2.2.9. Radiación solar	17
2.2.10. Espectro de radiación solar.....	17
2.2.11. Desinfección solar del agua.....	18
2.2.12. Desinfección ultravioleta (UV)	19
2.2.13. Tecnologías térmicas (calor)	20
2.2.14. Recurso Solar en Puno Perú	20
2.2.15. Sistemas de captación de la energía solar.....	21
2.2.16. Pozos artesianos.....	21
CAPÍTULO III	22
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1. Diseño, Materiales y Fabricación	22
3.1.1. Diseño de prototipo sistema híbrido.....	22

3.1.2. Materiales y equipos para fabricación del sistema híbrido.....	23
3.1.3. Materiales y equipos para la recolección de datos	23
3.1.4. Materiales, reactivos y equipos para el análisis de agua	23
3.1.5. Construcción y ensamblado.....	24
3.1.6. Aspectos técnicos de componentes de los sistemas híbridos	25
3.2. Metodología de la Investigación	26
3.2.1. Ámbito de estudio.....	26
3.2.2. Tiempo necesario de desinfección solar del agua de pozo, para los indicadores microbiológicos coliformes totales y <i>Escherichia coli</i>	27
3.2.3. Estimación de la capacidad de aprovechamiento de la radiación solar remanente	32
3.2.4. Cálculo de los costos de desinfección solar del agua de pozo.....	36
CAPÍTULO IV	38
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1. Tiempo de Desinfección Solar del Agua de Pozo, para los Indicadores Microbiológicos.....	38
4.1.1. Variación de la concentración bacteriana en distintos tiempos de tratamiento. 38	
4.1.2. Tiempo para la desinfección solar del agua de pozo artesiano.....	39
4.1.3. Análisis fisicoquímico de referencia de las muestras de agua.....	43
4.2. Capacidad de Aprovechamiento de la Radiación Solar Remanente.....	48
4.2.1. Resultado experimental base: cálculo de salida de potencia DC.....	48
4.2.2. Resultado experimental base: salida de corriente y voltaje (DC).....	49
4.2.3. Resultado experimental conclusivo: cálculo de salida de potencia DC	52
4.2.4. Resultado experimental conclusivo: salida de corriente y voltaje (DC)	53
4.3. Costos de Desinfección Solar del Agua de Pozo.....	56
4.3.1. Costo fijo de desinfección	56
4.3.2. Costo variable de desinfección	57

4.3.3. Costo total de desinfección.....	57
4.3.4. Comparación de costos con otras tecnologías	58
CAPÍTULO V	60
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
5.1. Conclusiones.....	60
5.1. Recomendaciones	61
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXOS.....	67
Anexo 1. Galería de imágenes.....	67
Anexo 2. Costos de sistema de cloración	69
Anexo 3. Salida de parámetros eléctricos base de corriente, tensión y voltaje DC correspondiente al PE_00A	70
Anexo 4. Salida de parámetros eléctricos base de corriente, tensión y voltaje DC correspondiente al PE_00B	72
Anexo 5. Salida de parámetros eléctricos conclusivo de corriente, tensión y voltaje DC correspondiente al PE_07	74
Anexo 6. Salida de parámetros eléctricos conclusivo de corriente, tensión y voltaje DC correspondiente al PE_08	76

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Efectos de la desinfección solar (radiación solar UV + efectos térmicos).....</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 2. Efectos de la desinfección por irradiación UV</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 3. Efectos de la desinfección térmica (por ejemplo, ebullición)</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 4. Radiación solar promedio diario anual en kW-h/m² de Puno.</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 5. Datos técnicos de los módulos fotovoltaicos proporcionados por el fabricante ..</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 6. Ubicación del desarrollo de los procedimientos experimentales</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 7. Ubicación de pozos de muestreo, de agua para consumo humano</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 8. Serie de configuraciones experimentales para la evaluación de cinética de desinfección solar y salida de energía fotovoltaica</i>	<i>28</i>
<i>Tabla 9. Frecuencia de obtención de muestras de agua sometidas a experimentación en sistema híbrido (PE_07 y PE_08)</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 10. Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 11. Variación de la concentración bacteriana en las muestras de agua tratada y sin tratar PE_07.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 12: Variación de la concentración bacteriana en las muestras de agua tratada y sin tratar PE_08.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 13. Resultados de variación de parámetros fisicoquímicos antes y después del tratamiento por el sistema híbrido</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 14. Costo de materiales y equipos para la fabricación del sistema híbrido.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 15. Costo de operación y mantenimiento para la desinfección solar del agua de pozo</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 16. Costo fijo de desinfección mediante tecnología de cloración.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 17. Costo variable de desinfección mediante tecnología de cloración.....</i>	<i>58</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Tipos de curvas de inactivación observadas para microorganismos.</i>	<i>16</i>
<i>Figura 2. Esquema del sistema híbrido (fotoquímico + fotovoltaico)</i>	<i>22</i>
<i>Figura 3. Acondicionamiento de los sistemas híbridos sobre listones de madera.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura 4. Diagrama de flujo para la construcción del sistema híbrido</i>	<i>25</i>
<i>Figura 5. Zona de procedimiento experimental, 4° piso pabellón administrativo UNAJ... </i>	<i>27</i>
<i>Figura 6. Configuraciones experimentales, a. procedimiento experimental base, b. procedimiento experimental piloto y conclusivo.</i>	<i>29</i>
<i>Figura 7. Muestras de agua de pozo, envasadas para el uso en los procedimientos experimentales</i>	<i>30</i>
<i>Figura 8. Interfaz proyectada, de la monitorización de parámetros ambientales.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 9. Obtención de datos de la salida de energía eléctrica</i>	<i>34</i>
<i>Figura 10. Calculador para termistor de Stanford Research Systems</i>	<i>35</i>
<i>Figura 11. Forma de alimentación del sensor de temperatura DS18B20</i>	<i>36</i>
<i>Figura 12. Esquema para la recolección de datos de temperatura</i>	<i>36</i>
<i>Figura 13. Cinética de desinfección solar para coliformes totales y E. coli. (PE_07).....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 14. Cinética de desinfección solar para coliformes totales y E. coli (PE_08).....</i>	<i>42</i>
<i>Figura 15. Variación de turbiedad todas las muestras de agua</i>	<i>45</i>
<i>Figura 16. Variación de conductividad eléctrica en todas las muestras de agua</i>	<i>46</i>
<i>Figura 17. Variación de pH en todas las muestras de agua</i>	<i>46</i>
<i>Figura 18. Variación de temperatura en todas las muestras de agua</i>	<i>47</i>
<i>Figura 19. Variaciones del cálculo de salida de potencia DC e irradiancia global para el PE_00A.....</i>	<i>48</i>
<i>Figura 20. Variaciones del cálculo de salida de potencia DC para el PE_00B.....</i>	<i>49</i>

<i>Figura 21. Variaciones de la medición de salida de corriente DC e irradiancia global correspondiente al PE_00A.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 22. Variaciones de la medición de salida de corriente DC correspondiente al PE_00B.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 23. Variaciones de la medición de salida de tensión DC e de irradiancia global correspondiente al PE_00A.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 24. Variaciones de la medición de salida de tensión DC e irradiancia global correspondiente al PE_00B.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 25. Variaciones del cálculo de salida de potencia DC e irradiancia global para el PE_07.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 26. Variaciones del cálculo de salida de potencia DC e irradiancia global para el PE_08.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 27. Variaciones de la medición de salida de corriente DC e irradiancia global correspondiente al PE_07.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 28. Variaciones de la medición de salida de corriente DC e irradiancia global correspondiente al PE_08.....</i>	<i>54</i>
<i>Figura 29. Variaciones de la medición de salida de tensión DC e irradiancia global correspondiente al PE_07.....</i>	<i>55</i>
<i>Figura 30. Variaciones de la medición de salida de tensión DC e irradiancia global correspondiente al PE_08.....</i>	<i>55</i>

RESUMEN

La falta de acceso al agua potable en el mundo, es uno de los principales retos que enfrenta la humanidad. Para ello se construyó y experimentó una nueva alternativa basada en un sistema híbrido que aprovecha todo el espectro de radiación solar; en donde se evaluó la cinética de desinfección solar del agua de pozo para los indicadores microbiológicos coliformes totales y *Escherichia coli*, a su vez se determinó el tiempo necesario de tratamiento, capacidad de aprovechamiento y costos de tratamiento. Para ello se realizaron varias series de procedimientos experimentales, con periodos de 180 y 135 minutos de tratamiento; empezando con la extracción del agua de pozo, para posteriormente envasarlo en los ocho sistemas híbridos para la exposición a la radiación solar natural, los cuales se sometieron a distintos tiempos de tratamiento, dándose por concluido uno por uno hasta finalizar con el octavo sistema híbrido, el cual a su vez estuvo acondicionado con distintos sensores. Los resultados revelaron que para la desinfección completa del agua se requirieron de 90 a 105 minutos de tratamiento, además la temperatura del agua en el periodo de tratamiento jugó un papel importante conforme a la curva de cinética de desinfección, a pesar de ello apenas alcanzó el umbral de los 45 °C; en cuanto a la salida de energía fotovoltaica del sistema híbrido fue menor en 9,01 y 8,72 % respecto al módulo fotovoltaico de referencia, pero se mantuvieron por encima de la ficha técnica del fabricante. Se concluye que, para la obtención de agua potable de manera segura, considerando parámetros microbiológicos el uso de esta tecnología es viable y a costo cero, además integró de manera óptima las funciones de generación de energía fotovoltaica y desinfección solar del agua, siendo así, química y energéticamente independiente, un sistema híbrido sostenible.

Palabras Clave: Agua potable, sistema híbrido, cinética de desinfección, desinfección solar del agua, indicadores microbiológicos.

ABSTRACT

The lack of access to drinking water in the world is one of the main challenges that humanity deals with. For this, a new alternative based on a hybrid system that takes advantage of the entire spectrum of solar radiation was built and experimented; where the kinetics of solar disinfection of well water has been evaluated for the microbiological indicators total coliforms and *Escherichia coli*, likewise the necessary time of treatment, use capacity, and treatment costs were determined. For this, several series of experimental procedures have been carried out, with periods of 180 and 135 minutes of treatment; starting with the extraction of the well water. After that packaging it in the eight hybrid systems for exposure to natural solar radiation, all of them were submitted to different treatment times, being concluded one by one until the eighth hybrid system was completed, which at the same time was conditioned with different sensors. The results revealed that for the complete disinfection of the water, 90 to 105 minutes of treatment were required. Furthermore, the water temperature in the treatment period played an important role according to the disinfection kinetic curve, nonetheless, it hardly reached the 45 °C of the threshold. Regarding the photovoltaic energy output of the hybrid system, it was lower by 9.01 and 8.72 % compared to the reference photovoltaic module, but they remained above the manufacturer's technical datasheet. It is concluded that, to obtain drinking water safely, considering microbiological parameters, the use of this technology is viable and at zero cost, in addition to it integrated the functions of photovoltaic energy generation and solar water disinfection optimally, being thus, chemical and energetically independent, a sustainable hybrid system.

Keywords: Drinking water, hybrid system, disinfection kinetics, solar water disinfection, microbiological indicators.

INTRODUCCIÓN

El agua es esencial para la calidad de vida como lo indica la Organización Mundial de la Salud [OMS] (2020) y en los últimos años está en el epicentro del desarrollo sostenible, siendo fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía, la producción de alimentos, los ecosistemas, adaptación al cambio climático; y es un decisivo vínculo entre la sociedad y medio ambiente (Naciones Unidas, 2020). Además, afecta a todos los aspectos del desarrollo y se relaciona con la mayoría de los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) con ello impulsa el desarrollo económico, apoya los ecosistemas saludables y es fundamental para la vida (Banco Mundial, 2019). Quedando muy clara la importancia de este recurso, y el papel que juega en el desarrollo y subsistencia de la humanidad, el agua dulce disponible no alcanza el 0,5 %, de la totalidad del agua existente (Autoridad Nacional de Agua [ANA], 2020). En el Perú, a pesar de estar privilegiados con este recurso, según Manuel Pulgar Vidal, *“aunque el país ocupa el puesto 20 en disponibilidad hídrica en el mundo, existen muchos problemas para la distribución y acceso al agua”* (Perú21, 2019).

En la búsqueda de nuevas tecnologías para satisfacer las necesidades de acceso al agua potable, aparece un nuevo concepto que, constituye un sistema híbrido de purificación del agua y generación de energía fotovoltaica de manera simultánea, propuesta por Vivar, Skryabin, Everett, & Blakers (2010), siendo esta, un sistema integrado, autónomo y rentable, que solo utiliza la radiación solar de manera íntegra. Este concepto calza convenientemente con las condiciones climáticas de país, al ubicarnos dentro del cinturón solar, y más aún en el sur, donde está ubicada la ciudad de Juliaca – Región Puno, llegando a una irradiancia promedio de 986.25 W/m² (Torres & Condori, 2019). Teniendo en cuenta que, en la región de Puno solo el 47,2 % de viviendas se abastecen de agua por red pública, y un considerable 3,4 % de viviendas se abastecen de agua subterránea (Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú [INEI], 2018). Claramente nos invita a evaluar la cinética de desinfección solar del agua de pozo artesiano; para los indicadores microbiológicos coliformes totales y *Escherichia coli*, en condiciones reales de operación (radiación natural y temperatura ambiente).

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación Problemática

El acceso al agua potable además de ser imprescindible para la vida, es un derecho humano reconocido por las Naciones Unidas, como resultado de la conferencia anual del 2014 reconoce que el agua y la energía son esenciales para la vida, para el crecimiento económico y el progreso humano (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2014). Sin embargo el aumento paulatino de la población combinado con los efectos del cambio climático, exacerbarán la dificultad del acceso al agua de manera segura (ONU, 2018). Actualmente y de manera global, al menos 2000 millones de personas se abastecen de una fuente de agua que está fecalmente contaminada, lo que provoca más de 502 mil muertes por diarrea al año (OMS, 2019). Además, 1300 millones de personas no tienen acceso a la electricidad (Banco Mundial, 2014).

En el Perú, si bien es cierto que el acceso a la energía eléctrica llega al 94,8 %, el acceso de los hogares al agua potable es de tan solo 78,3 %, lo que muestra uno de cada cinco hogares consume agua no potabilizada (INEI, 2018). A esto se le suma la problemática de la distribución del agua, según Manuel Pulgar Vidal, *“la gran mayoría de empresas prestadoras de servicio de agua potable se encuentran en quiebra”* (Perú21, 2019). La región de Puno no es ajena a esta realidad, más aún en el acceso al agua potable, ya que, el 35,4 % se abastecen con agua de pozo sin ningún tipo de tratamiento para su consumo (INEI, 2018).

En la provincia de San Román, correspondiente a la ciudad de Juliaca, este problema también se manifiesta, principalmente por el acelerado crecimiento poblacional. En los distritos de Juliaca y San Miguel, se refleja en un acceso al agua potable mediante la empresa prestadora de servicios EPS-SEDA JULIACA S.A. de tan solo 61,7 y 49,3 % de viviendas respectivamente (INEI, 2018). La población que no cuenta con estos servicios básicos utiliza, pozos (artesianos y tubulares). A pesar de que los parámetros físicos y químicos cumplen con los límites máximos permisibles, se demostró que, bacteriológicamente si hay presencia de coliformes, por lo tanto, estas aguas fueron consideradas no aptas para el consumo humano de manera directa, puesto que, pueden conllevar riesgos significativos de contraer enfermedades gastrointestinales (Calsín Ramírez, 2016). Como respuesta a la problemática existente se evaluará una nueva alternativa de solución, previamente evaluada

en otras latitudes, consiste en un sistema híbrido basado en el uso exclusivo de la energía solar para la desinfección del agua y generación de energía de manera simultánea.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Interrogante general:

¿Cuál es la cinética de desinfección solar del agua de pozo artesiano para los indicadores microbiológicos coliformes totales y *Escherichia coli* mediante el sistema híbrido en condiciones reales de operación?

1.2.2. Interrogantes específicas:

¿Cuál es el tiempo necesario para la desinfección solar del agua de pozo para los indicadores microbiológicos coliformes totales y *Escherichia coli* mediante el sistema híbrido?

¿Cuál es capacidad de aprovechamiento de la radiación solar remanente después de la desinfección del agua de pozo mediante sistema híbrido?

¿Cuál es el costo de desinfección solar del agua de pozo mediante el sistema híbrido?

1.3. Hipótesis de la Investigación

1.3.1. Hipótesis general

La cinética de desinfección solar del agua de pozo artesiano manifiesta que, el uso del sistema híbrido es favorable para la desinfección del agua, considerando los indicadores microbiológicos coliformes totales y *Escherichia coli*, en condiciones reales de operación desarrollados en la ciudad de Juliaca.

1.3.2. Hipótesis específicas

El tiempo necesario para la desinfección solar del agua de pozo se alcanza antes del periodo de tratamiento, para los indicadores microbiológicos coliformes totales y *Escherichia coli*, mediante el sistema híbrido.

La radiación solar remanente después de la desinfección del agua de pozo es aprovechable para la generación de energía, mediante el sistema híbrido.

El costo de desinfección solar mediante sistema híbrido es inferior que las tecnologías convencionales de desinfección.

1.4. Objetivos de la Investigación

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la cinética de desinfección solar del agua de pozo artesiano; para los indicadores microbiológicos coliformes totales y *Escherichia coli*, mediante el sistema híbrido, en condiciones reales de operación desarrollados en la ciudad de Juliaca.

1.4.2. Objetivos específicos

Determinar el tiempo necesario para la desinfección solar del agua de pozo, para los indicadores microbiológicos coliformes totales y *Escherichia coli*, mediante el sistema híbrido.

Estimar el aprovechamiento de la radiación solar remanente después de la desinfección del agua de pozo, mediante el sistema híbrido.

Calcular el costo de desinfección solar del agua de pozo mediante el sistema híbrido.

1.5. Justificación de la Investigación

1.5.1. Justificación técnica, tecnológica

La presente investigación se centra en plantear una de las alternativas, con tecnologías emergentes para tener el acceso al agua potable de manera segura a nivel microbiológico, principalmente en las zonas periféricas de la ciudad de Juliaca; así como también en poder aprovechar el gran potencial energético solar presente en la región sur del Perú, en el cual está ubicada la ciudad de Juliaca, donde se registraron una elevada radiación solar que puede llegar de 5.5 a 6.5 kWh/m² según el atlas de energía solar (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2003).

1.5.2. Justificación económica

El tratamiento de agua para el consumo humano en el contexto actual se enfrenta a un mayor número de desafíos y exigencias como: el alto consumo de energía eléctrica, demandas cada vez mayores, limitado espacio disponible para instalar o reconfigurar las plantas de tratamiento, etc. Ante este panorama aparecen los sistemas de tratamiento llamados sistemas híbridos, estos combinan de manera sinérgica las acciones de dos o más procesos individuales, y son más eficientes que los convencionales permitiendo alcanzar satisfactoriamente los estándares de calidad (Vicuña G., Ara Rojas, & Loayza, 2009).

1.5.3. Justificación ambiental

Diferenciándose de las tecnologías convencionales, en esta investigación se incorporan conceptos sostenibles, resultado de grandes avances en la investigación basados en tecnologías limpias sostenibles y compactos, denominado “Sistema Híbrido SolWat” sistema que claramente aporta con la reducción de contaminantes en el medio ambiente, como las emisiones, vertimientos y generación de residuos.

1.5.4. Justificación social

Con esta solución alternativa se busca reducir los problemas sociales que se presentan, como consecuencia de la falta de acceso a los servicios básicos de agua en la ciudad Juliaca, como son los relacionados con la igualdad de género, salud, pobreza, educación, etc. además, permitirá conocer de manera directa estas nuevas tecnologías emergentes, ganándose así un espacio para el cambio de paradigmas en nuestra sociedad.

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Downes & Blunt, (1878), estudió y reportó por primera vez la desinfección solar a fines de la década de 1870 quienes indicaron la importancia de parámetros como la intensidad de la luz solar, el tiempo de exposición solar y la longitud de onda (siendo la más corta la más efectiva) para inactivar bacterias. Sin embargo, no fue hasta la década de 1980 que Acra y sus colaboradores de la Universidad de Beirut redescubrieron la desinfección solar como un método eficaz y de bajo costo para el tratamiento del agua potable (Acra, Raffoul, & Karahagopian, 1984).

Ciochetti & Metcalf (1984), también desarrollaron investigaciones utilizando reflectores y recipientes oscuros, donde se lograba elevar la temperatura del agua y con ello la desinfección, con la desventaja de que requería muchas horas para desinfectar pequeñas cantidades de agua.

Oates *et al.*, (2003), en Haití utilizaron cepas ambientales sometidas a desinfección solar, detectándose solo la presencia o no de *E. coli* y coliformes totales bajo diferentes condiciones climáticas y temperaturas del agua. En este estudio, con una irradiación global promedio por debajo de 500 W/m^2 por 5 h de exposición al sol y temperaturas de agua por debajo de $45 \text{ }^\circ\text{C}$, no se logró la inactivación total, ni por 718 W/m^2 y temperaturas del agua que alcanzaron $45 \text{ }^\circ\text{C}$ por 2 h durante la duración de la exposición (5 h), solo en el caso de alta irradiancia (752 W/m^2) y altas temperaturas durante un tiempo prolongado ($45 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 5 h) se completó la inactivación. Lo que demuestra que el mecanismo del efecto térmico interfirió positivamente (OMS, 2019).

Martín-Domínguez *et al.*, (2005) realizaron pruebas con botellas de tereftalato de polietileno (PET) en México utilizando agua (con cepas silvestres) que se suministrada a una clínica médica, utilizando coliformes totales como indicador fecal. Después de 8 h de exposición solar, en todas sus pruebas se alcanzó la inactivación total con concentraciones bacterianas iniciales que oscilaban entre 260 y 5200 NMP/100 mL y niveles de irradiancia global promedio correspondientes a $650\text{-}831 \text{ W/m}^2$. En este estudio no proporcionaron información sobre la temperatura del agua en las botellas transparentes de PET colocadas en el piso.

Sciacca et al., (2010) trataron coliformes salvajes de una presa urbana en Burkina Faso. La concentración bacteriana inicial fue de aproximadamente 10^2 UFC/100 mL, y después de 3 h de exposición al sol, $28,6 \text{ W/m}^2$ de radiación UV promedio y temperaturas del agua que oscilaron entre $31 \text{ }^\circ\text{C}$ y $45 \text{ }^\circ\text{C}$ durante el tiempo de exposición, con ello se logró la inactivación total, alcanzando el límite de detección.

Mustafa et al., (2013) también utilizaron botellas de PET transparentes para desinfectar el agua en diferentes condiciones climáticas, clasificadas como débiles (valores de irradiación global promedio en el rango de $200\text{-}480 \text{ W/m}^2$), moderadas ($480\text{-}700 \text{ W/m}^2$) y fuertes ($700\text{-}1000 \text{ W/m}^2$). Se expuso el agua natural con una concentración inicial de coliformes totales de 830 UFC/100 mL durante 8 h. La desinfección total no se alcanzó en las botellas, además que apenas alcanzó los $41 \text{ }^\circ\text{C}$; pero si se logró en la configuración experimental usando reflectantes como papel de aluminio.

Ndounla et al., (2014) también estudiaron la inactivación del contenido de bacterias entéricas de las aguas de pozos naturales, aunque utilizan un sistema mejorado, un reactor solar parabólico compuesto, que aumenta la irradiación solar recibida. La inactivación total solo se logró para coliformes totales/cepas de *E. coli*, pero el límite de detección fue demasiado alto como para compararlo con otros resultados, 1 UFC/100 μL (1000 UFC/100 mL).

Lawrie et al., (2015) realizaron un estudio utilizando tres indicadores microbianos: *E. coli*, *Enterococcus* spp. y *C. perfringens*. En este caso, la fuente de agua consistió en agua de pozo natural inoculada con bacterias de aguas residuales, alcanzando concentraciones iniciales de 10^3 UFC/100 mL para *E. coli* y *Enterococcus* spp. y 10^2 UFC/100 mL para *C. perfringens*. Considerando *C. perfringens*, después de 6 h de exposición solar, con una temperatura de agua inferior a $40 \text{ }^\circ\text{C}$ y niveles máximos de irradiación UV de 49 W/m^2 , no se logró su inactivación total.

Gutiérrez-Alfaro, Acevedo, Rodríguez, Carpio, & Manzano, (2016) usando botellas SODIS de 2 litros de volumen en comparación con otros dispositivos (cilindro recubierto en su interior con TiO_2 y zinc y un reactor de vidrio) de bajo costo, informaron desinfección total para *E. coli* para una población microbiana inicial de 10^4 UFC/100 mL, 91,11 % para *Enterococcus* spp. (concentración inicial 10^4 UFC/100 mL), y 92,85 % para *C. perfringens* (10^3 UFC/100 mL). La fuente de agua era de pozo natural inoculada con bacterias de aguas residuales, y el período de exposición al sol 5 h, alcanzando $128,4 \text{ W/h/m}^2$ de exposición

acumulativa a los rayos UV, una irradiancia UV promedio de 25.8 W/m², con temperaturas máximas del agua de 31 °C.

Vivar, Pichel, & Fuentes, (2017) demostraron y confirmaron que las temperaturas cercanas a la temperatura óptima de crecimiento de los diferentes microorganismos pueden tener un efecto antagónico sobre la desinfección solar y ralentizar el proceso. Para el caso de *E. coli* y *Enterococcus* spp., 35 - 40 °C, aunque este último no muestra un efecto significativo. Para el caso de *Clostridium perfringens*, temperaturas de 45 °C mostró crecimiento en los experimentos desarrollados. Este rango de temperaturas podría ser un problema ya que diferentes microorganismos muestran diferentes temperaturas de crecimiento. El caso ideal sería trabajar con una fuerte sinergia entre UV y temperatura, evitando las temperaturas del agua en las que la población microbiana tienen el crecimiento óptimo.

Nalwanga et al., (2018) evaluaron la aplicación del SODIS clásico como una tecnología de tratamiento adecuado, en donde se seleccionaron cincuenta hogares que usaban captación de agua de lluvia de los tejados, en donde los resultados mostraron el cumplimiento con las normas (oficina nacional de normas de Uganda y OMS) de agua potable, pero, la mayoría de las muestras mostraban niveles de contaminación microbiológica que indicaban que el agua no era segura para beber sin tratamiento. El uso de SODIS para tratar el agua se investigó utilizando botellas de PET de 2 litros y se demostró que era una tecnología de tratamiento eficaz.

Pichel *et al.*, (2016) teniendo en cuenta todas las anteriores investigaciones desarrolladas en cuanto a la desinfección solar del agua, se desarrolló y probó por primera vez el concepto de desinfección de agua y la generación simultánea de energía eléctrica, mediante un sistema híbrido fotoquímico-fotovoltaico denominado SOLWAT, el cual satisface las necesidades de agua potable y electricidad mediante un dispositivo integrado, autónomo y rentable. Su funcionamiento se analizó en dos experimentos realizados al aire libre en época de verano en Alcalá de Henares (Madrid- España) y para lo que se seleccionaron dos tipos de agua natural como fuentes de agua simulando los recursos de agua disponibles en los países en desarrollo. A su vez se comparó la eficacia de desinfección del sistema SOLWAT con la técnica tradicional de desinfección solar de agua (usando botellas PET). Los resultados de desinfección mediante el sistema SOLWAT fueron más altos a comparación con las técnicas tradicionales mediante botellas PET, y a su vez generar energía fotovoltaica de manera

simultánea, por ende se demuestran la viabilidad del sistema SOLWAT para contribuir a paliar la falta de acceso a agua potable y energía segura en países en desarrollo y situaciones de emergencia, y también podría usarse para tratar aguas residuales de efluentes industriales y urbanos, especialmente en tratamientos terciarios donde actualmente se están utilizando lámparas UV artificiales que contienen mercurio tóxico.

Pichel *et al.*, (2016), después de haber probado por primera vez el concepto de desinfección del agua y la generación simultánea de energía eléctrica, se requería probar esta tecnología durante un año para evaluar su comportamiento bajo diferentes condiciones climáticas (radiación solar y temperatura ambiente). Pichel, Vivar, & Fuentes, (2017) realizó experimentos al aire libre utilizando una mezcla de muchos organismos diferentes, como bacterias silvestres de *E. coli*, coliformes totales, *Enterococcus spp.* y *Clostridium perfringens* (incluidas las esporas) y en presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos típicos del agua natural. La tecnología SOLWAT se evaluó frente a un sistema de referencia (módulo fotoquímico independiente) y botellas de PET, y fue el reactor que logró la mayor desinfección bacteriana para *E. coli*, coliformes totales. La desinfección solar fue efectiva en todas las estaciones, por lo que el uso de este sistema híbrido podría para disminuir la falta de acceso a agua potable y energía segura en países en desarrollo y/o situaciones de emergencia.

Pichel, Vivar, & Fuentes, (2018), sometieron el sistema híbrido a un estudio cinético microbiano, en el que la desinfección solar y la generación de electricidad fotovoltaica se evaluó en dos experimentos realizados al aire libre en condiciones de cielo despejado. Los resultados obtenidos demostraron que, bajo condiciones climáticas fuertes, *E. coli*, coliformes totales completaron desinfectados después de 3 h de tratamiento dentro del sistema híbrido, por lo que esta nueva tecnología podría reducir a la mitad el tiempo de tratamiento recomendado para los reactores SODIS convencionales (6 h).

Pichel, Vivar, Fuentes, & Eugenio-Cruz, (2020) recientemente el sistema híbrido se probó por primera vez en campo, específicamente en Oaxaca (México), en condiciones climáticas locales y fuentes de agua disponibles para demostrar su factibilidad de producir simultáneamente agua limpia y electricidad; los resultados principales muestran que después de 3 h de exposición al sol, *E. coli* y los coliformes totales lograron la inactivación completa bajo altos niveles de UV y temperaturas del agua superiores a 45 °C durante más de la mitad del experimento. A pesar de que el día estaba parcialmente nublado, las fuertes condiciones

de irradiación solar de México favorecieron en la desinfección. Además, cuando se usó esta nueva tecnología híbrida, presentó efectos negativos en la disminución en corriente de corto circuito (I_{sc}), pero también un efecto positivo de enfriamiento del agua que se purifica en la parte superior de las células solares, lo que compensó las pérdidas de transmisión de luz (afectando el I_{sc}) causada por el reactor de desinfección del agua ubicado encima del módulo fotovoltaico.

Vivar et al., (2020) con la información anterior de que el sistema híbrido funcionó correctamente en las 3 horas de tratamiento, probaron con un conjunto de sistemas ensamblados sobre 5 módulos fotovoltaicos de tecnología de células solares de silicio monocristalino, cada uno de 20 Wp, interconectados en paralelo, sumando un sistema de 100 Wp. Los módulos tienen un reactor de agua en la parte superior con la capacidad de proporcionar un mínimo de 37.5 L por día para una familia de 5 miembros, garantizando las necesidades diarias mínimas. Campaña experimental ejecutar pruebas de SODIS de 3 h cada uno, ejecutando el sistema 3 veces al día (con un total de 9 h de experimentación por día). Los resultados muestran que el tratamiento del agua de 3 h debe aumentarse en ciertos períodos del día cuando la dosis UV no es suficiente (tarde en la tarde). *E. coli* y *Enterococcus spp* lograron una inactivación total o una desinfección casi total. En cuanto a la producción eléctrica, aunque se observaron pérdidas de energía del 5,6 – 10 % en comparación con un solo módulo fotovoltaico, era suficiente para satisfacer plenamente la demanda de carga del sistema solar doméstico. El sistema podría utilizarse en un hogar de un país en desarrollo, utilizando únicamente energía solar para satisfacer la demanda de electricidad y agua potable.

2.1.2. Antecedentes nacionales

En nuestro país no se desarrollaron investigaciones directamente relacionadas con la desinfección solar mediante el sistema híbrido propuesto, solo algunas investigaciones correspondientes al SODIS clásico.

Mio & Chistian, (2018) donde realizaron una investigación cualitativa, de abordaje metodológico estudio de caso que tuvo como objeto de estudio las experiencias de las madres en la desinfección solar del agua donde se utilizaron el método de saturación para determinar la muestra, como técnica de recolección de datos en una entrevista semi estructurada. Los datos recibieron un tratamiento basado en el análisis de contenido, obteniendo 4 categorías: A) Aprendizaje del método SODIS a través de la ONG y sesiones educativas B)

Procedimiento del método SODIS aplicado por las madres. C) Beneficios experimentados con el método SODIS: Ahorro de tiempo y dinero; Evitar parasitosis y EDAS. Además, la investigación tuvo en cuenta los principios bioéticos y los criterios de rigor científico, donde demostraron que la experiencia de las madres sobre la desinfección del agua con los rayos solares fue beneficiosa por su efecto sinérgico que produce los rayos solares para eliminar los patógenos microbianos y reducir las enfermedades diarreicas.

Nuño Martínez et al., (2020) investigaron los factores socioculturales asociados con la captación de agua de SODIS en las zonas rurales de la región andina, donde realizaron 28 entrevistas semiestructuradas y seis discusiones de grupos focales en el marco de un ensayo comunitario aleatorizado para evaluar el uso del agua SODIS en los Andes. Los participantes argumentaron que SODIS no produce un tipo atractivo de agua potable a pesar de reconocer que SODIS representa un método simple, seguro, de bajo costo y fácil de preparar agua potable segura. Las actitudes hacia el agua de SODIS reflejaron las interpretaciones locales del agua, la salud y la enfermedad. El sabor del agua SODIS, la invisibilidad de los patógenos transmitidos por el agua y la habituación al agua no tratada representaron las principales barreras para el uso del agua de SODIS. Las campañas promocionales alternativas de SODIS adaptadas culturalmente.

2.2. Marco Teórico

2.2.1. Sistema híbrido (fotoquímico-fotovoltaico)

Es un híbrido que integra las funciones de desinfección del agua y generación de energía eléctrica renovable en un dispositivo único y compacto, que presenta claras ventajas en términos de rendimiento (producción eléctrica y desinfección del agua), eficiencia y reducción de costos frente a los sistemas independientes (reactor plano para la desinfección del agua y módulo fotovoltaico) (Pichel et al., 2016).

2.2.2. El agua

El agua es una sustancia líquida desprovista de olor, sabor y color, que existe en estado más o menos puro en la naturaleza y cubre un porcentaje importante (71 %) de la superficie del planeta Tierra. Además, es una sustancia bastante común en el sistema solar y el universo, aunque en forma de vapor (su forma gaseosa) o de hielo (su forma sólida). En nuestro planeta, el agua se encuentra contenida en los mares y océanos (96,5 %), en los glaciares y casquetes polares (1,74 %), depósitos acuíferos y permafrost (1,72 %) y del resto (0,04 %)

repartido entre lagos, humedad de los suelos, vapor atmosférico, embalses, ríos y en el cuerpo mismo de los seres vivos (Raffino, 2020).

2.2.3. Composición del agua

Una molécula de agua contiene únicamente dos elementos: un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno (H₂O), enlazados covalentemente. Esto se descubrió en 1782 gracias a Henry Cavendish, pues desde épocas antiguas el agua se pensaba como un elemento. Se trata del solvente universal, pues la mayoría de las sustancias pueden disolverse en ella (excepto los hidrófobos, solubles en lípidos). El agua es sumamente adhesiva (razón por la cual moja los objetos), debido a la polaridad que tienen sus moléculas, capaces de hasta cuatro enlaces de hidrógeno con átomos o moléculas circundantes. Es la razón también de que tantas sustancias se disuelvan bien en el agua (Raffino, 2020).

2.2.4. Agua potable

Se conoce como agua potable a toda la que sea apta para el consumo humano, tanto para beber como para preparar alimentos o comidas. Existen valores máximos de pH, minerales, sales y microorganismos que distinguen el agua potable de la no apta para consumo. Esto significa que el agua potable es poca, en comparación con las grandes masas de agua no potable, como la del mar o de la lluvia. El agua potable es, aunque no lo parezca, un recurso limitado. Es mucho más fácil contaminar un litro de agua, que volver a hacerla apta para consumo humano, y miles de millones de litros de agua son consumidos diariamente en nuestras ciudades, mientras que la inversión en potabilización del agua se hace cada vez más costosa. La OMS ha advertido en numerosas ocasiones la relación directa entre la incidencia y morbilidad de enfermedades diarreicas y otras epidemias, con el acceso al agua potable en las poblaciones más desfavorecidas del mundo. En la medida en que no cuidemos el agua y reduzcamos el impacto de nuestra civilización sobre ella, más expuestos estaremos a las consecuencias de salud que ello implica (Raffino, 2020).

2.2.5. Desinfección Agua

La desinfección, es el resultado deseado del tratamiento del agua, significa la eliminación o destrucción de microorganismos dañinos, además que es un componente esencial de la estrategia de prevención de infecciones entéricas (Backer, 2017).

2.2.6. *Escherichia coli*

Escherichia coli (*E. coli*) es una bacteria que se encuentra normalmente en el intestino del ser humano y de los animales de sangre caliente. La mayoría de las cepas de *E. coli* son inofensivas. Sin embargo, algunas de ellas como *E. coli* productora de toxina Shiga, pueden causar graves enfermedades a través de los alimentos. La bacteria se transmite al hombre principalmente por el consumo de agua contaminada por heces y alimentos contaminados (productos de carne picada cruda o poco cocida, leche cruda, hortalizas y semillas germinadas crudas) (OMS, 2018). Es un excelente indicador de la calidad del agua porque proporciona evidencia concluyente de contaminación fecal reciente.

2.2.7. Cinética de desinfección

La cinética de desinfección involucra a la inactivación de microorganismos en un proceso gradual con una serie de pasos fisicoquímicos y bioquímicos; así como en un esfuerzo por pronosticar el resultado de la desinfección, se han desarrollado varios modelos sobre la base de datos experimentales; la principal teoría de desinfección utilizada hoy en día sigue siendo el modelo de Chick-Watson (Gerba, 2015). Donde se expresa la tasa de inactivación de los microorganismos por una reacción química de primer orden, mostrada en la ecuación (1).

$$\frac{N_t}{N_o} = e^{-kt} \quad \text{ó} \quad \frac{N_t}{N_o} = -kt \quad (1)$$

dónde:

- N_0 = número de microorganismos en el tiempo 0
- N_t = número de microorganismos en el momento t
- k = constante de decaimiento (1/tiempo), y
- t = tiempo.

Gráficamente esta representación del logaritmo de la tasa de supervivencia (N_t/N_0) se muestra como una línea recta respecto al tiempo (Figura 1).

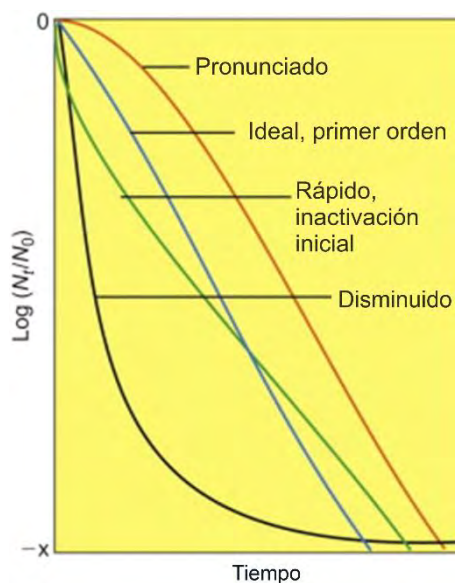


Figura 1. Tipos de curvas de inactivación observadas para microorganismos (Gerba, 2015).

Desafortunadamente, los datos de laboratorio y de campo a menudo se desvían de la cinética de primer orden. Las curvas más pronunciadas pueden ser el resultado de grupos de organismos o múltiples intentos de sitios críticos antes de la inactivación (Gerba, 2015). Las curvas de este tipo son comunes en la desinfección de bacterias coliformes por cloraminas (Montgomery, 1985). La curva de reducción, a menudo vista con muchos desinfectantes, puede explicarse por la supervivencia de una subpoblación resistente (Gerba, 2015). Como resultado de la protección por sustancias interferentes (materia suspendida en el agua), aglomeración o resistencia genéticamente conferida. Adicionalmente Gerba, (2015) manifiesta que, en aplicaciones con agua, la efectividad del desinfectante puede expresarse como $C \cdot t$, donde C es la concentración del desinfectante y t el tiempo requerido para inactivar un determinado porcentaje de la población en condiciones específicas (pH y temperatura). Típicamente, se usa un nivel de inactivación del 99 % cuando se comparan los valores de $C \cdot t$. Cuanto menor sea el valor de $C \cdot t$, más efectivo será el desinfectante.

2.2.8. Energía solar

La energía solar es una de las fuentes de la vida y el origen de la mayoría de las demás formas de energía conocidas; cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad que consume toda la humanidad (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería [OSINERGMIN], 2020).

2.2.9. Radiación solar

Se distinguen dos formas de radiación solar: la radiación directa y la radiación difusa. La radiación directa es la que llega directamente del foco solar, sin reflexiones o refracciones intermedias. La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna, gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar ocasionados por las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres. La radiación directa puede reflejarse y concentrarse para su utilización, mientras que concentración de la luz difusa no es posible por provenir de múltiples direcciones. Sin embargo, ambas radiaciones son aprovechables (OSINERGMIN, 2020).

2.2.10. Espectro de radiación solar

El espectro de radiación es una representación gráfica de la variación de la energía de radiación en función de la longitud de onda a escala logarítmica. El sol emite gran cantidad de radiaciones: rayos gamma, rayos x, ultravioleta C (UVC), ultravioleta B (UVB), ultravioleta A (UVA), radiación llamada visible, infrarrojos (A, B y C), siendo algunas directamente absorbidas antes de llegar a la superficie terrestre, en la atmósfera gracias a la capa de ozono, y otras llegan intacta hasta la superficie terrestre (la radiación UV-C no llega a la tierra porque es absorbida por el oxígeno y el ozono de la atmósfera, por lo tanto no produce daño), ofreciendo efectos beneficiosos y también perjudiciales a los seres vivos que las reciben (Aguado & Burt, 2014).

La radiación ultravioleta se amplía específicamente con la información en el portal web del Instituto de Tecnologías Educativas (2020), donde se describe el efecto de las distintas bandas de este espectro sobre los sistemas ambientales y los organismos es muy variado:

- La radiación ultravioleta ($\lambda < 400$ nm) es absorbida por los electrones de átomos y moléculas, que pueden cambiar así su estructura y producir profundos cambios químicos, como la ionización del N en la atmósfera, la disociación del ozono, o la destrucción de determinadas sustancias en la piel humana. También impide la síntesis de ciertas sustancias, como la melanina.
- La luz visible ($400 < \lambda < 700$ nm) es la parte del espectro donde la radiación solar alcanza su máximo, y ha tenido por ello un papel destacado en la adaptación de los seres vivos a su medio. Muchas sustancias de importancia biológica se caracterizan por una respuesta química selectiva en la parte visible del espectro solar que provoca transformaciones de la estructura molecular con distintas funciones biológicas como

la fotosíntesis, asociada a la clorofila, y el sentido de la vista, asociada a células fotorreceptoras.

- El infrarrojo ($700 < \lambda < 1000 \text{ nm}$) no tienen ya energía suficiente para provocar reacciones químicas, pero sí para inducir movimientos de vibración en las moléculas; a esto es a lo que desde un punto de vista macroscópico llamamos absorción de energía térmica, que se manifiesta casi siempre como un incremento de temperatura.
- Las microondas ($1000 \text{ nm} < \lambda < 0.3 \text{ m}$) inducen movimientos moleculares de rotación, dando lugar a un incremento térmico. El agua las absorbe muy fuertemente, con el consiguiente calentamiento. Este hecho es importante en las transformaciones térmicas de mares y océanos.

2.2.11. Desinfección solar del agua

La Desinfección Solar del Agua (SODIS) utiliza recipientes transparentes donde se almacena el agua, por la que pasa la radiación ultravioleta de la luz solar, basándose en la acción combinada de la radiación UV y la actividad oxidativa asociada con el oxígeno disuelto y el calor (OMS, 2011). Es una técnica usada desde muchos años atrás, como una solución simple, de bajo costo y ambientalmente sostenible para el tratamiento de agua para consumo humano a nivel doméstico, sobre todo en lugares en los que la población consume agua cruda y microbiológicamente contaminada (Meierhofer & Wegelin, 2005). Otros tratamientos consisten en utilizar recipientes oscuros, elevando la temperatura interna exponiendo al sol y el calor generado inactiva los microorganismos presentes en el agua; a su vez usando sistemas combinando los efectos de las tecnologías mencionados anteriormente, como las bolsas de plástico que reciben UV y paneles (sistemas híbridos) (OMS, 2011). En la Tabla 1 se muestra la reducción de distintos tipos de organismos, donde varía según la oxigenación, la intensidad de la luz solar, el tiempo de exposición, la temperatura, la turbidez y el tamaño del recipiente de agua (profundidad del agua).

Tabla 1. Efectos de la desinfección solar (radiación solar UV + efectos térmicos)

Grupo de patógenos entéricos	Remoción de línea base (LRV)	Remoción máxima (LRV)
Bacterias	3	5+
Virus	2	4+
Protozoos	2	4+

Fuente: (OMS, 2011 pp. 174), **LRV:** valor de reducción logarítmica (\log_{10})

2.2.12. Desinfección ultravioleta (UV)

La desinfección por luz ultravioleta viene siendo utilizada en muchas áreas y en distintas configuraciones, para el tratamiento del agua para consumo humano es utilizada mediante tubos simples de UV existentes en el mercado, consisten en el flujo lento del agua por estos tubos. Antiguamente presentaba algunas desventajas en cuanto a los costos elevados, las cuales fueron superados, actualmente aun presentan algunas desventajas, como: sin residuo de desinfectante, dificultad para determinar las dosis de UV, mantenimiento y limpieza de las lámparas UV y fotorreactivación potencial de algunas bacterias entéricas (Bitton, 2011).

Bitton, (2011) también señala que la inactivación microbiana es proporcional a la dosis de UV, lo que puede expresarse en microvatios-segundo por centímetro cuadrado ($\mu\text{W}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$) μW ; como se muestra en la siguiente ecuación (2):

$$\text{dosis UV} = I \cdot t \quad (2)$$

Donde:

- I = Intensidad ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)
- t = Tiempo de exposición.

La efectividad de la desinfección también depende de la fluencia administrada (dosis), que varía con la intensidad, el tiempo de exposición y la longitud de onda UV, la turbidez excesiva y ciertas especies disueltas inhiben este proceso; por lo tanto, la turbidez debe mantenerse por debajo de 1 NTU para apoyar la desinfección efectiva (OMS, 2011). Cuando esto no sea práctico, es recomendable mantener por debajo de 5 NTU (OMS, 2011); en la Tabla 2 se muestran los efectos de la desinfección por radiación UV.

Tabla 2. Efectos de la desinfección por irradiación UV

Grupo de patógenos entéricos	Remoción de línea base (LRV)	Remoción máxima (LRV)
Bacterias	3	5+
Virus	2	5+
Protozoos	3	5+

Fuente: (OMS, 2011), **LRV**: valor de reducción logarítmica ($\log 10$)

2.2.13. Tecnologías térmicas (calor)

Las tecnologías térmicas son aquellas cuyo mecanismo principal para la destrucción de microbios en el agua es el calor producido por la quema de combustible y estos incluyen hervir y calentar a temperaturas de pasteurización (típicamente > 65 °C durante 40 minutos cuando se aplica al agua. El procedimiento recomendado para el tratamiento del agua es elevar la temperatura de modo que se logre una ebullición continua, extrayendo el agua del calor y permitiendo que se enfríe naturalmente, y luego protegiéndola de la contaminación posterior al tratamiento durante el almacenamiento (OMS, 2011). Los valores de la Tabla 3 se basan en células vegetativas; las esporas son más resistentes a la inactivación térmica que las células vegetativas; El tratamiento para reducir las esporas por ebullición debe garantizar suficiente temperatura y tiempo.

Tabla 3. Efectos de la desinfección térmica (por ejemplo, ebullición)

Grupo de patógenos entéricos	Remoción de línea base (LRV)	Remoción máxima (LRV)
Bacterias	6	9+
Virus	6	9+
Protozoos	6	9+

Fuente: (OMS, 2011), LRV: valor de reducción logarítmica (log10)

2.2.14. Recurso Solar en Puno Perú

La energía solar en el Perú representa un potencial energético significativo a lo largo de todo el territorio. En la mayoría de lugares del Perú se identifican esta energía solar por encima del promedio y a su vez manteniendo uniformemente una radiación de 4-5 kW-h/m² por día en la costa y la selva; por otro lado, se registraron los valores más altos entre 5-6 kW-h/m² por día en las zonas de costa norte y sur, llegando hasta la sierra sur, zonas que superan los 2500 msnm (Horn, 2006). Estos registros fueron medidos con Actinógrafo Fues, transformados a radiación solar promedio diario anual en kW-h/m² de Puno (estación C.P. 708-Puno).

Tabla 4. Radiación solar promedio diario anual en kW-h/m² de Puno.

Años	Institución	Radiación kWh/m ²
1977	(SENAMHI) Puno	6.06
1978	(SENAMHI) Puno	5.94
1979	(SENAMHI) Puno	5.96
1980	(SENAMHI) Puno	5.94
1981	(SENAMHI) Puno	5.84
2001	(UNATSABAR-CEPIS) Puno	6.80

Fuente: SENAMHI, UNATSABAR-CEPIS

2.2.15. Sistemas de captación de la energía solar

La energía solar se obtiene captando la radiación emitida por el sol y que llega a la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende de varios factores, en el Ecuador por su ubicación y climatología, es un país con un excelente recurso solar. En nuestro país “la irradiación diaria (promedio anual) sobre una superficie horizontal es superior a 4.0 kWh/m²·día, en todo el territorio nacional y en algunos sitios es superior a 5 kWh/m²·día, un valor de los más altos en el mundo” (Velasco & Cabrera, 2009).

2.2.16. Pozos artesianos

Son pozos que captan agua de un acuífero confinado entre dos capas impermeables, donde el agua está sometida a una fuerte presión hidrostática pudiendo salir libremente hasta alcanzar la superficie. Cuéllar & Duarte, (2001) afirma la existencia de pozos de captación de agua llamados pozos artesianos, que pueden ser aquellos tipos de pozo que alcanza un manto cautivo de agua, de forma que como el nivel freático del líquido está por encima de la superficie del pozo, éste emana por si solo elevándose hasta un nivel equivalente al del punto de alimentación de la capa cautiva menos un tanto debido a la pérdida de carga; sin embargo, en algunos pozos el agua asciende, derramándose a veces por la superficie (Sutton & Harmon, 2002). En cuanto a la ventajas de algunos pozos artesianos no necesitan de bombas para elevar el agua (Tarbuck & Lutgens, 2016).

CAPÍTULO III

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Diseño, Materiales y Fabricación

3.1.1. Diseño de prototipo sistema híbrido

Para la evaluación del sistema híbrido fotoquímico – fotovoltaico (desinfección del agua por radiación solar y generación simultánea de energía fotovoltaica), se construyeron ocho sistemas híbridos planos de acuerdo a lo propuesto por Pichel et al., (2016), con materiales comerciales existentes en la ciudad de Juliaca. Estos sistemas constan de dos submódulos, los cuales se ensamblaron uno encima del otro, donde el panel solar monocristalino (módulo fotovoltaico) sirve como base del reactor de desinfección del agua (módulo fotoquímico), este reactor es transparente al espectro de radiación solar (visible e infrarrojo cercano) puesto que, se usó vidrio de borosilicato como cubierta externa tal como se observa en la Figura 2.

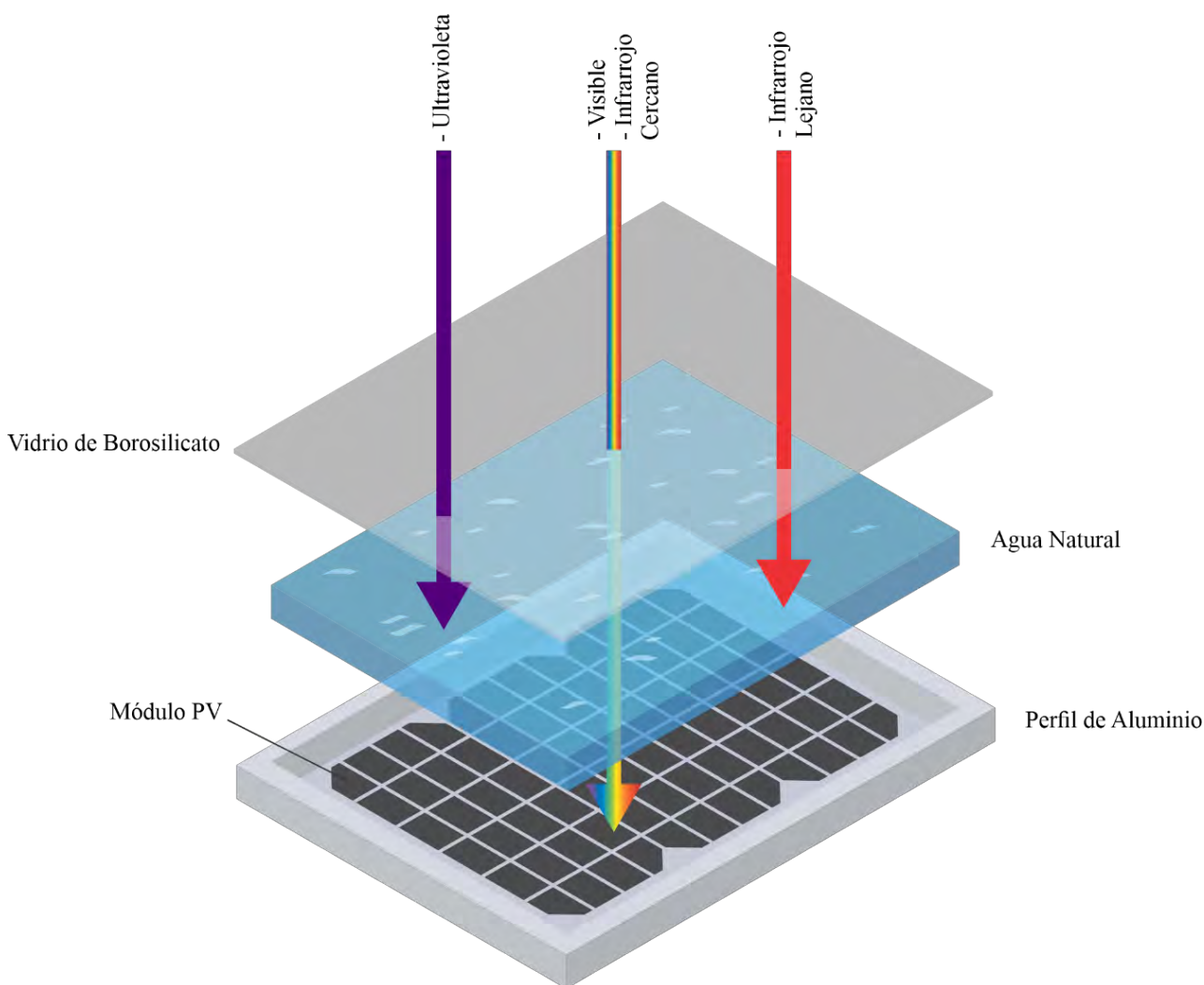


Figura 2. Esquema del sistema híbrido (fotoquímico + fotovoltaico)

3.1.2. Materiales y equipos para fabricación del sistema híbrido

- Módulos fotovoltaicos monocristalino (panel solar de 5 W)
- Vidrios de borosilicato plano de 3 mm de espesor (320 × 430 mm)
- Perfiles de aluminio (tipo “U”)
- Tubos de PVC con rosca y tapa (para el ingreso del agua)
- Grifo de caucho (para la salida del agua)
- Soporte de madera para el sistema híbrido y módulo fotovoltaico
- Silicona (mega grey)

3.1.3. Materiales y equipos para la recolección de datos

- Arduino UNO
- Sensores de temperatura termistor NTC 10k (para inmersión)
- Sensores de temperatura DS18B20 (para módulos)
- Resistencias de 10k Ω
- Resistencias de 4.7k Ω
- Cables conectores
- Multímetro FLUKE 175 (para medir corriente)
- Multímetro FLUKE 375 (para medir tensión)

3.1.4. Materiales, reactivos y equipos para el análisis de agua

- Soporte de filtro de vidrio clásico Millipore (kit 47 mm, embudo 300 mL)
- Filtros de membrana de nitrato de celulosa (porosidad 0,45 μm , 47 mm)
- Placa Petri vidrio soda-cal, DURAN de 60 × 15 mm
- Frascos de vidrio de 500 y 1000 mL
- Agar para coliformes CCA Agar Cromogénico - Chromocult (ISO 9308-1 :2014)
- Suplemento selectivo para *E. coli*/coliformes
- Contador de colonias ColonyStar/Funke-Gerber 8500 (número de colonias)
- Estufa esterilizadora memmert
- Incubadora memmert
- pH-Metro Hanna/HI-98190 (pH y temperatura)
- Turbidímetro Lovibond/TB210IR (turbidez)
- Conductímetro SI Analytics/LAB 955 SET (conductividad eléctrica)

3.1.5. Construcción y ensamblado

Se realizó la construcción y ensamblado de ocho sistemas híbridos, comenzando con una adecuación hermética de los módulos fotovoltaicos (para evitar filtraciones, fugas y/o derrames), usando silicona (mega grey) para la adhesión estructural y sellado. Posteriormente se realizó el montaje de los perfiles de aluminio sobre el borde de los módulos fotovoltaicos y finalmente, el acoplamiento del vidrio de borosilicato, como cubierta externa. Se consideró este vidrio por sus características de alta transmitancia del espectro UV ($UV_B - UV_A$) lo que facilitó el efecto bactericida, alta transmitancia de infrarrojo lejano para la posible pasteurización térmica y alta transmitancia de visible e infrarrojo cercano para generación de energía (Pichel et al., 2016). Así mismo estos sistemas híbridos se acondicionaron uniformemente sobre listones de madera de 1.5 metros (Figura 3), los cuales consecutivamente se montaron a una cuña para conseguir una inclinación de 15° respecto al horizontal (concordante con la ubicación y la inclinación del sensor de radiación).



Figura 3. Acondicionamiento de los sistemas híbridos sobre listones de madera

Los perfiles de aluminio sirvieron como marco, creando un espacio para el proceso de desinfección del agua dentro del módulo fotoquímico, además de ello, también se incluyeron

sensores y adaptadores en solo un sistema híbrido, para monitorear, automatizar y computarizar los datos de temperatura del agua y temperatura del módulo; ubicados a la parte superior, inferior y detrás tanto del sistema híbrido y módulo fotovoltaico control de referencia. Internamente se creó un espacio de 20 ± 1 mm de altura de lámina de agua, con una capacidad aproximada del reactor de 1 litro. Los sistemas híbridos de desinfección del agua se llenaron cada uno de manera independiente por gravedad.

En la construcción se siguió de acuerdo al diagrama de flujo mostrado en la Figura 4, considerándose las etapas de adquisición de materiales y equipos, el acondicionamiento y finalmente el ensamblado del sistema híbrido.

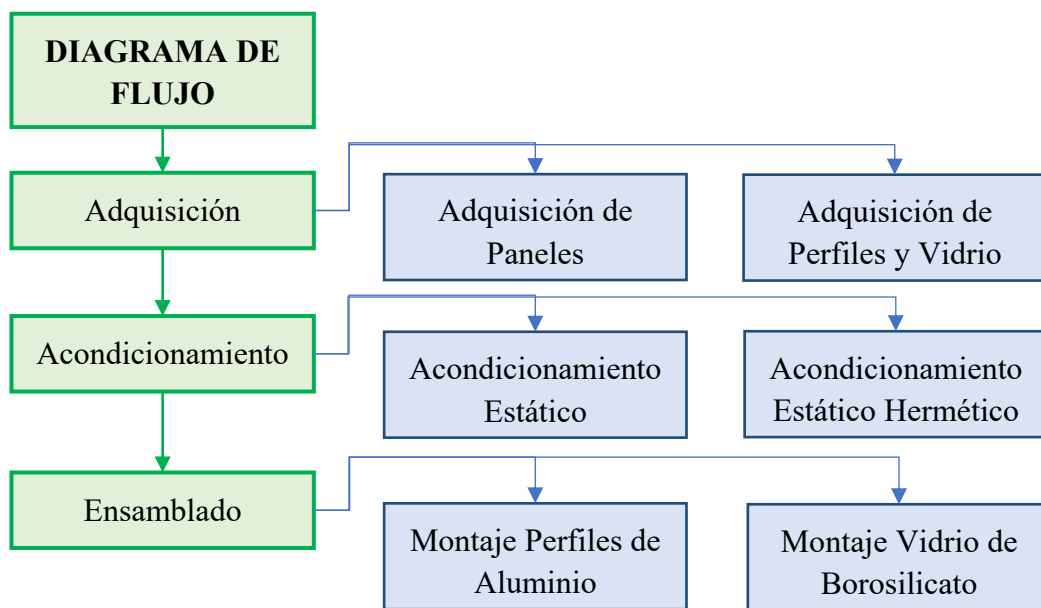


Figura 4. Diagrama de flujo para la construcción del sistema híbrido

3.1.6. Aspectos técnicos de componentes de los sistemas híbridos

Una parte fundamental del sistema híbrido es el módulo fotovoltaico, el cual viene con algunos aspectos técnicos incluidos, proporcionados por el fabricante; que son resultados de pruebas en condiciones estándares (en laboratorio 1000 w/m^2 y $25 \text{ }^\circ\text{C}$), las cuales se muestran en la Tabla 5. Se usaron los mismos módulos para las distintas configuraciones (tanto en los sistemas híbridos y módulo fotovoltaico de referencia)

Tabla 5. Datos técnicos de los módulos fotovoltaicos proporcionados por el fabricante

Parámetros Eléctricos	Módulo Fotovoltaico	Fabricante	Dimensiones	Superficie
Potencia Máxima (W)	5			
Voltaje de circuito abierto V_{oc} (V)	21.7	TecSol	285x185mm	527.25cm ²
Corriente de cortocircuito I_{sc} (A)	0.31			

Elaborado de acuerdo a la ficha técnica de N° TEC-M5-18 de Tecsol Energy

En el sistema híbrido antes de culminar la fabricación, se realizaron pruebas mecánicas (manualmente), básicamente del ensamblado, para detectar posibles fugas. Para ello se llenaron los reactores de desinfección con agua destilada, evidenciándose la presencia de algunas fugas, principalmente en las esquinas, donde se dan las uniones de los perfiles de aluminio.

3.2. Metodología de la Investigación

3.2.1. Ámbito de estudio

a. Ubicación de la experimentación fotoquímica – fotovoltaica

Los procedimientos experimentales se desarrollaron en el campus Capilla (pabellón administrativo, terraza del cuarto piso) de la Universidad Nacional de Juliaca (UNAJ), ubicado geográficamente en las coordenadas 0376673 E y 8287380 N, correspondiente a la latitud 19° Sur como se muestra en la Tabla 6 y Figura 5. Perteneciente a un clima frío y seco, pero con un gran potencial energético solar (SENAMHI, 2003).

Tabla 6. Ubicación del desarrollo de los procedimientos experimentales

Departamento	Provincia	Distrito	Coordenadas Este (m)	Coordenadas Norte (m)	Altitud msnm
Puno	San Román	Juliaca San Miguel	0376673	8287380	3825

Elaborado con asistencia Google Earth y GARMIN GPSMAP 64s Manual

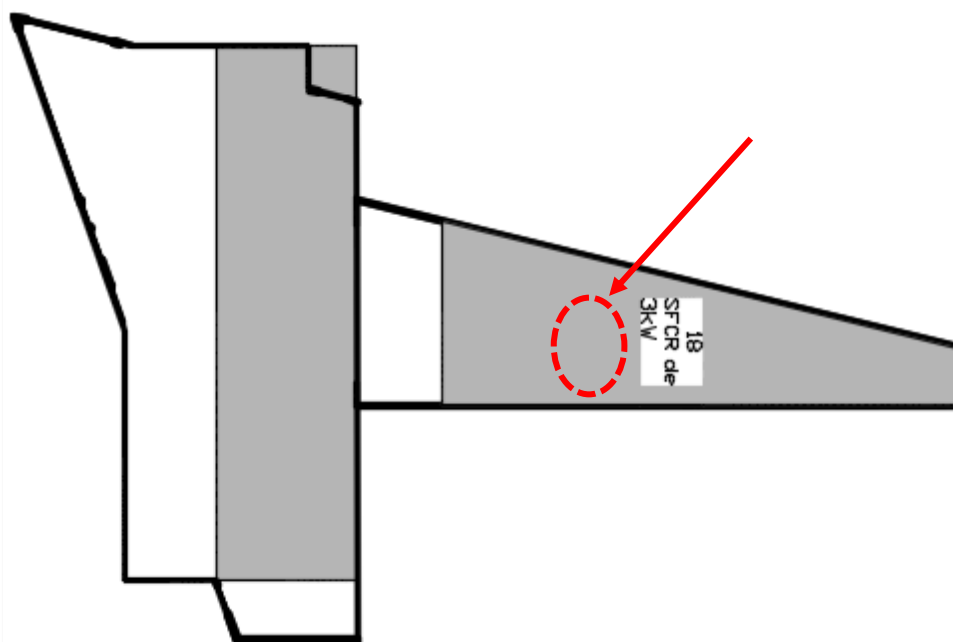


Figura 5. Zona de procedimiento experimental, 4º piso pabellón administrativo UNAJ

b. Ubicación de la obtención de muestras de agua, para los procedimientos experimentales

Las muestras de agua que se emplearon para los procedimientos experimentales, se extrajeron de dos pozos artesianos, acondicionados con anillos de concreto, de donde los usuarios consumen agua diariamente, fueron seleccionadas por ser de fácil acceso y estar ubicados en la zona urbana del distrito de San Miguel y Juliaca, pertenecientes a la provincia de San Román (Perú); de acuerdo a la descripción mostrada en la Tabla 7.

Tabla 7. Ubicación de pozos de muestreo, de agua para consumo humano

Ubicación / Distrito	Pozo	Coordenadas Este (m)	Coordenadas Norte (m)	Altitud (msnm)	Observaciones
San Miguel	P_01	0380713	8290693	3825	Extracción con bomba
Juliaca	P_02	0375769	8288182	3825	

Elaborado con asistencia Google Earth y GARMIN GPSMAP 64s Manual

3.2.2. Tiempo necesario de desinfección solar del agua de pozo, para los indicadores microbiológicos coliformes totales y *Escherichia coli*

Para calcular el tiempo necesario de desinfección solar del agua de pozo, se realizó una serie de procedimientos experimentales, con distintas configuraciones; los cuales se describieron a continuación.

a. Configuración de los procedimientos experimentales

Se desarrollaron diez procedimientos experimentales (PE) en los meses de agosto, septiembre y octubre del año 2019 en condiciones reales de operación, durante días despejados y parcialmente nublados, distribuidos de la siguiente manera: dos procedimientos experimentales base (para tener línea base de salida de energía fotovoltaica), seis procedimientos experimentales pilotos (para subsanar errores en los procedimientos experimentales) y dos procedimientos experimentales finales conclusivos. La configuración para el procedimiento experimental base consistió en un sistema híbrido (sin el agua y sin la cubierta externa de vidrio de borosilicato) y un módulo fotovoltaico de referencia (para la comparación de la salida de energía); se realizó el procedimiento experimental base con la finalidad de obtener información preliminar o punto de partida de la salida de energía, sin la influencia del agua, con ello realizar las discusiones y correcciones correspondientes respecto a los resultados de los procedimientos experimentales conclusivos. La configuración experimental para los procedimientos experimentales pilotos y conclusivos fueron idénticos, donde se utilizaron ocho sistemas híbridos (con agua y la cubierta externa con vidrio de borosilicato), más un módulo fotovoltaico de referencia. Los procedimientos experimentales pilotos, se realizaron para ajustar, subsanar y corregir los errores, llegando así, con toda esa experiencia a los procedimientos experimentales conclusivos cuyos resultados fueron considerados en la presente investigación. La codificación descripción y fechas de experimentación se muestran en la Tabla 8. En todas estas configuraciones, las estructuras estuvieron alineadas, con una inclinación de 15° respecto a la horizontal, de acuerdo a la latitud en la que se desarrolló la experimentación con orientación de sur a norte, tal como se muestra en la Figura 6. Además, se usó una estructura de madera para el soporte de los sistemas híbridos y el módulo fotovoltaico de referencia, eligiéndose este material por su disponibilidad en el mercado y coste en el mercado local.

Tabla 8. Serie de configuraciones experimentales para la evaluación de cinética de desinfección solar y salida de energía fotovoltaica

N.º	Código de PE	Descripción	Fecha de Experimentación
1	PE_00A	Procedimiento experimental base	21 agosto 2019
2	PE_00B	Procedimiento experimental base	23 agosto 2019
3	PE_01	Procedimiento experimental piloto	9 septiembre 2019
4	PE_02	Procedimiento experimental piloto	10 septiembre 2019

continuación

5	PE_03	Procedimiento experimental piloto	11 septiembre 2019
6	PE_04	Procedimiento experimental piloto	18 septiembre 2019
7	PE_05	Procedimiento experimental piloto	19 septiembre 2019
8	PE_06	Procedimiento experimental piloto	25 septiembre 2019
9	PE_07	Procedimiento experimental conclusivo	30 septiembre 2019
10	PE_08	Procedimiento experimental conclusivo	22 octubre 2019

N.º: Número, PE: Procedimiento Experimental

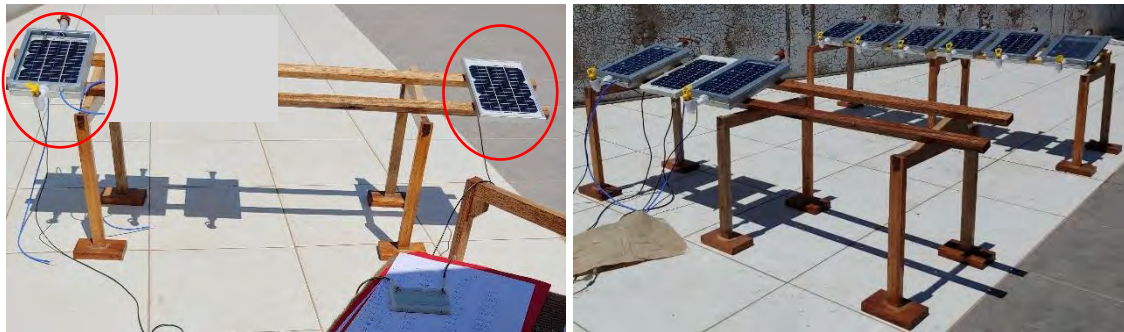


Figura 6. Configuraciones experimentales, **a.** procedimiento experimental base, **b.** procedimiento experimental piloto y conclusivo.

b. Tiempo de tratamiento del agua de pozo para desinfección solar

Los ocho sistemas híbridos y el módulo fotovoltaico de referencia, fueron expuestos a radiación solar manera simultánea. Además, los sistemas híbridos estuvieron expuestos de acuerdo a los tiempos de tratamiento para cada muestra, como se describen en la Tabla 9. Las pruebas comenzaron aproximadamente una hora y media antes del medio día solar, correspondiente a la ciudad de Juliaca (SENAMHI, 2019). En el séptimo procedimiento experimental conclusivo (PE_07) se tomaron muestras de agua al inicio (agua no tratada) y después 30, 60, 90, 120, 135, 150, 165 y 180 minutos; en el octavo procedimiento experimental conclusivo (PE_08), de la misma forma se tomaron muestras al inicio (agua no tratada) y después de 20, 40, 60, 75, 90, 105, 120 y 135 minutos de tratamiento por exposición a radiación solar.

Tabla 9. Frecuencia de obtención de muestras de agua sometidas a experimentación en sistema híbrido (PE_07 y PE_08)

Muestreos	PE_07		PE_08	
	Hora	Duración	Hora	Duración
Sin Tratamiento	10:15	0	10:00	0
SOLWAT 1	10:15 - 10:45	30	10:00 - 10:20	20
SOLWAT 2	10:15 - 11:15	60	10:00 - 10:40	40
SOLWAT 3	10:15 - 11:45	90	10:00 - 11:00	60
SOLWAT 4	10:15 - 12:00	120	10:00 - 11:15	75
SOLWAT 5	10:15 - 12:15	135	10:00 - 11:30	90
SOLWAT 6	10:15 - 12:30	150	10:00 - 11:45	105
SOLWAT 7	10:15 - 12:45	165	10:00 - 12:00	120
SOLWAT 8	10:15 - 13:00	180	10:00 - 12:15	135

c. Muestreo de agua de pozo, para la experimentación

Se extrajeron aproximadamente 9.5 litros de agua de pozo para los procedimientos experimentales (PE_07) y (PE_08), una hora antes del inicio de procedimientos experimentales considerando el “*protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales – RJ N° 010-2016-ANA*” por tratarse una fuente de tipo de puntual o discreta para aguas subterráneas (ANA, 2016). las muestras se almacenaron y se trasladaron en envases PET (Tereftalato de polietileno) de 7 y 2.5 litros de capacidad. Se usaron envases comerciales de agua instantes después de ser vaciados, repitiéndose así para cada procedimiento experimental con la finalidad de evitar alguna contaminación externa a la muestra de agua obtenida (Figura 7).



Figura 7. Muestras de agua de pozo, envasadas para el uso en los procedimientos experimentales

Para la conservación de la muestra de agua de pozo, los envases se trasladaron manteniendo a una temperatura por debajo de los 10 °C, a su vez fueron analizados antes de las 6 horas de haber obtenido la muestra, todo eso de acuerdo al apartado 9060B del texto (APHA, AWWA, & WPCF, 1992). Adicionalmente, también se cubrieron estos los envases con papel craft durante el traslado, y papel offset durante el llenado a los sistemas híbridos (módulo fotoquímico). Finalmente se descubrieron simultáneamente para el comienzo de cada procedimiento experimental.

d. Análisis microbiológico

Para los análisis microbiológicos, se consideraron como indicadores microbianos de contaminación fecal a *Escherichia coli* y el recuento de coliformes totales. Para estos análisis se usaron la técnica de filtración por membrana para la detección de la concentración bacteriana, considerando el procedimiento estándar de filtro de membrana y la Norma ISO 9308-1 correspondiente a la calidad del agua, para el recuento de coliformes totales y *Escherichia coli* (Parte 1: Método de filtración por membrana para aguas con bajo contenido de microbiota) (APHA et al., 1992). Para esta investigación, la metodología consistió en filtrar 100mL de agua (tratada y sin tratar), por un filtro de membrana de nitrato de celulosa de 0,45 µm de diámetro de poro, con la ayuda del soporte de filtro de vidrio clásico Millipore (kit 47 mm, embudo 300 mL), posteriormente la membrana se depositó boca arriba sobre una placa conteniendo Chromocult Coliform Agar (CCA), evitando la formación de burbujas y arrugas, finalmente se incubaron las placas con la membrana durante 18-24 horas a una temperatura de $36 \pm 2^{\circ}\text{C}$; todos estos análisis se realizaron por triplicado. En el recuento las colonias manifestadas de color azul oscuro a violeta se contaron como *E. coli* y las manifestadas de color rosa asalmonado a rojo, se contaron como otros coliformes; las bacterias coliformes totales fueron la suma de las colonias de color rosa asalmonado a rojo y las colonias azul oscuro a violeta (International Organization for Standardization [ISO], 2014); para el reporte final, en el análisis estadístico se consideró el resultado de una media simple de los tres análisis en cada muestra.

En estos análisis microbiológicos, donde se consideraron como indicadores microbianos a las bacterias coliformes totales y *Escherichia coli*, estuvieron de acuerdo los límites máximos permisibles (LMP) de la norma nacional peruana “Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano” Tabla 10. Y como unidad de medida, se consideró a las Unidades Formadoras de Colonias por cada 100 mL de muestra de agua tratada y sin tratar.

Tabla 10. Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos

Parámetros	Unidad de medida	LMP
Bacterias Coliformes Totales.	UFC/100 mL a 35°C	0
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL a 44,5°C	0
Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales.	UFC/100 mL a 44,5°C	0

Fuente: Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano ANEXO 1.

UFC: Unidad formadora de colonias; **LMP:** Límite máximo permisible

e. Análisis fisicoquímico de referencia de las muestras de agua usadas en la experimentación

Para el análisis fisicoquímico de las muestras de agua, se consideraron los parámetros como son: el pH, temperatura, turbidez y conductividad eléctrica, tanto para las muestras sin tratar, así como de las muestras tratadas, de acuerdo a los tiempos y el orden descrito en la Tabla 9. Para estos análisis se usaron los equipos del proyecto de investigación “Análisis de las Características Físico-Químicas y Microbiológicas de las Aguas de las Principales Fuentes de Consumo en la Región Puno”, como son el pH-Metro Hanna/HI-98190 para la medición del pH y temperatura, turbidímetro Lovibond/TB210IR para la determinación de la turbidez y finalmente el conductímetro Analytics/LAB 955 SET. En la medición de cada uno de los parámetros, se consideraron una previa calibración con los estándares incluidos en los propios equipos; al realizar las mediciones en las muestras se realizaron mediciones por triplicado. En el procedimiento para el pH, temperatura y conductividad eléctrica, se añadieron 100 mL de muestra de agua en un vaso estéril, seguidamente se introdujo los sensores esperando cinco minutos para su lectura; para la turbiedad, de la misma manera se añadieron diligentemente en las celdas de vidrio, evitándose en todo momento la formación de burbujas, se llenaron hasta el nivel indicado, luego se limpiaron cuidadosamente con papel tisú y se colocaron dentro del equipo para su lectura correspondiente.

3.2.3. Estimación de la capacidad de aprovechamiento de la radiación solar remanente

a. Condiciones ambientales: radiación global

Las condiciones climáticas que incluyen, la radiación global (irradiancia), temperatura del módulo y temperatura del ambiente, fueron medidas por la estación del proyecto de investigación “Diseño e Implementación de un Analizador con Sistema SACADA para la

Evaluación de Parámetros de Funcionamiento de un Miniparque Solar Fotovoltaico de 2.0 KW en Sistema Aislado y Conectado a Red". Específicamente se usó los datos registrados en un computador proporcionados por el "Módulo VMU-P: Unidad de registro de variables ambientales", usándose una celda calibrada de (15x20 cm) para la radiación global, un sensor de temperatura PT1000 pegado a la parte trasera del módulo, para la temperatura del módulo y un segundo sensor PT1000 para la medición de la temperatura del ambiente. Los cuales a su vez fueron proyectadas por el interfaz del programa de monitorización en tiempo real, como se muestra en la Figura 8.

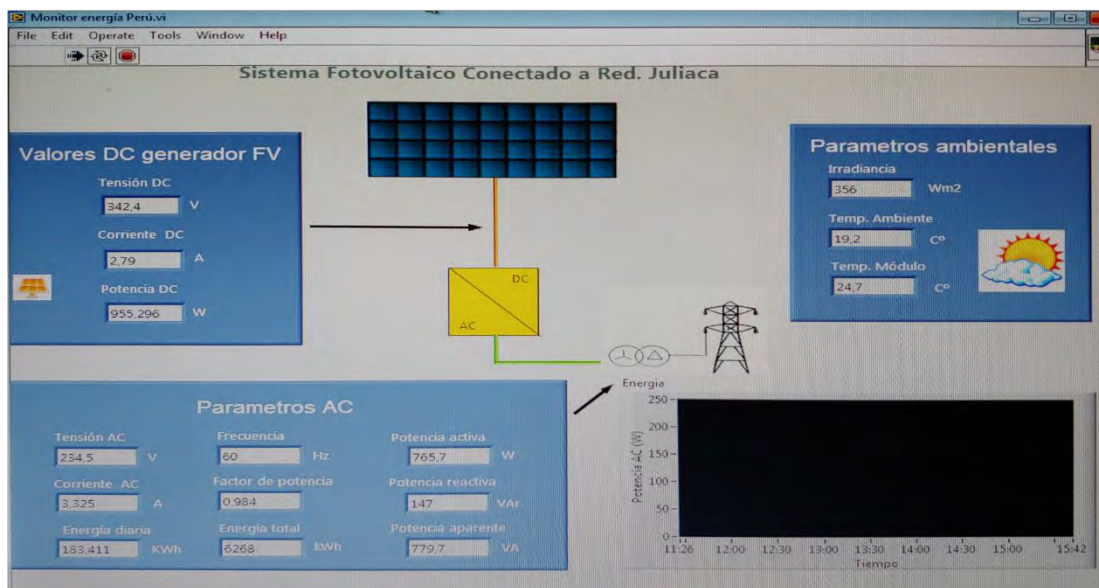


Figura 8. Interfaz proyectada, de la monitorización de parámetros ambientales.

b. Salida de energía fotovoltaica (tensión y corriente continua) del sistema híbrido vs el módulo fotovoltaico

Para la salida de energía fotovoltaica se midieron los parámetros de tensión y corriente continua, esta medición se realizó tanto en el sistema híbrido (SolWat8) y del módulo fotovoltaico de referencia. Las mediciones fueron manuales, cada 3 minutos usando un multímetro FLUKE 175 para medir corriente continua (DC) y otro multímetro FLUKE 375 para medir tensión DC, así como se muestra en la Figura 9. La información obtenida se registró y guardó en una tabla Excel. Además, se realizó el cálculo de la potencia DC de acuerdo a la ecuación (3), los cuales muestran la energía producida durante el procedimiento experimental.

$$P_{DC} = \frac{V_{DC} \times C_{DC}}{1000} \tag{3}$$

Donde:

- P_{DC} = Potencia DC (W)
- V_{DC} = Tención DC (V)
- C_{DC} = Corriente DC (mA)



Figura 9. Obtención de datos de la salida de energía eléctrica

Estas mediciones se realizaron en dos partes, la primera, parte de los procedimientos experimentales base, y la segunda, parte de los procedimientos experimentales conclusivos; esto con la finalidad de tener una comparación de la salida de energía cuando se añade el agua y el vidrio, de borosilicato.

c. Monitoreo de temperatura del sistema híbrido y módulo fotovoltaico

Para la obtención de datos de las temperaturas del agua (interno), correspondientes al módulo fotoquímico, se utilizaron dos sensores termistor NTC (de inmersión 10k) configurado con una resistencia de 10k Ω ; ubicados en la zona superior e inferior intermedia del agua, conectados una placa de microcontrolador de código abierto basado en el microchip ATmega328P (Arduino UNO), así como se parecía en la Figura 12. Para la programación se utilizó la ecuación (4) de Steinhart-Hart, para un modelo de la resistencia de un semiconductor a diferentes temperaturas.

$$\frac{1}{T} = A + B * \ln(R) + C * (\ln(R))^3 \quad (4)$$

dónde:

T = es la temperatura (en grados Kelvin)

R = es la resistencia en T (en ohmios)

A, B y C = son los coeficientes Steinhart-Hart que varían dependiendo del tipo y modelo del termistor y el rango de temperatura de interés. Para las constantes se usó el modelamiento de Stanford Research Systems, que se observa en la Figura 10.

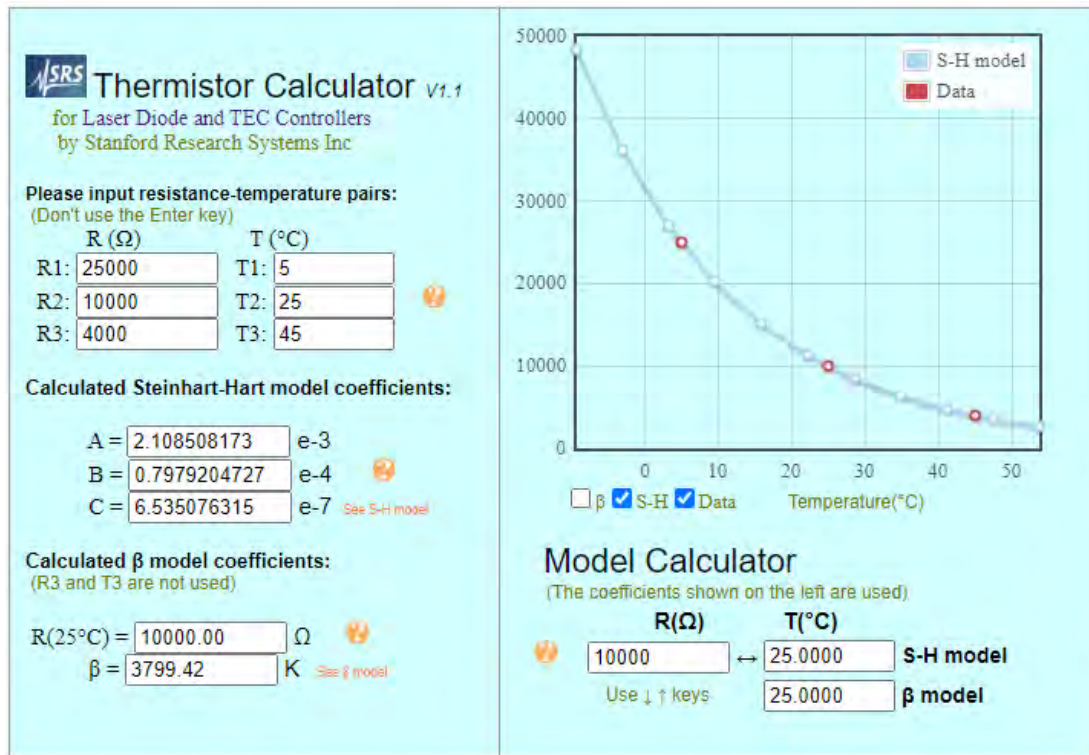


Figura 10. Calculador para termistor de Stanford Research Systems

Fuente: (Stanford Research Systems, n.d.)

Para la obtención de datos de las temperaturas del panel solar (externo), correspondientes al módulo fotovoltaico, se utilizaron dos sensores digitales DS18B20, configurado con una resistencia de 4.7kΩ; pegados a la espalda del sistema híbrido y el módulo fotovoltaico, conectados una placa de microcontrolador de código abierto basado en el microchip ATmega328P (Arduino UNO), así como se parecía en la Figura 12. Alimentado a través del PIN de datos, considerando que para su conexión de la forma mostrada en la Figura 11.

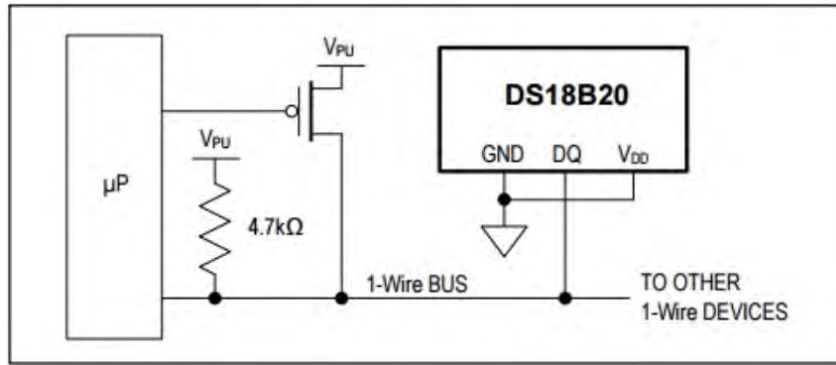


Figura 11. Forma de alimentación del sensor de temperatura DS18B20

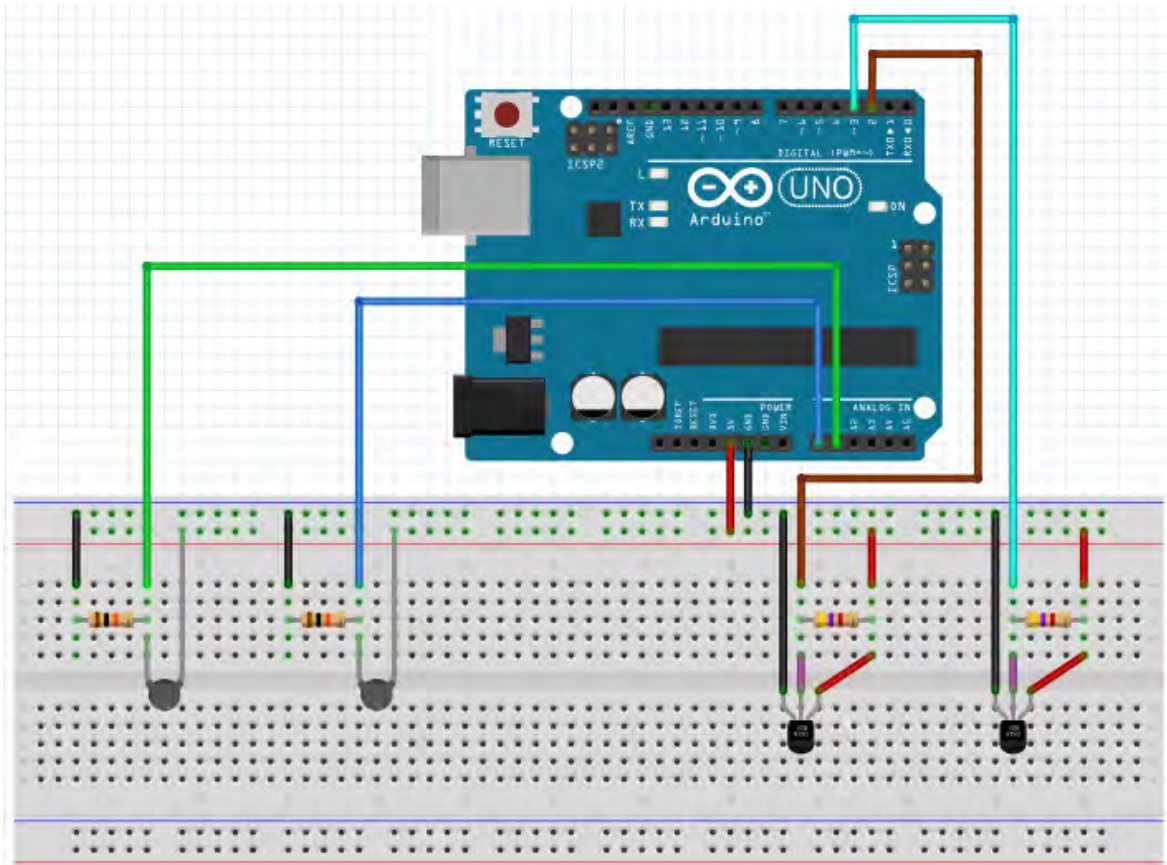


Figura 12. Esquema para la recolección de datos de temperatura

3.2.4. Cálculo de los costos de desinfección solar del agua de pozo

a. Costo total

En el cálculo de costos para la desinfección solar del agua de pozo, mediante el sistema híbrido, se incluyeron la sumatoria de costos fijos más costos variables mostrado en la ecuación (5), considerando solo de manera referencial y limitándose en su cálculo a una aproximación puntual (de experimentación).

$$\text{Costo Total} = \text{Costo Fijo} + \text{Costo Variable} \quad (5)$$

b. Costo fijo

Son los costos que se incurren en un periodo de tiempo y que no afectan a las fluctuaciones de niveles de producción (Mazón A, Villao B, Núñez, & Serrano L, 2017, p. 4) Consecuentemente para el cálculo de estos costos, se consideraron los costos requeridos para la infraestructura, materiales y equipos necesarios para el ensamblado del sistema híbrido, realizándose una sumatoria simple de todos los costos unitarios como son: la infraestructura de soporte, la base (módulo fotovoltaico), infraestructura de desinfección (módulo fotoquímico).

c. Costo variable

Son los costos que pueden variar con el nivel de producción (Mazón A et al., 2017). Para el cálculo de los costos variables, se consideraron los costos de operación y mantenimiento requeridos en la desinfección del agua de pozo mediante los sistemas híbridos.

d. Comparación de costos

Adicionalmente se realizó la comparación de los costos de desinfección del agua mediante el sistema híbrido respecto a las tecnologías existentes, considerándose a la “desinfección por cloración”, tecnología tradicional más empleada y recomendada por la normativa peruana, adicional a ello se consideró la alternativa existente en el mercado para el uso en instalaciones de viviendas particulares (unifamiliares). En esta comparación igualmente se realizaron las sumatorias correspondientes a los costos fijos y variables, considerándose a los materiales y equipos, así como reactivos, energía y mantenimiento respectivamente.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Tiempo de Desinfección Solar del Agua de Pozo, para los Indicadores Microbiológicos

4.1.1. Variación de la concentración bacteriana en distintos tiempos de tratamiento

La variación de la concentración bacteriana, en las muestras de agua, antes y después de los diferentes tiempos de tratamiento mediante desinfección solar, se muestran en la en la Tabla 11 y Tabla 12. Estos, son resultados de los análisis microbiológicos, para los indicadores microbiológicos coliformes totales y *Escherichia coli*; en unidades formadoras de colonias (UFC) por 100mL.

Tabla 11. Variación de la concentración bacteriana en las muestras de agua tratada y sin tratar PE_07

PE_07	Tiempo de Tratamiento (minutos)	Recuento CT (UFC/100mL)	Recuento EC (UFC/100mL)
sin tratamiento	0	24	n. d.
SOLWAT 1	30	12	n. d.
SOLWAT 2	60	1	n. d.
SOLWAT 3	90	n. d.	n. d.
SOLWAT 4	120	n. d.	n. d.
SOLWAT 5	135	n. d.	n. d.
SOLWAT 6	150	n. d.	n. d.
SOLWAT 7	165	n. d.	n. d.
SOLWAT 8	180	n. d.	n. d.

PE: Procedimiento Experimental, M: Muestras de agua, CT: Coliformes Totales, EC: Escherichia coli. UCF: Unidades Formadoras de Colonias, n. d.: no detectado

Tabla 12: Variación de la concentración bacteriana en las muestras de agua tratada y sin tratar PE_08

PE_08	Tiempo de Tratamiento (minutos)	Recuento CT (UFC/100mL)	Recuento EC (UFC/100mL)
sin tratamiento	0	448	(0.33)
SOLWAT 1	20	51	(0.17)
SOLWAT 2	40	39	n. d.
SOLWAT 3	60	27	n. d.
SOLWAT 4	75	5	n. d.
SOLWAT 5	90	1	n. d.
SOLWAT 6	105	n. d.	n. d.
SOLWAT 7	120	n. d.	n. d.
SOLWAT 8	135	n. d.	n. d.

PE: Procedimiento Experimental, **M:** Muestras de agua, **CT:** Coliformes Totales, **EC:** *Escherichia coli*. **UCF:** Unidades Formadoras de Colonias, **n. d.:** no detectado

En la variación de la concentración bacteriana se observó una reducción considerable desde la primera muestra de agua tratada correspondiente a “SOLWAT 1”, como se observa en la Tabla 11 y Tabla 12. Lo que nos mostró una desinfección propia de la radiación UV, puesto que no tenía la influencia de la temperatura; así como lo confirmaron en otras investigaciones desarrollados en otras latitudes (Vivar, Pichel, Fuentes, & López-Vargas, 2017). También se muestran que en ambos procedimientos experimentales se completó la desinfección antes de culminar con la experimentación, reduciéndose significativamente los tiempos planteados inicialmente.

4.1.2. Tiempo para la desinfección solar del agua de pozo artesiano

Para identificar el tiempo necesario para la desinfección completa del agua, los resultados de variación en la reducción de la concentración bacteriana, se trasladaron a curvas de cinética de desinfección las cuales se describen a continuación:

En la Figura 13, se observa los resultados de cinética de desinfección solar mediante el sistema híbrido correspondiente al PE_07, incluida el comportamiento de la temperatura del agua, durante los 180 minutos de exposición a la radiación solar. Los resultados para las pruebas de *Escherichia coli*, en las muestras de agua, desde la muestra inicial sin tratamiento,

así como a partir la primera hasta la octava muestra con tratamiento no se detectaron UFC, mostrando que, estas muestras de agua, no contienen estos microorganismos. Para los indicadores microbiológicos coliformes totales, disminuyeron de la siguiente manera: al inicio, en la muestra de agua sin tratamiento se tuvo una concentración bacteriana de 24 UFC/100mL, seguidamente en la primera muestra de agua, obtenida después de 30 minutos de tratamiento mediante desinfección por radiación solar, se disminuyó en un 50,4 %, posteriormente en la segunda muestra de agua, obtenida después de 60 minutos de tratamiento, llegó a una desinfección del 95,7 % y en la tercera muestra de agua, obtenida después de 90 minutos de tratamiento, no se detectaron ninguna UFC, llegando así a una desinfección completa, finalmente los resultados para las muestras, desde la cuarta hasta la octava, no se detectaron ninguna UFC, ratificando así la desinfección completa mediante radiación solar. La temperatura del agua dentro del sistema híbrido alcanzó los 45 °C después de 90 minutos (1.5 horas) de exposición y una temperatura máxima de 45.57 °C durante todo el periodo de tratamiento, superando a la temperatura ambiente en 21.17 ° C; en esta gráfica, no se aprecia la influencia directa de la temperatura a favor o en contra de la concentración bacteriana dado que una vez alcanzado el umbral de los 45°C ya no se detectaba la presencia de coliformes en el agua sometida a tratamiento.

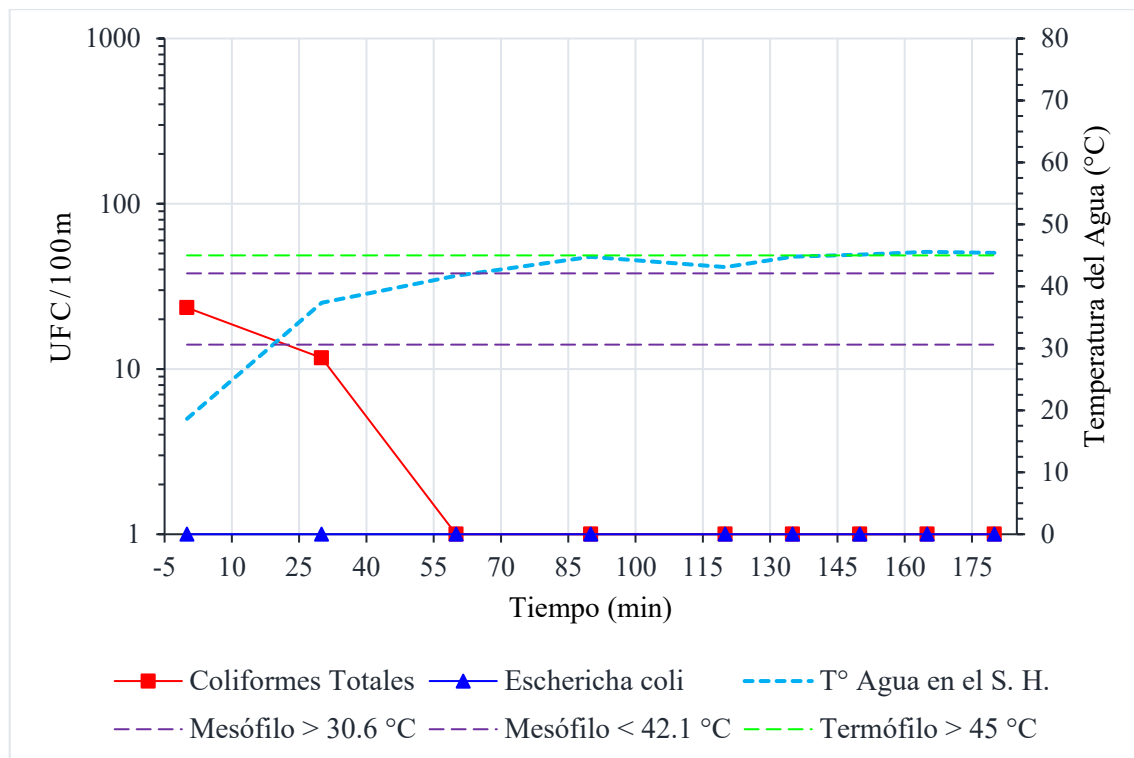


Figura 13. Cinética de desinfección solar para coliformes totales y *E. coli*. (PE_07)

UFC: Unidades Formadoras de Colonias, **°C:** Grados Centígrados, **min:** minutos, Zona de temperatura mesófila: (30.6 – 42.1) °C

En la Figura 14, se observa los resultados de cinética de desinfección solar mediante el sistema híbrido correspondiente al PE_08, incluida los resultados de la temperatura del agua, durante 135 minutos de exposición a la radiación solar. Los resultados para las pruebas de *Escherichia coli*, en la muestra de agua inicial sin tratamiento, realizando el promedio de la tres repeticiones la concentración bacteriana fue 0.33 UFC/100mL y en la primera muestra de agua con un tratamiento de 20 minutos, el promedio se redujo a 0.17 UFC/100mL, observándose así alguna presencia y manteniéndose por debajo del límite de detección; finalmente desde la segunda hasta la octava muestra de agua no se detectaron ninguna UFC, ratificando así la desinfección completa para este indicador. Para los indicadores microbiológicos coliformes totales, disminuyeron de la siguiente manera: al inicio, en la muestra de agua sin ningún tipo de tratamiento se tuvo una concentración bacteriana de 448 UFC/100mL, seguidamente en la primera muestra de agua, obtenida después de 20 minutos de tratamiento alcanzó una desinfección del 88,8 %, posteriormente en la segunda muestra de agua, obtenida después de 40 minutos de tratamiento alcanzó una desinfección del 91,2 %, en la tercera muestra de agua obtenida después de 60 minutos de tratamiento alcanzó una desinfección del 94 %, consecutivamente en la cuarta muestra de agua con un tratamiento de 75 minutos alcanzó una desinfección del 98,9 % finalmente en la quinta muestra de agua con un tratamiento de 90 minutos alcanzó una desinfección del 99,7 %, llegando así al límite de detección en la escala logarítmica, en la sexta muestra con un tratamiento de 105 minutos se alcanzó una desinfección completa, séptima y octava muestra de agua con tratamientos de 120 y 135 minutos no se detectaron ninguna UFC, ratificando así la desinfección completa mediante radiación solar. La temperatura del agua dentro del sistema híbrido alcanzó los 45 °C después de 90 minutos (1.5 horas) de exposición y una temperatura máxima de 47.77 °C durante todo el periodo de tratamiento, superando a la temperatura ambiente en 23.62 ° C; también en esta gráfica, no se aprecia la influencia directa de la temperatura a favor o en contra de la concentración bacteriana dado que una vez alcanzado el umbral de los 45°C ya no se detectaba la presencia de coliformes en el agua sometida a tratamiento.

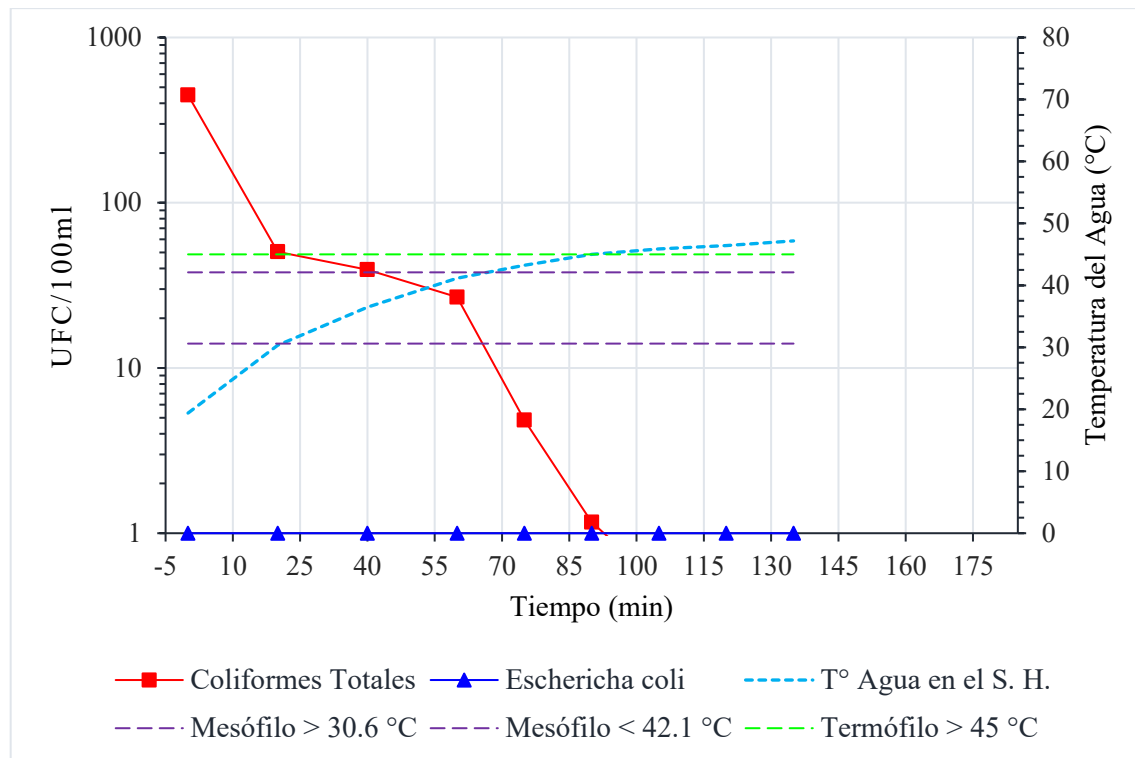


Figura 14. Cinética de desinfección solar para coliformes totales y *E. coli* (PE_08)

UFC: Unidades Formadoras de Colonias, **°C:** Grados Centígrados, **min:** minutos, Zona de temperatura mesófila: (30.6 – 42.1) °C

El tiempo necesario de tratamiento, para la desinfección solar del agua fue de 90 minutos para el PE_07 y PE_08, conforme se observa en la Tabla 11, Tabla 12, Figura 13 y Figura 14. Estos resultados mejoran en los tiempos de tratamiento, mediante el sistema híbrido, respecto al primer estudio de optimización del sistema híbrido, realizadas en Alcalá de Henares (Madrid-España) por Pichel et al., (2018); donde para los indicadores de coliformes totales y *Escherichia coli*, se requirieron 180 minutos de tratamiento, en las dos pruebas realizadas en los meses de mayo y julio del 2017, comparado con nuestra investigación, respecto al tiempo de tratamiento, se pudo reducir en 75 minutos al PE_08, y en 90 minutos al PE_08; lo que significa un ahorro de casi la mitad de tiempo, comparado con cada procedimiento experimental.

En otras investigaciones realizadas en México (junio 2017) por Pichel et al., (2020), corroboran los tiempos 180 minutos de tratamiento de desinfección solar, por el sistema híbrido; que fue un caso real, usando fuentes de agua de pozo, en donde las concentraciones iniciales de bacterias coliformes totales y *Escherichia coli*, fue de $10^5 \pm 10^3$ UFC/100 mL y 24 ± 9 UFC/100 mL respectivamente. Consecuente con los anteriores resultados, en los dos experimentos desarrollados por Vivar et al., (2020), realizados el junio del 2019 en Alcalá de Henares (Madrid-España), también se requirieron los mismos 180 minutos de

tratamiento; respecto al segundo experimento, a pesar de que, se realizaron tres pruebas a lo largo de todo el día, los resultados no perjudicaron al tratamiento, pero si mejoraron los resultados con respecto a las horas centrales del día.

Respecto a la desinfección mediante SODIS clásico tiene un amplio estudio, desarrollo y aplicación; desde sus inicios muchos investigadores, probaron con la exposición del agua contaminada al sol, en botellas PET; por ejemplo Oates et al., (2003), probó la desinfección solar para los indicadores coliformes totales y *E. coli*, entre otros; donde con una exposición de un día se logró una desinfección del 52 %, pero con un periodo de 2 días de exposición se logró una inactivación microbiana completa; donde para el consumo humano se sugirió una rotación de 3 grupo de botellas cada mañana. En otro trabajo estudiaron los efectos de desinfectar agua, mediante: botellas PET, botellas PET pintadas parcialmente, y uso de concentradores solares; donde se concluyó que al adicionarle el pintado parcial y el uso de concentradores, podrían reducir la desinfección total a tan solo 2 horas, respecto a una exposición normal que requería más de 6 horas (Martín-Domínguez et al., 2005).

La influencia de la temperatura se observa claramente para el PE_08, donde, en un inicio antes de llegar a la zona de temperatura mesófila, la desinfección de la concentración bacteriana fue del 88,8 %, pero en la misma zona de temperatura mesófila la desinfección disminuyó a rangos de 21,8 y 31,8 %, pasado esta zona aumentó la desinfección llegando a rangos de 82 y 75,9 %. En otras investigaciones también identificaron la influencia de la temperatura, en la desinfección del agua por radiación solar, por ejemplo Vivar, Pichel, Fuentes, et al., (2017) experimentaron en botellas PET, donde concluyeron que, *“las temperaturas cercanas a la temperatura óptima de crecimiento de los diferentes microorganismos pueden tener un efecto antagónico en la desinfección solar y ralentizar el proceso”*. En esta investigación, para las bacterias coliformes totales se confirma el mismo comportamiento, como se observa en la Figura 13 y Figura 14.

4.1.3. Análisis fisicoquímico de referencia de las muestras de agua

Las muestras de agua, con o sin tratamiento, mediante radiación solar, también se sometieron a los análisis fisicoquímicos de referencia, como son la turbiedad, conductividad eléctrica, pH, y temperatura; siendo la turbiedad del agua, de suma importancia en la desinfección solar del agua SODIS, puesto que influyen en el transmitancia de la radiación solar (Luzi, Tobler, Suter, & Meierhofer, 2016), así como para la desinfección es necesario que el agua esté por debajo de 5 UNT, de acuerdo a la normativa peruana. En la Tabla 13, se muestra los

resultados antes y al final de cada procedimiento experimental (PE_07 y PE_08), donde se aprecia una disminución en los parámetros de turbiedad y conductividad eléctrica, manteniéndose los valores de pH, y con un aumento de temperatura que es resultado propio de exposición del agua a la radiación solar. Los valores del pH, se mantuvieron dentro de los rangos establecidos por la OMS (2011). Con un ligero cambio a alcalino; así como también lo demuestra en los resultados de Mamani (2019), donde el pH media es de 7,951 que son ligeramente alcalinos.

Tabla 13. Resultados de variación de parámetros fisicoquímicos antes y después del tratamiento por el sistema híbrido

Turbidez (UNT)					
	Repetición	Inicial	Promedio	Final	Promedio
PE_07	1	0.47		0.28	
	2	0.46	0.47	0.25	0.27
	3	0.49		0.27	
PE_08	1	0.35		0.28	
	2	0.44	0.43	0.29	0.28
	3	0.50		0.27	
Conductividad Eléctrica (µS/cm)					
	Repetición	Inicial	Promedio	Final	Promedio
PE_07	1	1322		1296	
	2	1325	1323	1302	1301
	3	1323		1305	
PE_08	1	1330		1303	
	2	1331	1331	1302	1303
	3	1332		1303	
Potencial de Hidrogeno (pH)					
	Repetición	Inicial	Promedio	Final	Promedio
PE_07	1	7.8		7.6	
	2	7.6	7.7	7.7	7.7
	3	7.7		7.7	
PE_08	1	7.5		7.4	
	2	7.4	7.5	7.3	7.4
	3	7.5		7.4	
Temperatura (°C)					
	Repetición	Inicial	Promedio	Final	Promedio
PE_07	1	9.80		38.80	
	2	9.50	10	38.50	39
	3	9.60		38.40	

continuación

	1	9.50		35.50	
PE_08	2	9.10	9	34.30	35
	3	9.20		34.30	

PE: Procedimiento Experimental, **UNT:** Unidades Nefelométricas de Turbiedad, $\mu\text{S/cm}$: microsiemens por centímetro, **°C:** grados centígrados

En cada muestra correspondiente a cada procedimiento experimental (PE_07 y PE_08), también se realizó los análisis para estos parámetros, adicionales a los análisis iniciales y finales, para ver el comportamiento a lo largo de cada muestreo del agua después de los tratamiento, los cuales se observan en las siguientes figuras: En la Figura 15, se observa la reducción mínima de la turbiedad, así como el comportamiento a lo largo de los muestreos realizados; llegando a una disminución 44 % en el PE_07 y un 35 % en el PE_08, respecto a la prueba inicial.

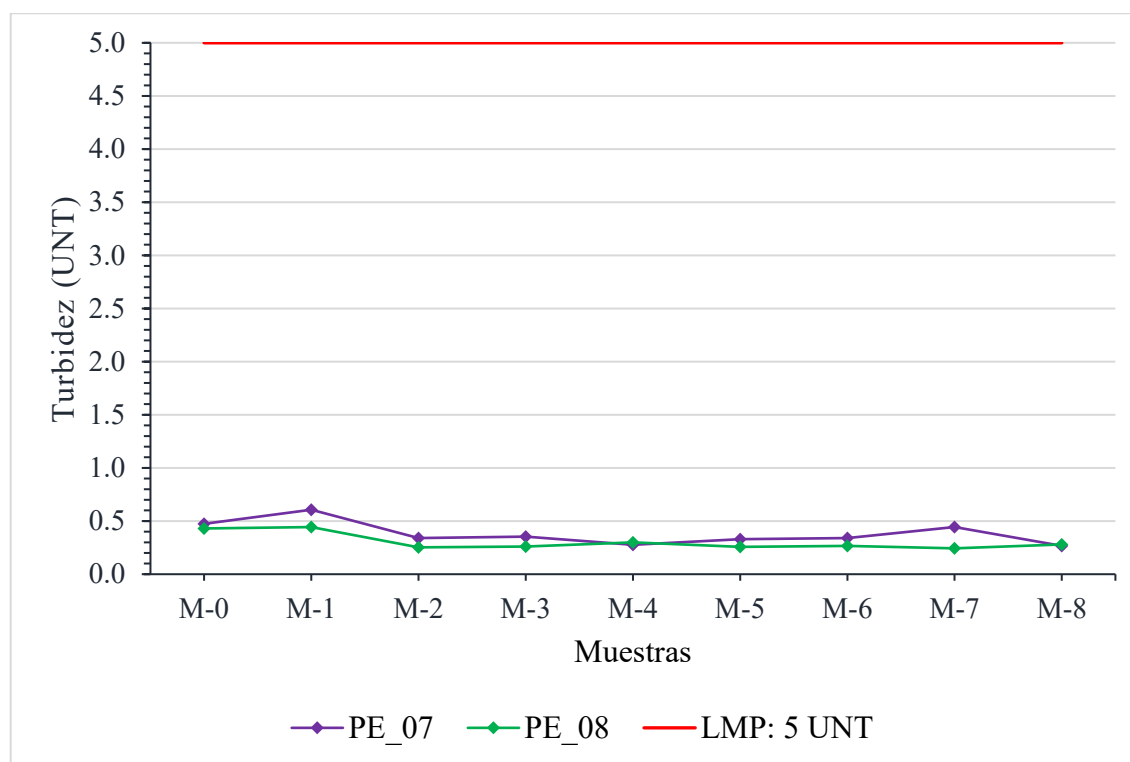


Figura 15. Variación de turbiedad todas las muestras de agua

LMP: Límite Máximo Permissible - DIGESA

Esta reducción mínima de la turbiedad y la conductividad eléctrica es propia del proceso de tratamiento, que consistió en un tratamiento estático, lo que permitió la suspensión de sólidos y por ende también la reducción mínima de estos parámetros. Puesto que consisten en procesos físicos influenciados directamente con la gravedad.

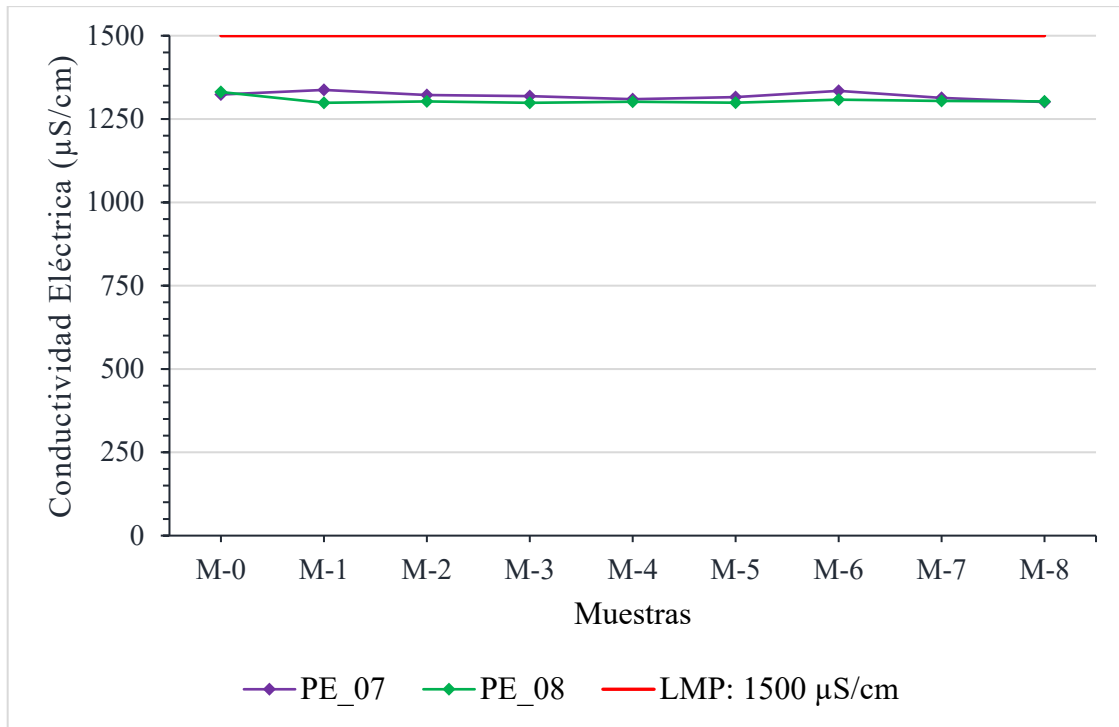


Figura 16. Variación de conductividad eléctrica en todas las muestras de agua

LMP: Límite Máximo Permisible – DIGESA

En la Figura 16, muestra el comportamiento de la conductividad eléctrica del agua tratada, de acuerdo a cada muestreo, obteniendo una disminución del 2 % respecto a la prueba inicial, tanto en la prueba 7 y la prueba 8.

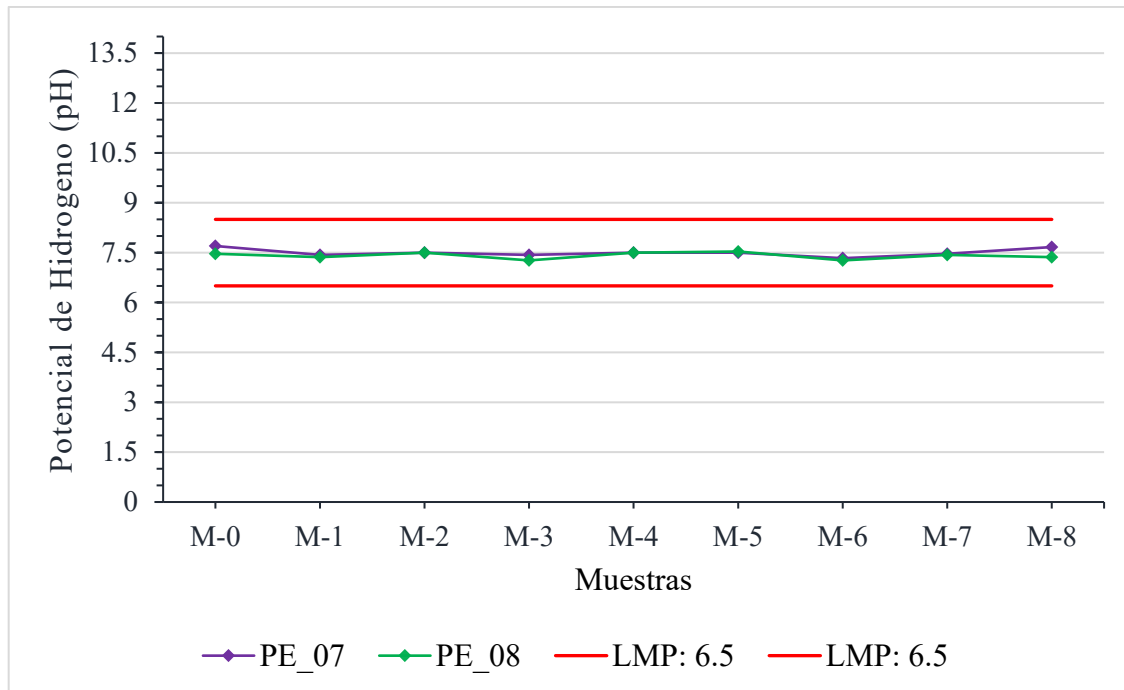


Figura 17. Variación de pH en todas las muestras de agua

LMP: Límite Máximo Permisible – DIGESA

En la Figura 17, muestra el comportamiento del pH en agua, en donde no hubo cambios, puesto que se mantuvieron los valores a lo largo de los muestreos realizados, desde la prueba inicial hasta la prueba final.

La nula variación del pH, que los procedimientos experimentales de tratamiento del agua no alteraron químicamente la composición del agua, siendo así un tratamiento sencillo y seguro (OMS, 2019).

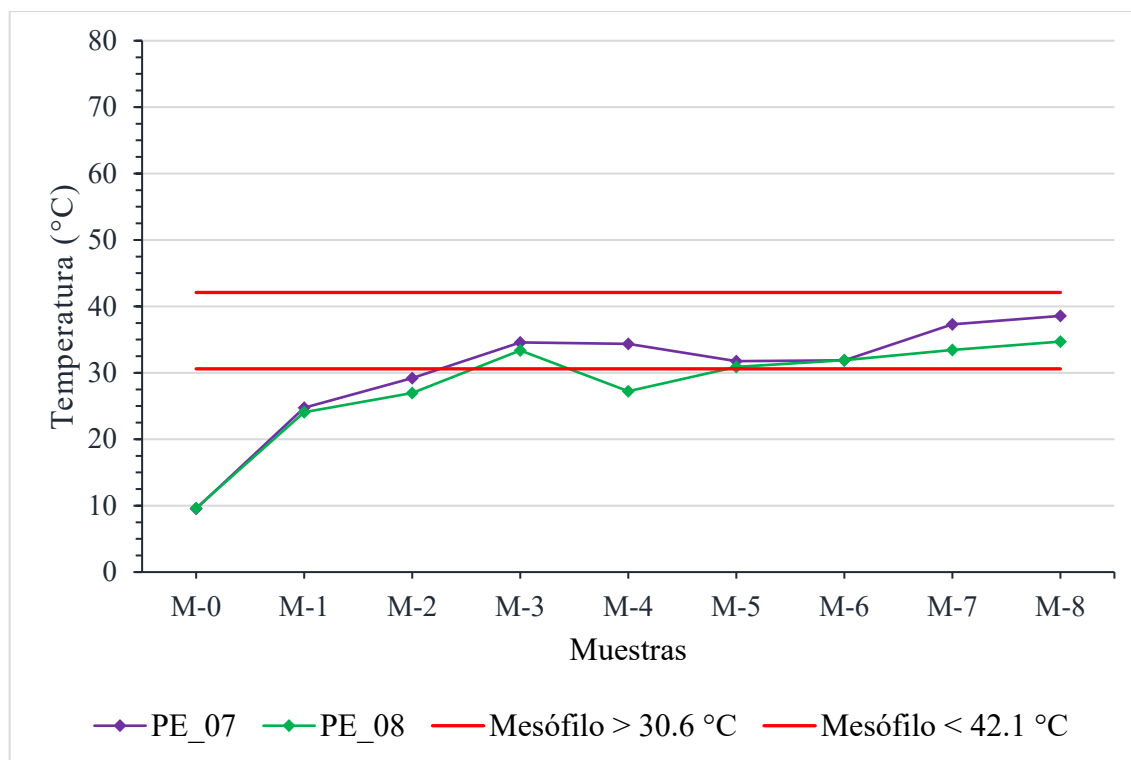


Figura 18. Variación de temperatura en todas las muestras de agua

Zona de temperatura mesófila: (30.6 – 42.1) °C

En la Figura 18, se muestra el aumento de la temperatura, en todas las muestras de agua, resultados después del muestreo y antes de los análisis correspondientes en laboratorio, observándose el aumento que es propio del tratamiento a la exposición de radiación solar.

En la variación de la temperatura, observándose un aumento significativo es propia del tratamiento del agua, lo que se ve reflejado en las muestras analizadas siendo datos referenciales.

4.2. Capacidad de Aprovechamiento de la Radiación Solar Remanente

4.2.1. Resultado experimental base: cálculo de salida de potencia DC

En la Figura 19 y Figura 20, se muestran variaciones de la salida de energía producida en el procedimiento experimental base respecto a la potencia DC del sistema híbrido (sin el agua y sin la cubierta externa de vidrio de borosilicato) vs el módulo fotovoltaico de referencia, que son el resultado del cálculo base (producto de la tensión y corriente continua) del mismo periodo experimental. Donde para para el sistema híbrido, se calculó una salida de potencia DC promedio de 6.03 W y 6.83 W para el módulo fotovoltaico individual correspondientes al PE_00A; así como, una salida de potencia DC promedio de 5.86 W para el sistema híbrido y 6.68 W para el módulo fotovoltaico de referencia correspondientes al PE_00B, teniendo una diferencia media de 0.80 y 0.83 W respectivamente, lo que se traduce a una disminución conjunta del sistema híbrido en 0.81 W, respecto al módulo fotovoltaico de referencia. Para el PE_00B no se recolectaron datos de irradiancia global.

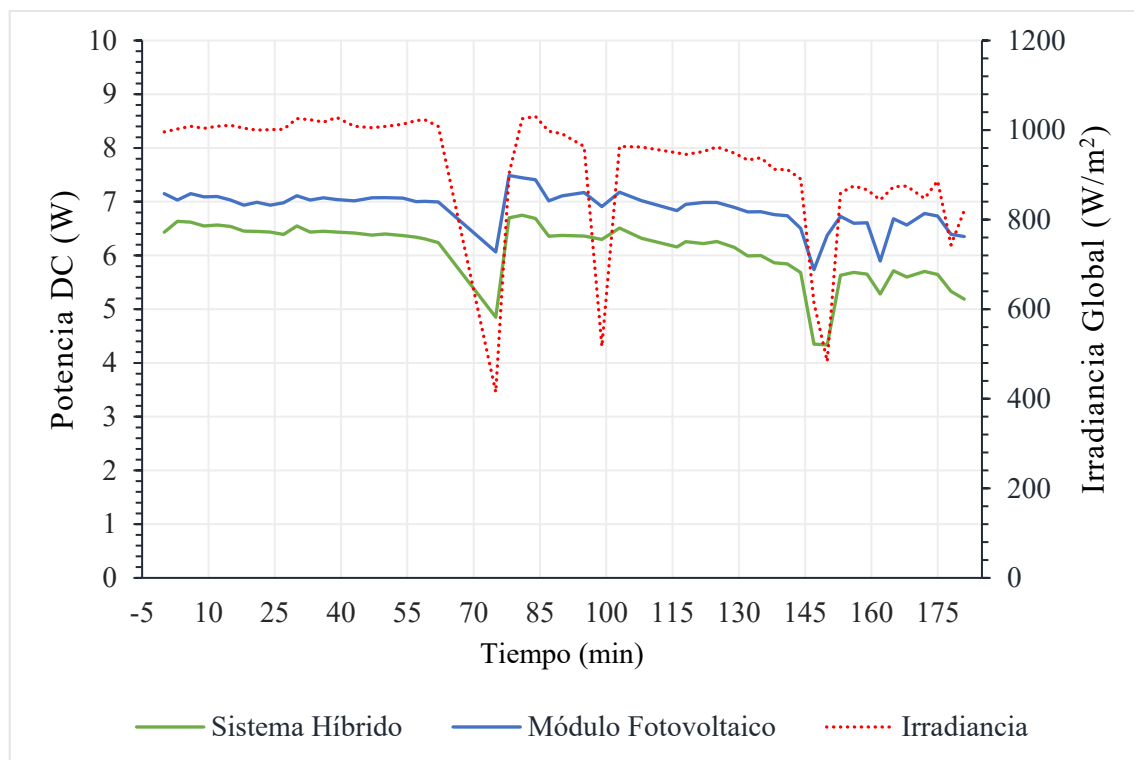


Figura 19. Variaciones del cálculo de salida de potencia DC e irradiancia global para el PE_00A

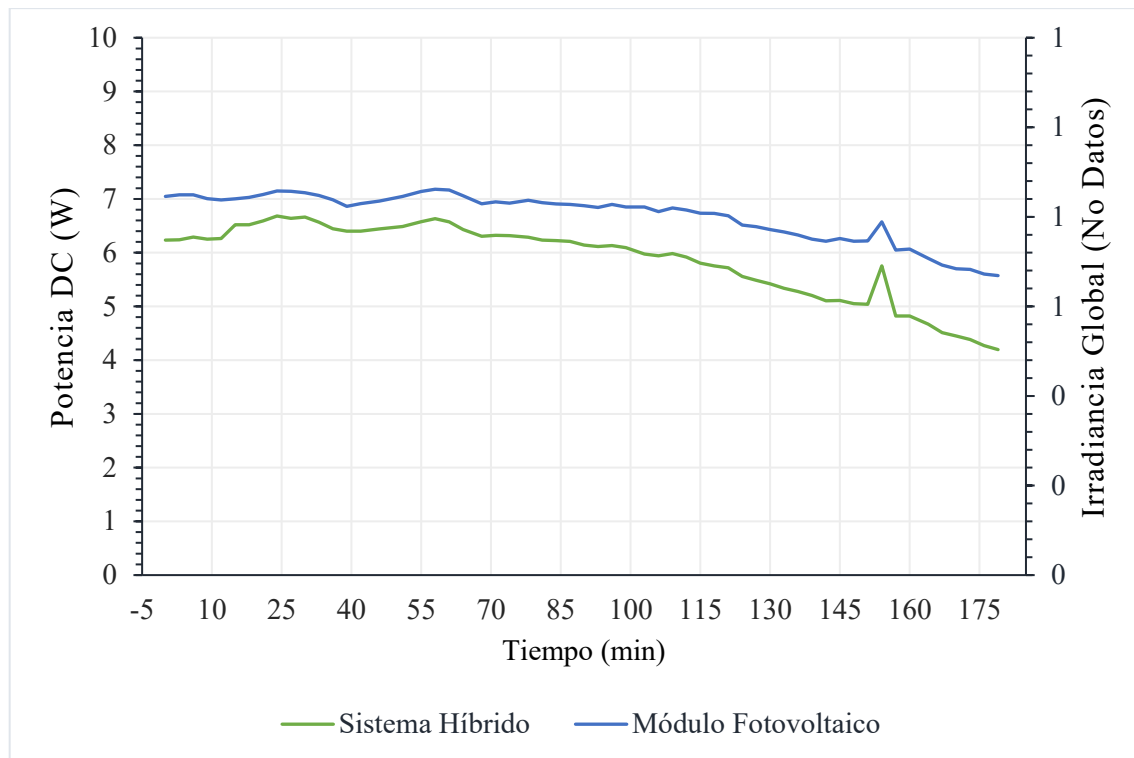


Figura 20. Variaciones del cálculo de salida de potencia DC para el PE_00B

* no se registraron datos de irradiancia global

En la Figura 19 y Figura 20, representan el comportamiento de las variaciones de la irradiación global y salida de energía fotovoltaica conforme a las condiciones climáticas del periodo experimental. Por ejemplo, en los minutos 75, 99 y 150 de la Figura 19 se observa una caída de la irradiación global, y congruentemente también la disminución de la salida de energía fotovoltaica. A su vez observando ambas Figura 19 y Figura 20 se mantiene una concordancia, respecto a las fluctuaciones entre el sistema híbrido y el módulo fotovoltaico de referencia.

4.2.2. Resultado experimental base: salida de corriente y voltaje (DC)

En la Figura 21 y Figura 22, se observa la variación de los valores de salida de corriente continua (mediante el sistema híbrido y módulo fotovoltaico de referencia) durante el periodo del procedimiento experimental, correspondiente al PE_00A y PE_00B; donde se observa una disminución promedio (respecto al módulo fotovoltaico de referencia) de 33.56 mA para el PE_00A y 34.81 mA para el PE_00B teniendo así una disminución conjunta de 34.19 miliamperios. Con respecto a la salida de tensión DC, en el mismo periodo de tratamiento, también se tuvo una disminución promedio (respecto al módulo fotovoltaico de referencia) de 0.35 V para el PE_00A y de 0.34 V para el PE_00B, resultado una disminución conjunta de 0.34 Voltios respecto al módulo fotovoltaico de referencia, tal como se observa

dicha variación en la Figura 23 y Figura 24. Para el PE_00B no se recolectaron datos de irradiancia global.

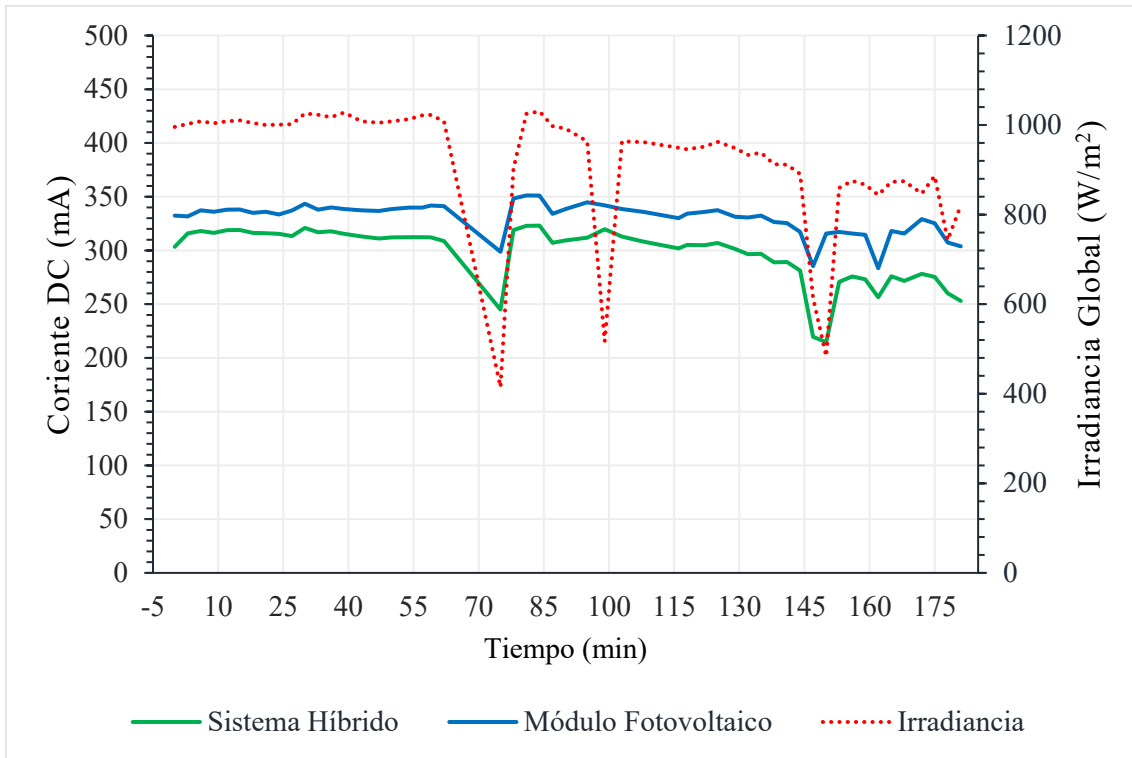


Figura 21. Variaciones de la medición de salida de corriente DC e irradiancia global correspondiente al PE_00A

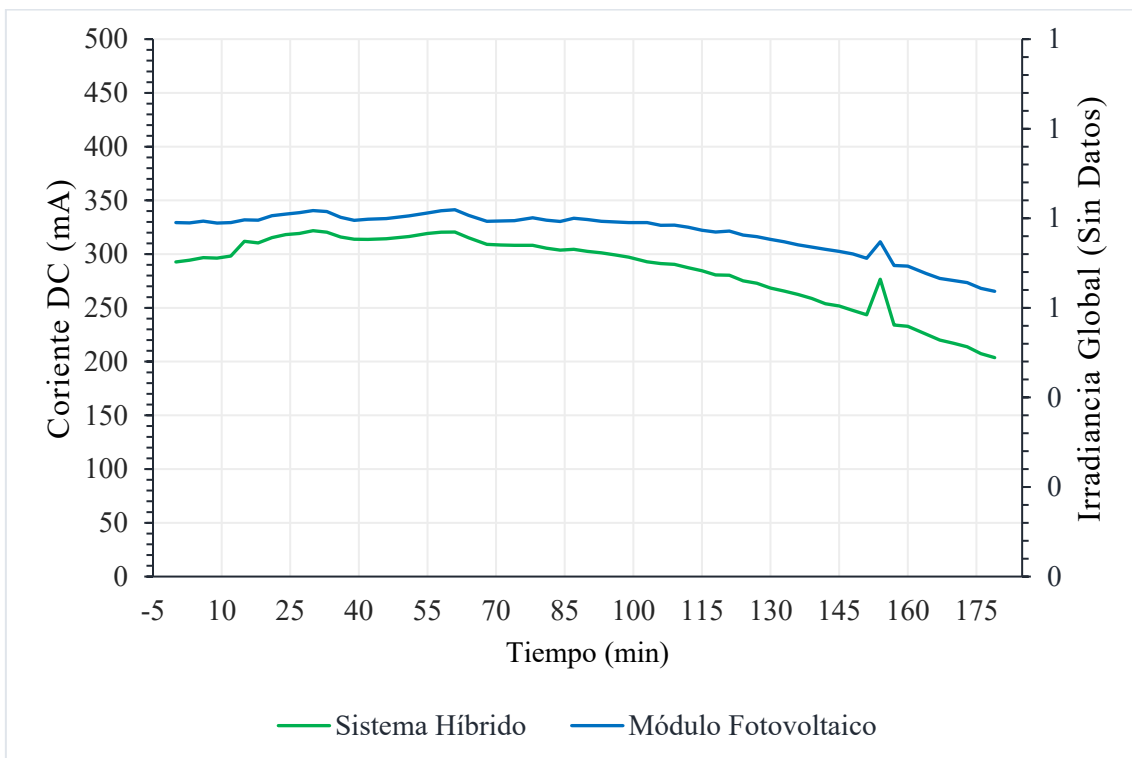


Figura 22. Variaciones de la medición de salida de corriente DC correspondiente al PE_00B

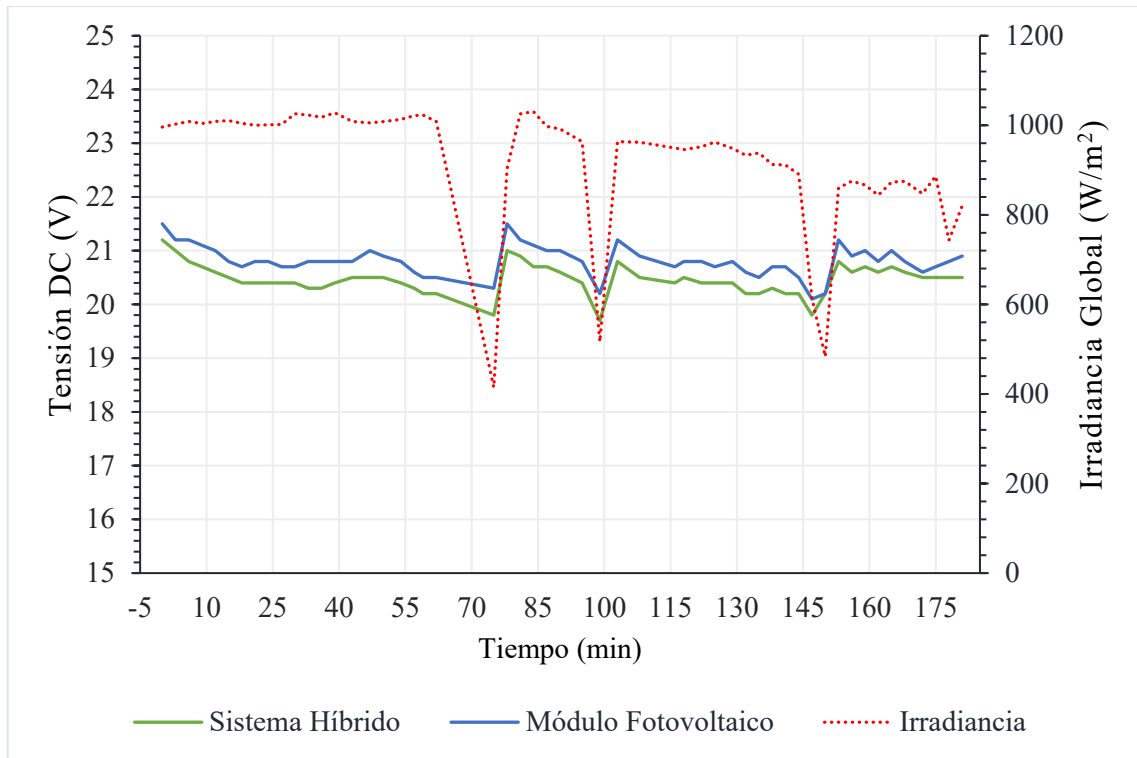


Figura 23. Variaciones de la medición de salida de tensión DC e de irradiancia global correspondiente al PE_00A

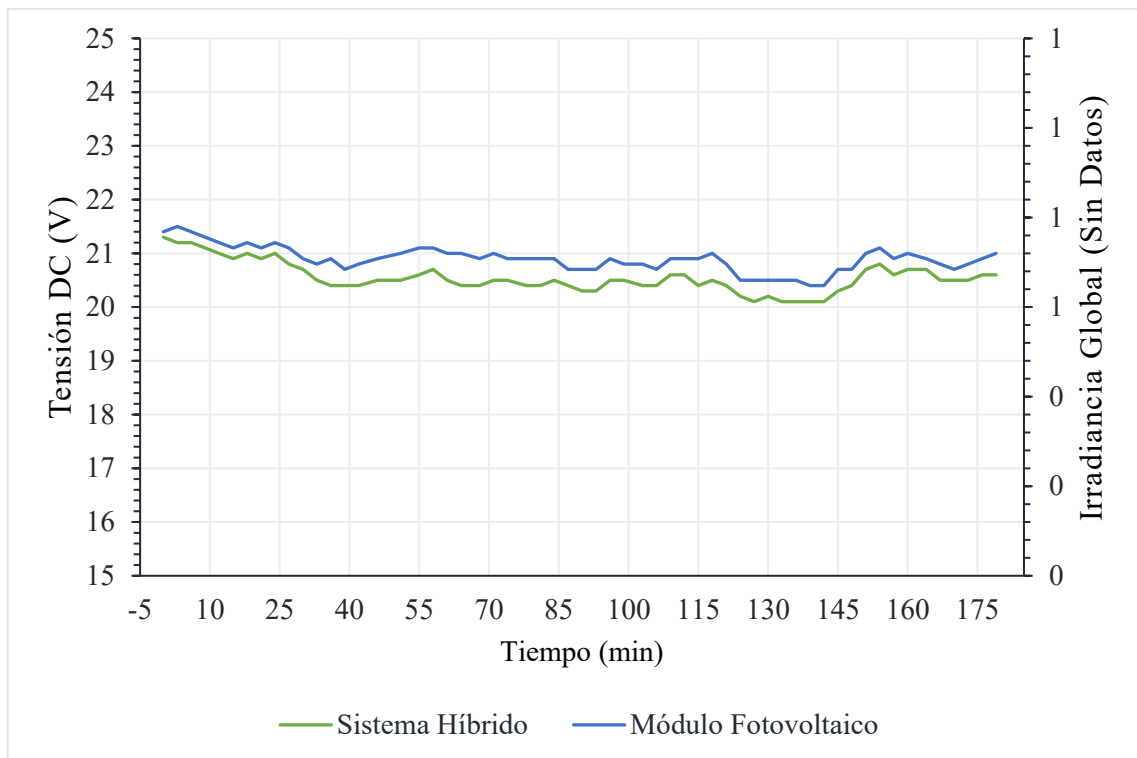


Figura 24. Variaciones de la medición de salida de tensión DC e irradiancia global correspondiente al PE_00B

En todos los resultados se muestran la concordancia de las fluctuaciones, tanto de la salida de tensión y corriente continua, siendo persistentemente menor en el sistema híbrido que en

el módulo fotovoltaico de referencia, lo que nos indica, que infraestructura ensamblada en la parte superior del módulo afecta directamente en la producción de energía fotovoltaica. A su vez se puede apreciar que la salida de tensión aumenta conforme ocurre la refrigeración en los momentos de disminución de la radiación solar.

4.2.3. Resultado experimental conclusivo: cálculo de salida de potencia DC

En la Figura 25 y Figura 26, se muestran la variación de la energía fotovoltaica producida respecto a la potencia DC del sistema híbrido (con el agua y con la cubierta externa de vidrio de borosilicato) vs el módulo fotovoltaico de referencia, que corresponden al cálculo conclusivo del mismo periodo experimental PE_07 y PE_08. Donde para para el sistema híbrido se calculó una salida de potencia DC promedio de 5.70 W y 7.16 W para el módulo fotovoltaico individual, correspondientes al PE_07; así como, una salida de potencia DC promedio de 5.65 W para el sistema híbrido y 7.08 W para el módulo fotovoltaico de referencia, correspondientes al PE_00B. Manteniendo una diferencia media de 1.46 y 1.43 W respectivamente; a esta diferencia se le corrigió con los cálculos base que se realizaron previamente, llegándose a una reducción final de 0.66 y 0.62 W respectivamente, lo que en efecto representa la disminución del 9,01 y 8,72 % debido al agua de pozo empleada para la desinfección solar. A pesar de ello se la salida de energía fotovoltaica se mantuvo por encima de los 5 W incluso antes de realizar las correcciones correspondientes.

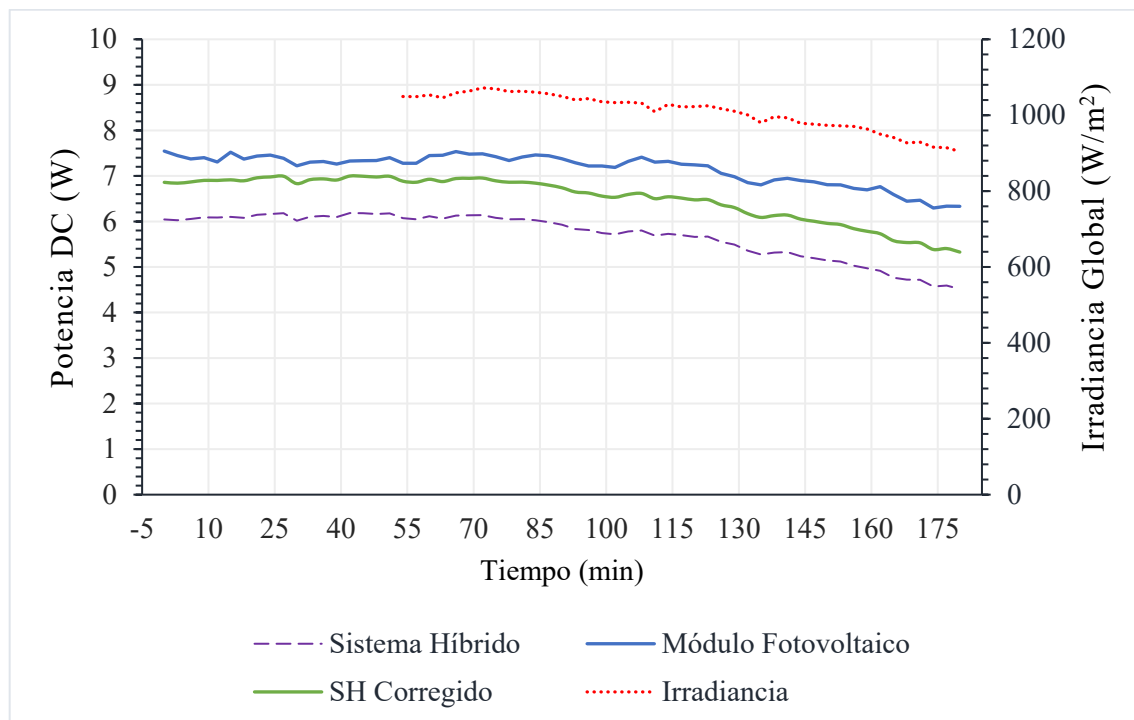


Figura 25. Variaciones del cálculo de salida de potencia DC e irradiancia global para el PE_07

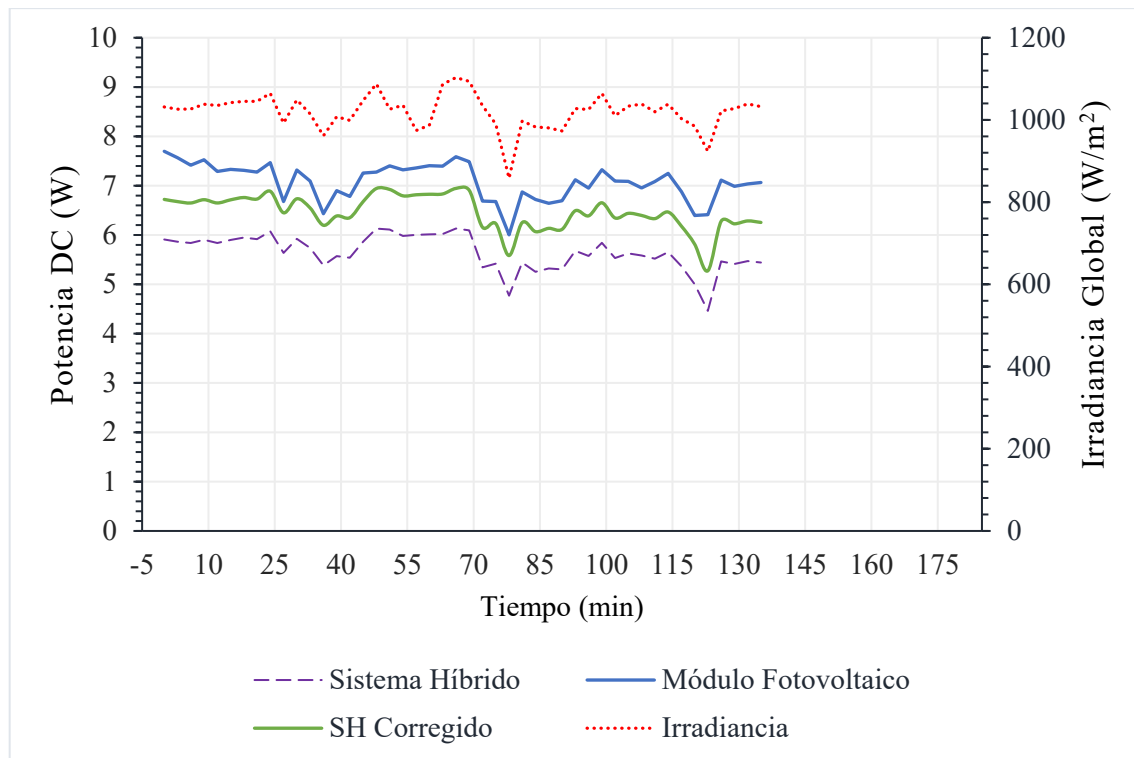


Figura 26. Variaciones del cálculo de salida de potencia DC e irradiancia global para el PE_08

4.2.4. Resultado experimental conclusivo: salida de corriente y voltaje (DC)

En la Figura 27 y Figura 28, se observa la variación de los valores de salida de corriente continua durante el periodo del procedimiento experimental, correspondiente al PE_07 y PE_08 mediante el sistema híbrido y módulo fotovoltaico de referencia; donde se observa una disminución (respecto al módulo fotovoltaico de referencia) promedio de 74.98 mA para el PE_07 y 76.38 mA para el PE_08; pero, al realizar la corrección con las mediciones base, se tuvo una disminución promedio de 40.80 mA para el PE_07 y 42.19 mA para el PE_08. Contrariamente respecto a la salida de tensión DC en el mismo periodo de tratamiento se observa, una mejora promedio (respecto al módulo fotovoltaico de referencia) de 0.29 V para el PE_07 y de 0.48 V para el PE_08; a esta mejora, considerando la corrección correspondiente se incrementó a 0.64 V para el PE_07 y de 0.82 V para el PE_08, representando así una mejora del 3,1 y 4 % respecto al módulo fotovoltaico de referencia, tal como se observa en la Figura 29 y Figura 30.

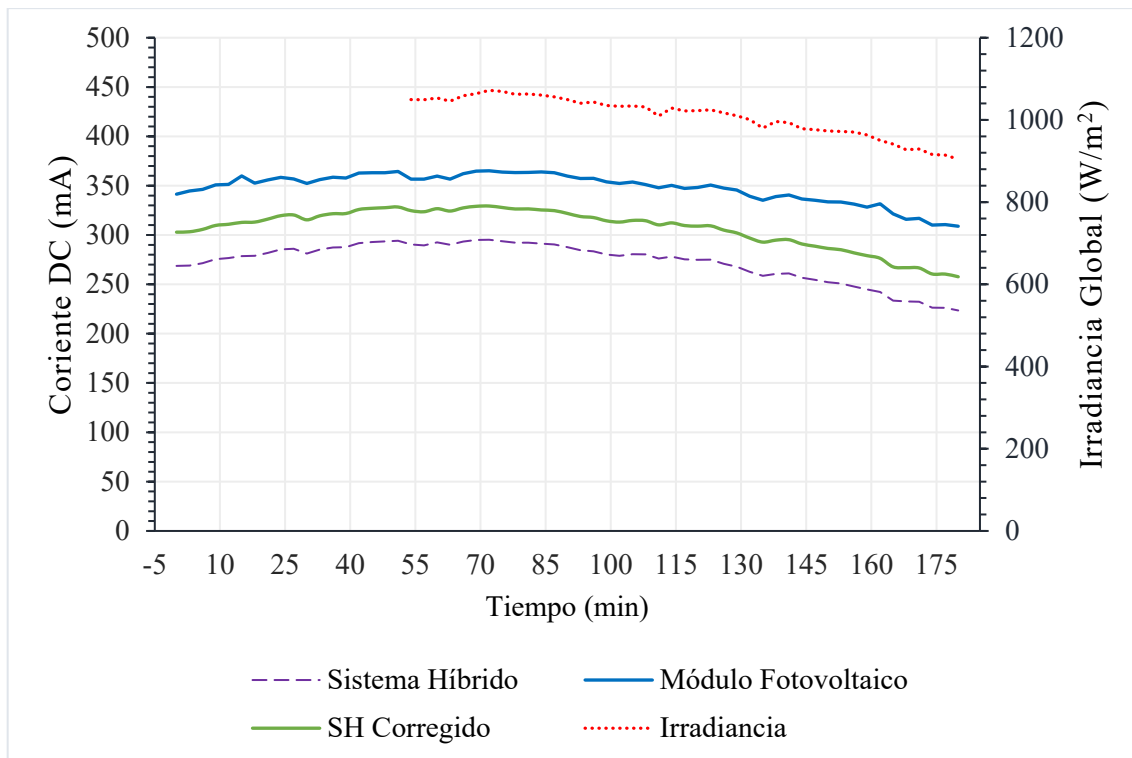


Figura 27. Variaciones de la medición de salida de corriente DC e irradiancia global correspondiente al PE_07

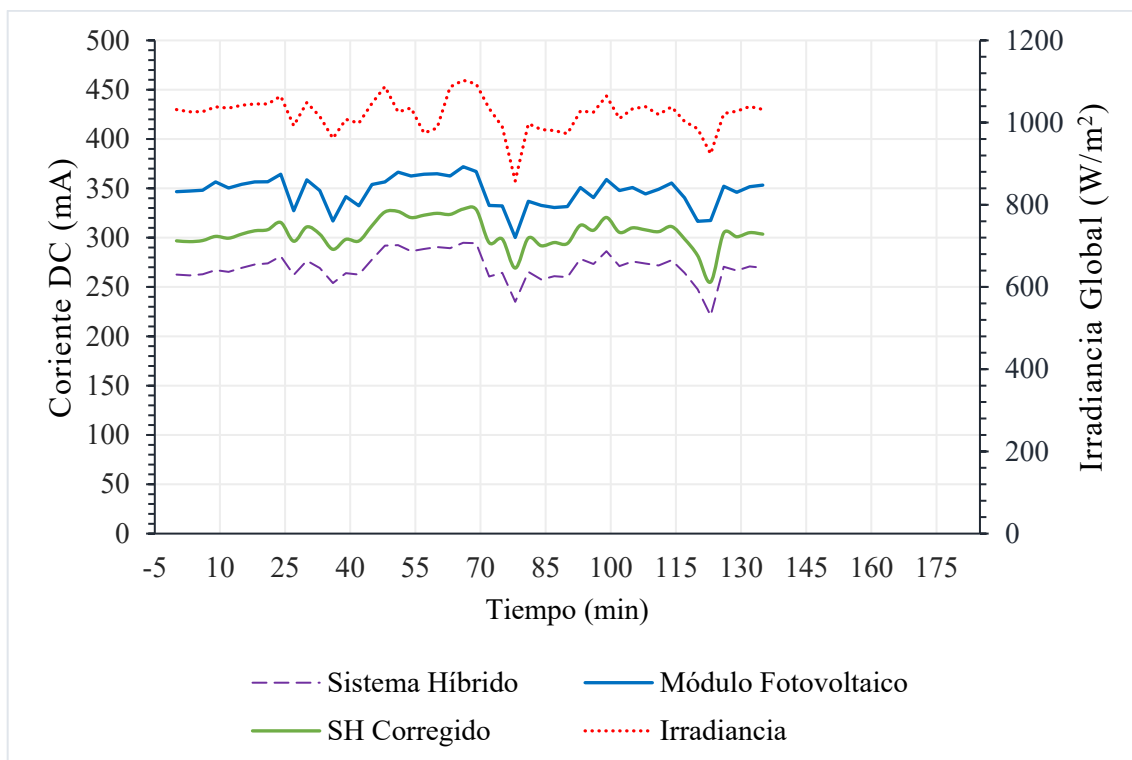


Figura 28. Variaciones de la medición de salida de corriente DC e irradiancia global correspondiente al PE_08

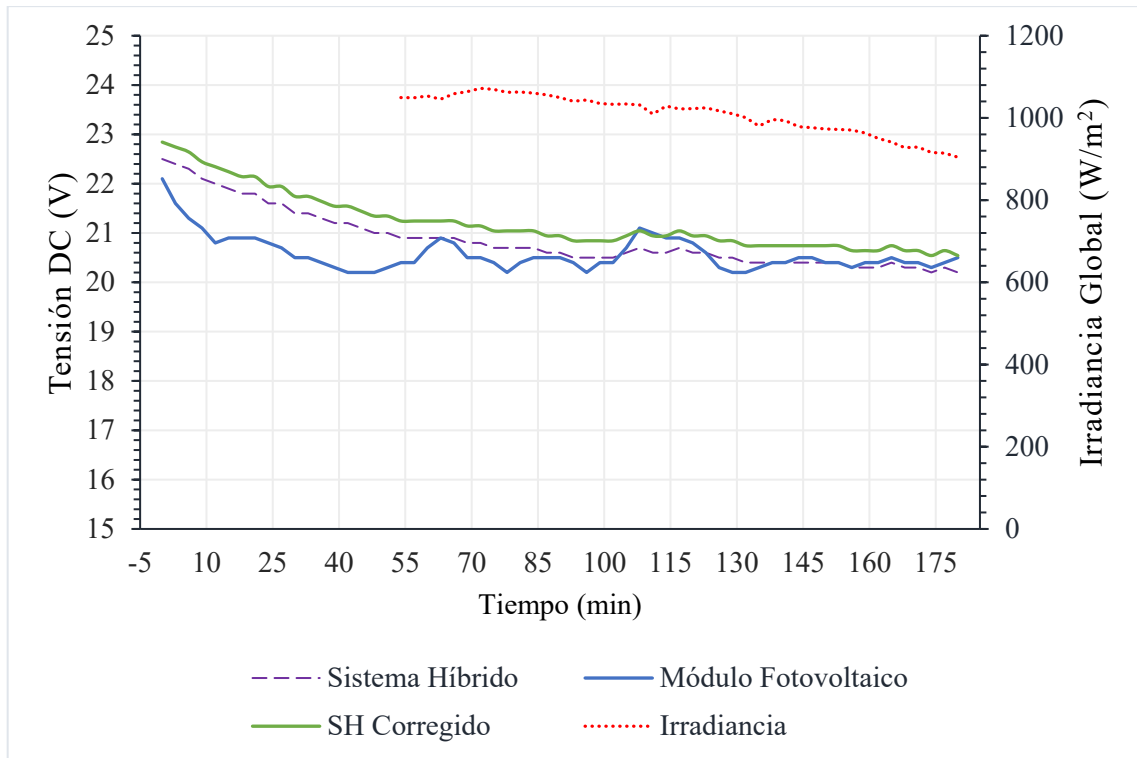


Figura 29. Variaciones de la medición de salida de tensión DC e irradiancia global correspondiente al PE_07

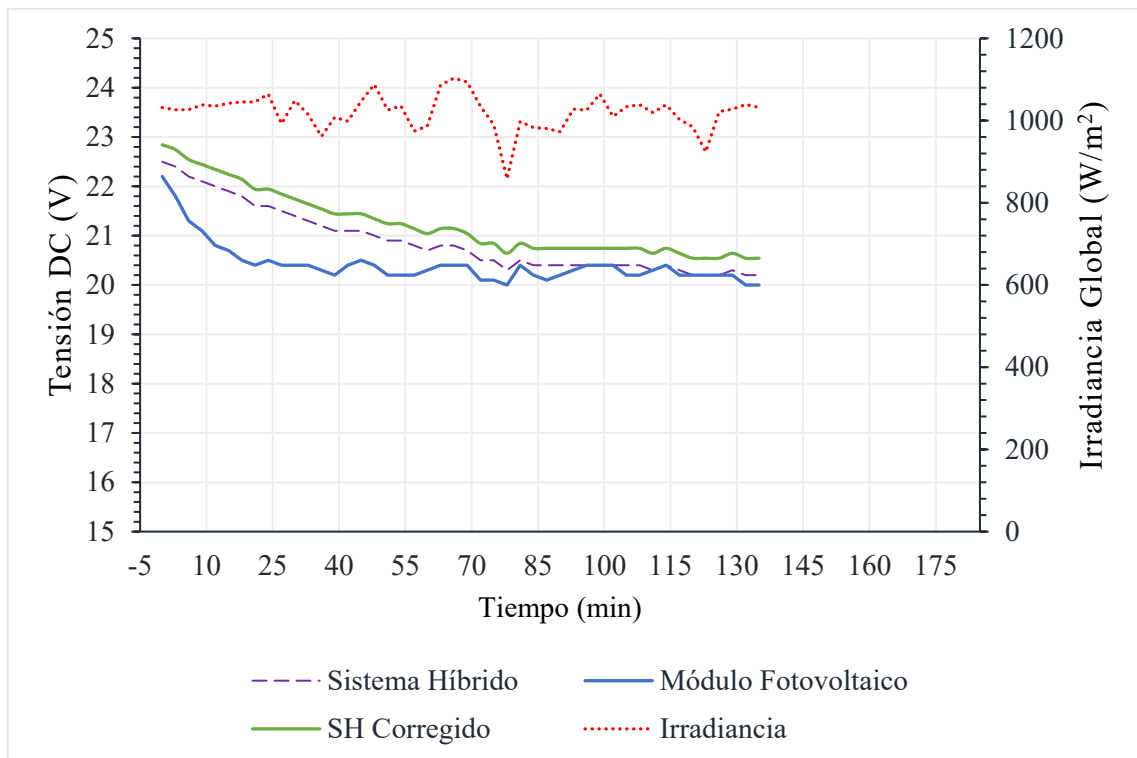


Figura 30. Variaciones de la medición de salida de tensión DC e irradiancia global correspondiente al PE_08

En la Figura 27 y Figura 28 las fluctuaciones de la salida de corriente continua, concuerdan con las fluctuaciones de irradiancia global, lo que muestra la relación directa entre estas

variables. En cuanto a la salida de tensión corriente ocurre un cambio respecto a los procedimientos experimentales base, donde ya no se observó un comportamiento más fluctuante, además contrariamente la salida de tensión del sistema híbrido fue superior respecto al módulo fotovoltaico de referencia, mostrando así que el agua influye en mantener la temperatura, evitando fluctuaciones y a su vez mejorando 3,1 y 4 %.

Las condiciones climáticas de radiación global (irradiancia) es concordante con los resultados mostrados por (Torres & Condori, 2019), donde concluyen que la media mensual llegó a sus valores máximos de 976,83 W/m², en el mes de agosto; pero en periodos cortos de 30 a 42 minutos, llega a valores de 1120 W/m² en los meses de agosto y octubre, así como también analizaron el comportamiento de la irradiación promedio diaria mensual, los que obtuvieron valores desde mínimo 5,55 horas de sol en los meses de marzo-abril, hasta 6,96 horas de sol en el mes de octubre, con lo se prueba el potencial energético que cuenta la ciudad de Juliaca.

4.3. Costos de Desinfección Solar del Agua de Pozo

4.3.1. Costo fijo de desinfección

Incluye a costos de los materiales y equipos, que conforman la infraestructura de soporte, la base (módulo fotovoltaico) y la infraestructura de desinfección (módulo fotoquímico); conforme se describen en la Tabla 14. Descrito por componente, el cual se elaboró con la ayuda de los costos de adquisición de materiales y equipos.

Tabla 14. Costo de materiales y equipos para la fabricación del sistema híbrido

Componente	Cantidad	Precio Unitario		Precio Total	
Módulos fotovoltaicos monocristalino (panel solar de 5 W)	8	S/	40.00	S/	320.00
Vidrios de borosilicato plano de 3 mm de espesor (320 × 430 mm)	8	S/	84.00	S/	672.00
Perfiles de aluminio (tipo “U”)	1	S/	19.00	S/	19.00
Tubos de PVC con rosca y tapa (para el ingreso del agua)	8	S/	2.00	S/	16.00
Grifo de caucho (para la salida del agua)	8	S/	4.00	S/	32.00
Soporte de madera para el sistema híbrido y módulo fotovoltaico	2	S/	10.00	S/	20.00

continuación

Silicona (mega grey)	2	S/	8.00	S/	16.00
Total				S/	1,095.00

4.3.2. Costo variable de desinfección

Alcanzó la sumatoria de costos que involucran el nivel de producción de agua tratada por desinfección solar mediante el sistema híbrido, para ello se consideraron componentes que requieren las tecnologías tradicionales de desinfección, como son los reactivos y energía, las cuales se describen en la Tabla 15. Para la operación se consideraron los costos de reactivos y energía, y para el mantenimiento de los sistemas híbridos, se consideraron la limpieza simple, realizando un enjuague diario.

Tabla 15. Costo de operación y mantenimiento para la desinfección solar del agua de pozo

Componente	Cantidad (mes)	Precio Unitario	Precio Total
Reactivos	0	S/ 0.00	S/ 0.00
Energía	0	S/ 0.00	S/ 0.00
Mantenimiento solo limpieza	1	S/ 12.50	S/ 12.50
Total, mensual			S/ 12.50

No se requirieron costos de operación debido a que no se usó reactivos ni energía para la desinfección del agua; solo se requirió costos de mantenimiento (de limpieza), representado en una hora hombre.

4.3.3. Costo total de desinfección

Se presenta sumatoria total de los costos que involucraron la desinfección solar del agua de pozo. Considerando la siguiente ecuación (6).

$$\text{Costo Total} = \text{Costo Fijo} + \text{Costo Variable} \quad (6)$$

$$C.T. = S/ 1,095.00 + S/ 12.50$$

$$C.T. = S/ 1,107.50$$

De este resultado se aprecia que en los costos de operación y mantenimiento solo se requirió mantenimiento simple de limpieza, por lo cual tendremos agua desinfectada a costo mínimo, independiente de la ampliación de la producción de agua desinfectada.

4.3.4. Comparación de costos con otras tecnologías

La comparación con otras tecnologías como la desinfección del agua mediante la cloración, que es la más usada y recomendada para viviendas particulares que no tienen acceso al agua potable, también requiere la sumatoria de los costos fijos y variables, las cuales se describen en la Tabla 16 y Tabla 17.

Tabla 16. Costo fijo de desinfección mediante tecnología de cloración

Componente	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Dosificador	1	S/ 1,200.00	S/ 1,200.00
Estructura de Soporte	1	S/ 250.00	S/ 250.00
Envase	1	S/ 599.00	S/ 599.00
Total			S/ 2,049.00

Tabla 17. Costo variable de desinfección mediante tecnología de cloración

Componente	Cantidad (mes)	Precio Unitario	Precio Total
Reactivos	1	S/ 5.00	S/ 5.00
Energía	1	S/ 1.78	S/ 1.78
Mantenimiento	1	S/ 12.50	S/ 12.50
Total, mensual			S/ 19.28

De las cuales con la siguiente ecuación (7) se tiene el siguiente calculo, representando al costo total mediante la tecnología de cloración, de 1000 litros.

$$\textit{Costo Total} = \textit{Costo Fijo} + \textit{Costo Variable} \quad (7)$$

$$C.T. = S/ 2,049.00 + S/ 19.28$$

$$C.T. = S/ 2,068.28$$

Considerando el costo de 19.28 soles al mes, para una producción diaria de 1000 litros, llegaría a representar un costo de 0.64 al día, interpretado en un costo de 0.001 soles por litro de agua desinfectada.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La cinética de desinfección solar de agua de pozo artesiano, mediante el sistema híbrido (fotoquímico – fotovoltaico) demostró que, es viable para obtener agua segura a nivel microbiológico; adicionalmente la producción de energía fotovoltaica también es posible, solo con una ligera disminución.

El tiempo necesario para la desinfección solar del agua de pozo, es de 90 a 105 minutos de tratamiento, lográndose la inactivación completa para los indicadores microbiológicos coliformes totales, con concentraciones de 24 UFC/100 mL y 448 UFC/100 mL respectivamente; en cambio para *Escherichia coli* solo se requirieron 20 minutos, debido a sus concentraciones iniciales mínimas, llegando a un promedio de tan solo (0.3) UFC/100mL. La temperatura del agua, influyo en los procesos de desinfección, conforme se dieron los cambios en la curva de cinética de desinfección solar.

La energía producida por el sistema híbrido fue inferior en 9,01 y 8,72 %, respecto a la energía producida por el módulo fotovoltaico de referencia; teniendo una producción promedio de 6.52 W y 6.46 W para el sistema híbrido, y de 7.16 W y 7.08 W para el módulo fotovoltaico de referencia, de acuerdo a los dos procedimientos experimentales conclusivos.

Para de desinfección solar del agua de pozo, mediante el sistema híbrido no se requieren costos de operación, que represente reactivos y/o energía; solo se requieren costos de mantenimiento mínimo, representado en una limpieza puntual de los reactores que muchas veces lo puede realizar el mismo usuario. Finalmente, el uso de esta tecnología también permite acceder al agua desinfectada sin la alteración del sabor natural del agua, así como ningún equipo mecánico que utilice energía; por ende, esta tecnología evaluada es muy prometedora para su aplicación en zonas periféricas y rurales donde no se tiene acceso al agua potable además simultáneamente tener energía fotovoltaica.

5.1. Recomendaciones

Realizar procedimientos experimentales de optimización, desarrollándose sistemas con flujo continuo de agua para el cálculo del caudal de tratamiento por la radiación solar mediante este sistema híbrido, información que podría ser útil para la incorporación de esta tecnología en la producción en masa o industrial.

Desarrollar procedimientos experimentales de cinética de desinfección solar del agua bajo distintas condiciones climáticas del altiplano Puneño.

Realizar pruebas de resistencia para vidrio de borosilicato frente a condiciones climáticas adversas propias del altiplano Puneño.

Utilizar sensores de mayor precisión para estimar y cuantificar los parámetros ambientales importantes, como la radiación UV, lo que nos permitiría visualizar de manera más exacta las variables que intervienen directamente, en el uso de esta tecnología.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acra, A., Raffoul, Z., & Karahagopian, Y. (1984). *Solar disinfection of drinking water and oral rehydration solutions*. Retrieved from <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/5844488>
- Aguado, E., & Burt, J. (2014). *Understanding Weather and Climate* (7th ed.).
- APHA, AWWA, & WPCF. (1992). *Métodos Normalizados para Análisis de Aguas Potables y Residuales* (17th ed.; S. A. Díaz de Santos, Ed.). Madrid, España.
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). *Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales*. San Isidro, Lima: Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA.
- Autoridad Nacional del Agua. (2020). El agua en cifras. Retrieved from <https://www.ana.gob.pe/contenido/el-agua-en-cifras>
- Backer, H. D. (2017). Water Disinfection. In *The Travel and Tropical Medicine Manual* (pp. 91–111). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-37506-1.00007-6>
- Banco Mundial. (2014). Thirsty Energy: Asegurar la provisión de energía en un mundo donde la disponibilidad de agua es limitada. Retrieved from El desafío del agua y la energía website: <https://www.bancomundial.org/es/topic/sustainabledevelopment/brief/water-energy-nexus#Casos>
- Banco Mundial. (2019). Agua. Retrieved from <https://www.bancomundial.org/es/topic/water/overview#1>
- Calsín Ramírez, K. V. (2016). *Calidad Física, Química y Bacteriológica de Aguas Subterráneas de Consumo Humano en el Sector de Taparachi III de la Ciudad de Juliaca, PUNO - 2016*. Retrieved from <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4187>
- Ciochetti, D. A., & Metcalf, R. H. (1984). Pasteurization of naturally contaminated water with solar energy. *Applied and Environmental Microbiology*. Retrieved from <http://aem.asm.org/content/47/2/223.abstract>
- Cuéllar, N., & Duarte, R. (2001). Alteración del ciclo hidrológico en El Salvador: Tendencias y desafíos para la gestión territorial. Retrieved from <https://www.prisma.org.sv/publicaciones/alteracion-del-ciclo-hidrologico-en-el-salvador-tendencias-y-desafios-para-la-gestion-territorial/>
- Downes, A., & Blunt, T. P. (1878). Researches on the effect of light upon Bacteria and other organisms. *Proceedings of the Royal Society of London*, 26(179–184), 488–500. <https://doi.org/10.1098/rspl.1877.0068>
- Gerba, C. P. (2015). Disinfection. In *Environmental Microbiology* (pp. 645–662). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394626-3.00029-6>
- Gutiérrez-Alfaro, S., Acevedo, A., Rodríguez, J., Carpio, E. A., & Manzano, M. A. (2016). Solar photocatalytic water disinfection of *Escherichia coli*, *Enterococcus* spp. and *Clostridium Perfringens* using different low-cost devices. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 91(7), 2026–2037. <https://doi.org/10.1002/jctb.4795>

- Horn, M. (2006). *El estado actual del uso de la energía solar en el Perú*.
- Instituto de Tecnologías Educativas. (2020). Flujos de Energía entre el Sol y la Tierra. Retrieved from El espectro de radiación website: https://fj Ferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion02/3_el_espectro_de_radiacin.html
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *Características de las viviendas particulares y los hogares*. Instituto Nacional de Estadística e Informática Lima - Perú.
- International Organization for Standardization. (2014). *ISO 9308-1:2014 CCA Agar Cromogénico*. Retrieved from https://www.itwreagents.com/download_file/info_point/IP-012/es/IP-012_es.pdf
- Lawrie, K., Mills, A., Figueredo-Fernández, M., Gutiérrez-Alfaro, S., Manzano, M., & Saladin, M. (2015). UV dosimetry for solar water disinfection (SODIS) carried out in different plastic bottles and bags. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 208, 608–615. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2014.11.031>
- Luzi, S., Tobler, M., Suter, F., & Meierhofer, R. (2016). *SODIS manual: Guidance on solar water disinfection*. Retrieved from https://www.sodis.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/dokumente_material/sodismanual_2016_lr.pdf
- Mamani, W. (2019). *Determinación de la concentración de arsénico total en las aguas subterráneas de pozos tubulares en el distrito de Juliaca y medidas de mitigación*.
- Martín-Domínguez, A., Alarcón-Herrera, M. T., Martín-Domínguez, I. R., & González-Herrera, A. (2005). Efficiency in the disinfection of water for human consumption in rural communities using solar radiation. *Solar Energy*, 78(1), 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.07.005>
- Mazón A, L., Villao B, D., Núñez, W., & Serrano L, M. (2017). Análisis de punto de equilibrio en la toma de decisiones de un negocio: caso Grand Bazar Riobamba - Ecuador. *Revista de Estrategias Del Desarrollo Empresaria*, 3(8), 14–24. Retrieved from https://www.ecorfan.org/spain/researchjournals/Estrategias_del_Desarrollo_Empresarial/vol3num8/Revista_de_Estrategias_del_Desarrollo_Empresarial_V3_N8_2.pdf
- Meierhofer, R., & Wegelin, M. (2005). *Desinfección Solar del Agua: Guía de Aplicación*. Retrieved from https://www.sodis.ch/methode/anwendung/ausbildungsmaterial/dokumente_material/manual_s.pdf
- Mio, H., & Chistrian, J. (2018). *Experiencias de las madres en la desinfección solar del agua para consumo humano Centro Poblado Menor de Callanca – Monsefú, 2018*. Retrieved from <http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/2395>
- Montgomery, J. M. (1985). *Water treatment: principles and design* (John Wiley & Sons, Ed.).
- Mustafa, A., Scholz, M., Khan, S., & Ghaffar, A. (2013). Application of solar disinfection for treatment of contaminated public water supply in a developing country: Field observations. *Journal of Water and Health*, 11(1), 135–145. <https://doi.org/10.2166/wh.2012.119>
- Naciones Unidas. (2018). Decenio Internacional para la Acción: “Agua para el Desarrollo

- Sostenible”, 2018-2028. Retrieved from Sin agua, no hay vida website: <https://www.un.org/es/events/waterdecade/index.shtml>
- Naciones Unidas. (2020). Agua. Retrieved from <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html>
- Nalwanga, R., Muyanja, C. K., McGuigan, K. G., & Quilty, B. (2018). A study of the bacteriological quality of roof-harvested rainwater and an evaluation of SODIS as a suitable treatment technology in rural Sub-Saharan Africa. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(3), 3648–3655. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.12.008>
- Ndounla, J., Kenfack, S., Wéthé, J., & Pulgarin, C. (2014). Relevant impact of irradiance (vs. dose) and evolution of pH and mineral nitrogen compounds during natural water disinfection by photo-Fenton in a solar CPC reactor. *Applied Catalysis B: Environmental*, 148–149, 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2013.10.048>
- Nuño Martínez, N., Muela Ribera, J., Hausmann-Muela, S., Cevallos, M., Hartinger, S. M., Christen, A., & Mäusezahl, D. (2020). The Meanings of Water: Socio-Cultural Perceptions of Solar Disinfected (SODIS) Drinking Water in Bolivia and Implications for its Uptake. *Water*, 12(2), 442. <https://doi.org/10.3390/w12020442>
- Oates, P. M., Shanahan, P., & Polz, M. F. (2003). Solar disinfection (SODIS): simulation of solar radiation for global assessment and application for point-of-use water treatment in Haiti. *Water Research*, 37(1), 47–54. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(02\)00241-5](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(02)00241-5)
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería. (2020). ¿QUE ES LA ENERGÍA SOLAR? Retrieved October 7, 2020, from ENERGÍA SOLAR website: <https://www.osinergmin.gob.pe/empresas/energias-renovables/energia-solar/que-es-la-energia-solar>
- Organización de las Naciones Unidas. (2014). Agua y Energía. *Nota Informativa*, 2030, 1–8. Retrieved from https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/01_2014_water_and_energy_spa.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (2011). Guías para la calidad del agua de consumo humano. Cuarta edición. Incorpora la primera adenda. In *Organización Mundial de la Salud*. Retrieved from <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Organización Mundial de la Salud. (2018). *Escherichia coli*. Retrieved from *E. coli*, Publicado el 7 de febrero de 2018 website: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/e-coli>
- Organización Mundial de la Salud. (2019). Agua: Datos y cifras. Retrieved from Notas descriptivas, 14 junio 2019 Organización Mundial de la Salud website: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Organización Mundial de la Salud. (2020). Agua. Retrieved from <https://www.who.int/topics/water/es/>
- Perú21. (2019). La tercera parte de la población no tiene acceso al agua potable. *Escasez En El Perú*. Retrieved from <https://peru21.pe/peru/agua-tercera-parte-poblacion-acceso->

agua-potable-486109-noticia/?ref=p21r

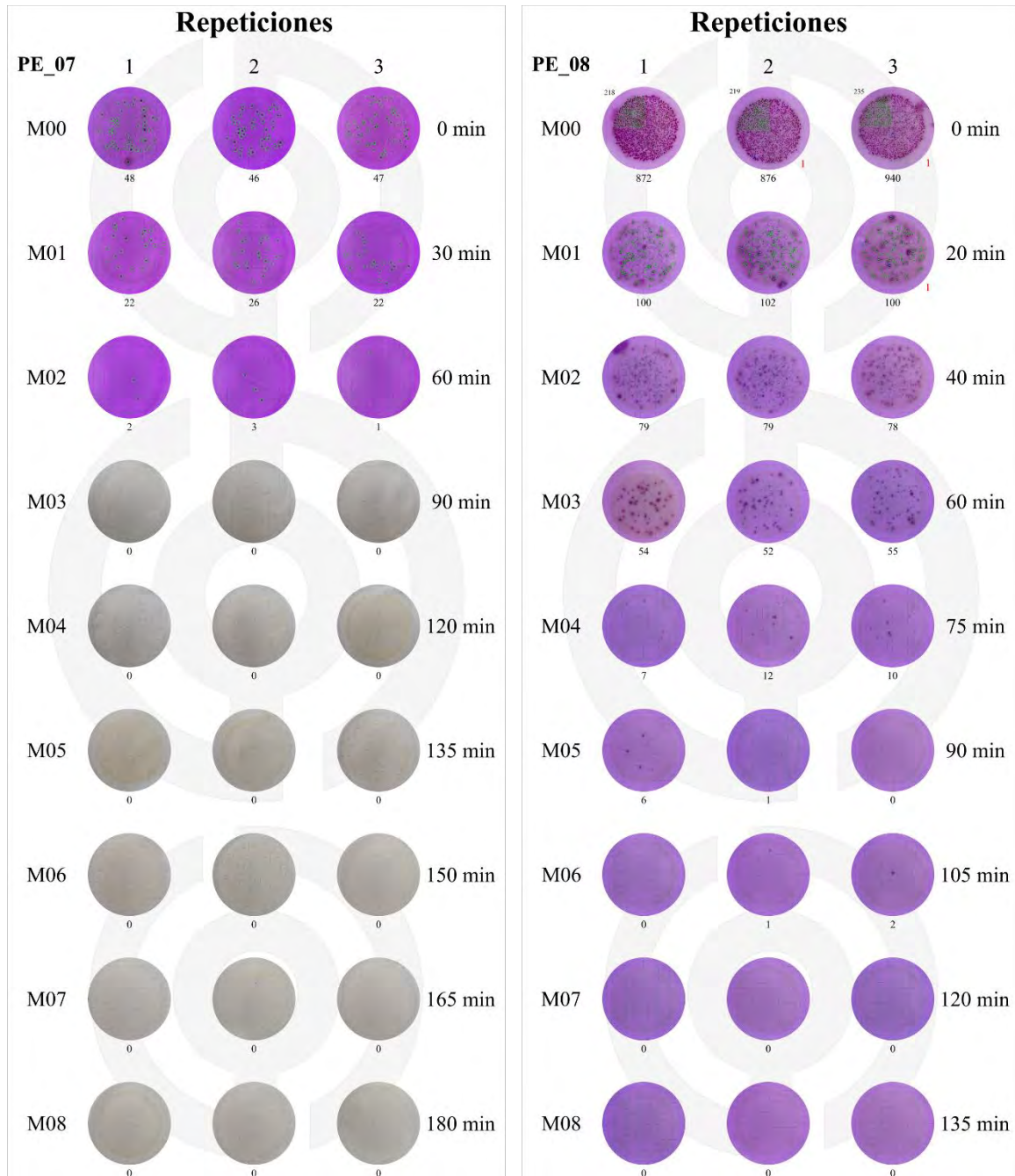
- Pichel, N., Vivar, M., & Fuentes, M. (2016). Performance analysis of a solar photovoltaic hybrid system for electricity generation and simultaneous water disinfection of wild bacteria strains. *Applied Energy*, *171*, 103–112. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.03.050>
- Pichel, N., Vivar, M., & Fuentes, M. (2017). Performance study of a hybrid photovoltaic and solar water disinfection system considering climatic variations over a year. *Energy Conversion and Management*, *144*, 312–321. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.04.080>
- Pichel, N., Vivar, M., & Fuentes, M. (2018). Results from a first optimization study of a photovoltaic and solar disinfection system (SOLWAT) for simultaneous energy generation and water purification. *Energy Conversion and Management*, *176*(September), 30–38. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.09.017>
- Pichel, N., Vivar, M., Fuentes, M., & Eugenio-Cruz, K. (2020). Study of a hybrid photovoltaic-photochemical technology for meeting the needs of safe drinking water and electricity in developing countries: First field trial in rural Mexico. *Journal of Water Process Engineering*, *33*(November 2019), 101056. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101056>
- Raffino, M. E. (2020). Agua. Retrieved from ¿Qué es el agua? website: <https://concepto.de/agua/>
- Sciaccia, F., Rengifo-Herrera, J. A., Wéthé, J., & Pulgarin, C. (2010). Dramatic enhancement of solar disinfection (SODIS) of wild Salmonella sp. in PET bottles by H₂O₂ addition on natural water of Burkina Faso containing dissolved iron. *Chemosphere*, *78*(9), 1186–1191. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.12.001>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2003). *Atlas de Energía Solar del Perú*. Retrieved from http://www.ede.pe/web/wp-content/uploads/2017/05/ATLAS_ENERGIA_FOTOVOLTICA_PERU.pdf
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2019). Tiempo / Radiación UV. Retrieved from Pronóstico de radiación UV máximo (cielo despejado y mediodía solar) a nivel nacional website: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=radiacion-uv>
- Stanford Research Systems. (n.d.). Thermistor Calculator. Retrieved from <https://www.thinksrs.com/downloads/programs/ThermCalc/NTCCalibrator/NTCCalculator.htm>
- Sutton, D. B., & Harmon, P. N. (2002). *FUNDAMENTOS DE ECOLOGIA*. Retrieved from http://biblioteca.uaaan.mx/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=28541&shelfbrowse_itemnumber=52157
- Tarbut, E. J., & Lutgens, F. K. (2016). «*Ciencias de la Tierra*», una introducción a la geología física.
- Torres, J., & Condori, J. (2019). *Análisis y evaluación del sistema fotovoltaico con inyección a la red de 3kW en el pabellón administrativo de la UNAJ*. Retrieved from <http://repositorio.unaj.edu.pe/handle/UNAJ/45>
- Velasco, G. F., & Cabrera, E. (2009). *Generación solar fotovoltaica dentro del esquema de generación distribuida para la provincia de Imbabura*.

- Vicuña G., E., Ara Rojas, S., & Loayza, J. (2009). Sistemas Híbridos de Tratamiento de Aguas Residuales. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 12, 10–17. Retrieved from <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view/4953>
- Vivar, M., Fuentes, M., Pichel, N., López-Vargas, A., Rodrigo, M. J., & Srithar, K. (2020). Photovoltaic and solar disinfection technology meeting the needs of water and electricity of a typical household in developing countries: From a Solar Home System to a full-functional hybrid system. *Science of The Total Environment*, 747, 141082. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141082>
- Vivar, M., Pichel, N., & Fuentes, M. (2017). Solar disinfection of natural river water with low microbiological content (10–103CFU/100 ml) and evaluation of the thermal contribution to water purification. *Solar Energy*, 141, 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.11.019>
- Vivar, M., Pichel, N., Fuentes, M., & López-Vargas, A. (2017). Separating the UV and thermal components during real-time solar disinfection experiments: The effect of temperature. *Solar Energy*, 146, 334–341. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.02.053>
- Vivar, M., Skryabin, I., Everett, V., & Blakers, A. (2010). A concept for a hybrid solar water purification and photovoltaic system. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94(10), 1772–1782. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2010.05.045>

ANEXOS

Anexo 1. Galería de imágenes

Recuento microbiológico, indicadores microbiológicos coliformes totales y *Escherichia coli*.



Desarrollo del procedimiento experimental



Características de los vidrios de borosilicato



Haz clic en la imagen para obtener una vista ampliada

Precio: **US\$ 23.70** y Envío GRATIS

Tamaño: 270x220x3mm

130x130x3mm
US\$ 9.66

130x160x3mm
US\$ 13.80

140x140x3mm
US\$ 12.99

213x200x3mm
US\$ 15.99

270x220x3mm
US\$ 23.70

280x220x3mm
1 opción desde US\$ 27.00

300x300x3mm
1 opción desde US\$ 32.99

Especificaciones de producto

Material	vidrio de borosilicato
Número de pieza	BORO-Square270x220x3mm
Tamaño	270x220x3mm

Especificaciones para esta familia de productos

Color	Transparente
Código UNSPSC	27000000
Nombre de la marca	BALITENSEN
Número de pieza	BORO-3Square

Anexo 2. Costos de sistema de cloración



PROPUESTA ECONÓMICA

COTIZACIÓN N° 0048 -2021

Juliaca 16 de abril del 2021

Señor(a): SR. DANY COAQUIRA MAMANI

Por la presente reciba nuestro saludo, nos presentamos como empresa de asesoramiento y suministro de equipos para tratamiento de agua para consumo humano e industrial.

Atendiendo a su amable solicitud le presentamos la siguiente propuesta técnico – económica por nuestros servicios y productos.

TRATAMIENTO DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO

Considerando lo solicitado.

1. EQUIPAMIENTO – SISTEMA DE CLORACIÓN

DETALLE	P. UNIT.
a. Dosificador peristáltico	1200.00

DATOS DE OPERACIÓN

Considerando un consumo de 1000 litros de agua por día (dato administrado) de considera una dosificación de 40 ml de hipoclorito de sodio al 5% se tiene lo siguiente:

Consumo mensual de hipoclorito de sodio al 5%	1200 ml	Costo referencial S/ 5.00
Mantenimiento del equipo dosificador cada 12 meses		Costo S/ 120.00

Anexo 3. Salida de parámetros eléctricos base de corriente, tensión y voltaje DC correspondiente al PE_00A

Hora	Tiempo (Min)	Corriente DC (mA)		Tensión DC (V)		Potencia DC (W)		Global (W/m ²)
		Sistema Híbrido	Módulo Fotovoltaico	Sistema Híbrido	Módulo Fotovoltaico	Sistema Híbrido	Módulo Fotovoltaico	Irradiancia
10:52	0	303.40	332.50	21.20	21.50	6.432	7.149	996.00
10:55	3	315.90	331.70	21.00	21.20	6.634	7.032	1002.50
10:58	6	318.20	337.30	20.80	21.20	6.619	7.151	1008.50
11:01	9	316.30	336.00	20.70	21.10	6.547	7.090	1004.00
11:04	12	318.80	338.00	20.60	21.00	6.567	7.098	1008.50
11:07	15	319.00	338.10	20.50	20.80	6.540	7.032	1010.50
11:10	18	316.30	335.00	20.40	20.70	6.453	6.935	1004.25
11:13	21	316.10	336.00	20.40	20.80	6.448	6.989	1000.00
11:16	24	315.50	333.50	20.40	20.80	6.436	6.937	1001.00
11:19	27	313.30	337.20	20.40	20.70	6.391	6.980	1001.75
11:22	30	321.00	343.50	20.40	20.70	6.548	7.110	1025.75
11:25	33	317.00	338.00	20.30	20.80	6.435	7.030	1023.00
11:28	36	317.80	340.00	20.30	20.80	6.451	7.072	1017.75
11:31	39	315.50	338.50	20.40	20.80	6.436	7.041	1028.00
11:35	43	313.10	337.30	20.50	20.80	6.419	7.016	1008.50
11:39	47	311.20	336.80	20.50	21.00	6.380	7.073	1005.25
11:42	50	312.20	338.50	20.50	20.90	6.400	7.075	1008.25
11:46	54	312.30	339.80	20.40	20.80	6.371	7.068	1013.25
11:49	57	312.30	339.80	20.30	20.60	6.340	7.000	1021.50
11:51	59	312.20	341.80	20.20	20.50	6.306	7.007	1022.75
11:54	62	308.80	341.20	20.20	20.50	6.238	6.995	1008.25
12:07	75	245.00	298.80	19.80	20.30	4.851	6.066	414.75
12:10	78	319.00	348.30	21.00	21.50	6.699	7.488	902.75
12:13	81	322.90	351.20	20.90	21.20	6.749	7.445	1025.25
12:16	84	323.10	351.10	20.70	21.10	6.688	7.408	1030.50
12:19	87	307.10	334.10	20.70	21.00	6.357	7.016	997.50
12:22	90	309.40	338.50	20.60	21.00	6.374	7.109	991.75
12:27	95	311.80	344.80	20.40	20.80	6.361	7.172	963.50
12:31	99	319.70	342.00	19.70	20.20	6.298	6.908	516.75

12:35	103	312.90	338.50	20.80	21.20	6.508	7.176	963.50
12:40	108	308.20	335.80	20.50	20.90	6.318	7.018	962.00
12:48	116	301.90	330.10	20.40	20.70	6.159	6.833	949.25
12:50	118	305.20	334.20	20.50	20.80	6.257	6.951	945.75
12:54	122	304.90	335.90	20.40	20.80	6.220	6.987	952.00
12:57	125	306.90	337.50	20.40	20.70	6.261	6.986	962.50
13:01	129	301.40	331.40	20.40	20.80	6.149	6.893	948.50
13:04	132	296.60	330.60	20.20	20.60	5.991	6.810	933.25
13:07	135	296.90	332.40	20.20	20.50	5.997	6.814	938.25
13:10	138	288.90	326.50	20.30	20.70	5.865	6.759	912.50
13:13	141	289.20	325.50	20.20	20.70	5.842	6.738	911.50
13:16	144	281.30	317.30	20.20	20.50	5.682	6.505	890.75
13:19	147	219.70	285.40	19.80	20.10	4.350	5.737	614.25
13:22	150	214.60	315.70	20.20	20.20	4.335	6.377	483.50
13:25	153	270.70	317.30	20.80	21.20	5.631	6.727	859.75
13:28	156	275.90	315.80	20.60	20.90	5.684	6.600	875.25
13:31	159	273.10	314.60	20.70	21.00	5.653	6.607	866.75
13:34	162	256.40	283.50	20.60	20.80	5.282	5.897	844.00
13:37	165	276.00	318.20	20.70	21.00	5.713	6.682	873.25
13:40	168	271.70	315.70	20.60	20.80	5.597	6.567	874.75
13:44	172	278.20	329.20	20.50	20.60	5.703	6.782	847.25
13:47	175	275.40	325.30	20.50	20.70	5.646	6.734	886.50
13:50	178	260.20	307.40	20.50	20.80	5.334	6.394	743.25
13:53	181	253.00	303.90	20.50	20.90	5.187	6.352	820.50
Promedio		297.80	330.32	20.47	20.81	6.097	6.876	923.033

Anexo 4. Salida de parámetros eléctricos base de corriente, tensión y voltaje DC correspondiente al PE_00B

Hora	Tiempo (Min)	Corriente DC (mA)		Tensión DC (V)		Potencia DC (W)		Global (W/m ²)
		Sistema Híbrido	Módulo Fotovoltaico	Sistema Híbrido	Módulo Fotovoltaico	Sistema Híbrido	Módulo Fotovoltaico	Irradiancia
10:40	0	292.70	329.30	21.30	21.40	6.235	7.047	--
10:43	3	294.30	329.10	21.20	21.50	6.239	7.076	--
10:46	6	296.70	330.70	21.20	21.40	6.290	7.077	--
10:49	9	296.30	328.90	21.10	21.30	6.252	7.006	--
10:52	12	298.20	329.30	21.00	21.20	6.262	6.981	--
10:55	15	311.90	331.90	20.90	21.10	6.519	7.003	--
10:58	18	310.40	331.60	21.00	21.20	6.518	7.030	--
11:01	21	315.40	335.70	20.90	21.10	6.592	7.083	--
11:04	24	318.20	337.20	21.00	21.20	6.682	7.149	--
11:07	27	319.20	338.50	20.80	21.10	6.639	7.142	--
11:10	30	321.80	340.50	20.70	20.90	6.661	7.116	--
11:13	33	320.40	339.60	20.50	20.80	6.568	7.064	--
11:16	36	315.90	334.20	20.40	20.90	6.444	6.985	--
11:19	39	313.80	331.50	20.40	20.70	6.402	6.862	--
11:22	42	313.70	332.40	20.40	20.80	6.399	6.914	--
11:26	46	314.30	333.00	20.50	20.90	6.443	6.960	--
11:31	51	316.40	335.60	20.50	21.00	6.486	7.048	--
11:35	55	319.20	338.30	20.60	21.10	6.576	7.138	--
11:38	58	320.40	340.30	20.70	21.10	6.632	7.180	--
11:41	61	320.60	341.30	20.50	21.00	6.572	7.167	--
11:44	64	315.20	336.10	20.40	21.00	6.430	7.058	--
11:48	68	309.10	330.60	20.40	20.90	6.306	6.910	--
11:51	71	308.50	330.80	20.50	21.00	6.324	6.947	--
11:54	74	308.20	331.20	20.50	20.90	6.318	6.922	--
11:58	78	308.20	333.80	20.40	20.90	6.287	6.976	--
12:01	81	305.50	331.60	20.40	20.90	6.232	6.930	--
12:04	84	303.70	330.40	20.50	20.90	6.226	6.905	--
12:07	87	304.40	333.30	20.40	20.70	6.210	6.899	--
12:10	90	302.60	332.10	20.30	20.70	6.143	6.874	--

12:13	93	301.20	330.50	20.30	20.70	6.114	6.841	--
12:16	96	299.20	330.00	20.50	20.90	6.134	6.897	--
12:19	99	297.20	329.30	20.50	20.80	6.093	6.849	--
12:23	103	292.80	329.40	20.40	20.80	5.973	6.852	--
12:26	106	291.20	326.80	20.40	20.70	5.940	6.765	--
12:29	109	290.50	326.90	20.60	20.90	5.984	6.832	--
12:32	112	287.30	325.00	20.60	20.90	5.918	6.793	--
12:35	115	284.50	322.20	20.40	20.90	5.804	6.734	--
12:38	118	280.70	320.50	20.50	21.00	5.754	6.731	--
12:41	121	280.30	321.50	20.40	20.80	5.718	6.687	--
12:44	124	275.10	317.70	20.20	20.50	5.557	6.513	--
12:47	127	272.90	316.30	20.10	20.50	5.485	6.484	--
12:50	130	268.40	313.70	20.20	20.50	5.422	6.431	--
12:53	133	265.60	311.50	20.10	20.50	5.339	6.386	--
12:56	136	262.50	308.70	20.10	20.50	5.276	6.328	--
12:59	139	258.80	306.50	20.10	20.40	5.202	6.253	--
13:02	142	253.90	304.50	20.10	20.40	5.103	6.212	--
13:05	145	251.70	302.60	20.30	20.70	5.110	6.264	--
13:08	148	247.60	300.20	20.40	20.70	5.051	6.214	--
13:11	151	243.50	296.10	20.70	21.00	5.040	6.218	--
13:14	154	276.60	311.50	20.80	21.10	5.753	6.573	--
13:17	157	234.00	289.40	20.60	20.90	4.820	6.048	--
13:20	160	232.90	288.90	20.70	21.00	4.821	6.067	--
13:24	164	225.60	282.00	20.70	20.90	4.670	5.894	--
13:27	167	220.10	277.40	20.50	20.80	4.512	5.770	--
13:30	170	217.00	275.40	20.50	20.70	4.449	5.701	--
13:33	173	213.80	273.50	20.50	20.80	4.383	5.689	--
13:36	176	207.30	268.10	20.60	20.90	4.270	5.603	--
13:39	179	203.70	265.40	20.60	21.00	4.196	5.573	--
Promedio		285.02	319.83	20.55	20.89	5.858	6.684	Sin Datos

Anexo 5. Salida de parámetros eléctricos conclusivo de corriente, tensión y voltaje DC correspondiente al PE_07

Hora	Tiempo (Min)	Corriente DC (mA)		Tensión DC (V)		Potencia DC (W)		Global (W/m ²)
		Sistema Híbrido	Módulo Fotovoltaico	Sistema Híbrido	Módulo Fotovoltaico	Sistema Híbrido	Módulo Fotovoltaico	Irradiancia
10:15	0	268.70	341.40	22.50	22.10	6.046	7.545	
10:18	3	269.10	344.70	22.40	21.60	6.028	7.446	
10:21	6	271.50	346.20	22.30	21.30	6.054	7.374	
10:24	9	275.50	350.80	22.10	21.10	6.089	7.402	
10:27	12	276.70	351.30	22.00	20.80	6.087	7.307	
10:30	15	278.60	359.90	21.90	20.90	6.101	7.522	
10:33	18	278.90	352.60	21.80	20.90	6.080	7.369	
10:36	21	281.90	355.80	21.80	20.90	6.145	7.436	
10:39	24	285.40	358.50	21.60	20.80	6.165	7.457	
10:42	27	286.10	356.80	21.60	20.70	6.180	7.386	
10:45	30	281.20	352.30	21.40	20.50	6.018	7.222	
10:48	33	285.30	356.20	21.40	20.50	6.105	7.302	
10:51	36	287.40	358.60	21.30	20.40	6.122	7.315	
10:54	39	287.60	357.70	21.20	20.30	6.097	7.261	
10:57	42	291.70	362.80	21.20	20.20	6.184	7.329	
11:00	45	292.90	363.10	21.10	20.20	6.180	7.335	
11:03	48	293.50	363.20	21.00	20.20	6.164	7.337	
11:06	51	294.20	364.50	21.00	20.30	6.178	7.399	
11:09	54	290.50	356.70	20.90	20.40	6.071	7.277	1049.33
11:12	57	289.40	356.70	20.90	20.40	6.048	7.277	1049.00
11:15	60	292.50	359.80	20.90	20.70	6.113	7.448	1053.50
11:18	63	290.10	356.70	20.90	20.90	6.063	7.455	1045.75
11:21	66	293.30	362.20	20.90	20.80	6.130	7.534	1058.75
11:24	69	294.90	364.80	20.80	20.50	6.134	7.478	1063.75
11:27	72	295.20	365.10	20.80	20.50	6.140	7.485	1072.00
11:30	75	293.70	363.80	20.70	20.40	6.080	7.422	1069.50
11:33	78	292.20	363.30	20.70	20.20	6.049	7.339	1062.50
11:36	81	292.30	363.50	20.70	20.40	6.051	7.415	1063.25
11:39	84	291.20	363.90	20.70	20.50	6.028	7.460	1060.50

11:42	87	290.50	363.10	20.60	20.50	5.984	7.444	1056.25
11:45	90	287.70	359.80	20.60	20.50	5.927	7.376	1049.50
11:48	93	284.60	357.30	20.50	20.40	5.834	7.289	1040.50
11:51	96	283.50	357.40	20.50	20.20	5.812	7.219	1043.75
11:54	99	280.20	353.90	20.50	20.40	5.744	7.220	1035.25
11:57	102	278.90	352.30	20.50	20.40	5.717	7.187	1033.25
12:00	105	280.60	353.70	20.60	20.70	5.780	7.322	1034.00
12:03	108	280.30	351.20	20.70	21.10	5.802	7.410	1031.75
12:06	111	276.10	347.80	20.60	21.00	5.688	7.304	1009.25
12:09	114	278.10	350.30	20.60	20.90	5.729	7.321	1028.75
12:12	117	275.40	347.30	20.70	20.90	5.701	7.259	1021.75
12:15	120	274.80	348.20	20.60	20.80	5.661	7.243	1022.50
12:18	123	275.10	350.60	20.60	20.60	5.667	7.222	1024.75
12:21	126	270.80	347.60	20.50	20.30	5.551	7.056	1017.00
12:24	129	267.90	345.60	20.50	20.20	5.492	6.981	1010.25
12:27	132	262.70	339.20	20.40	20.20	5.359	6.852	1000.75
12:30	135	258.60	335.20	20.40	20.30	5.275	6.805	980.00
12:33	138	260.60	338.90	20.40	20.40	5.316	6.914	996.25
12:36	141	261.10	340.60	20.40	20.40	5.326	6.948	993.25
12:39	144	256.70	336.50	20.40	20.50	5.237	6.898	978.75
12:42	147	254.50	335.20	20.40	20.50	5.192	6.872	976.25
12:45	150	252.20	333.60	20.40	20.40	5.145	6.805	973.25
12:48	153	250.90	333.50	20.40	20.40	5.118	6.803	972.00
12:51	156	247.70	331.30	20.30	20.30	5.028	6.725	970.50
12:54	159	244.90	328.20	20.30	20.40	4.971	6.695	963.50
12:57	162	242.20	331.60	20.30	20.40	4.917	6.765	950.00
13:00	165	233.50	321.50	20.40	20.50	4.763	6.591	941.25
13:03	168	232.70	315.90	20.30	20.40	4.724	6.444	927.50
13:06	171	232.40	316.90	20.30	20.40	4.718	6.465	929.00
13:09	174	226.30	310.10	20.20	20.30	4.571	6.295	915.75
13:12	177	226.20	310.60	20.30	20.40	4.592	6.336	914.25
13:15	180	223.50	308.90	20.20	20.50	4.515	6.332	904.50
Promedio		273.00	347.98	20.87	20.57	5.701	7.160	1009.141

Anexo 6. Salida de parámetros eléctricos conclusivo de corriente, tensión y voltaje DC correspondiente al PE_08

Hora	Tiempo (Min)	Corriente DC (mA)		Tensión DC (V)		Potencia DC (W)		Global (W/m ²)
		Sistema Híbrido	Módulo Fotovoltaico	Sistema Híbrido	Módulo Fotovoltaico	Sistema Híbrido	Módulo Fotovoltaico	Irradiancia
10:00	0	262.60	346.70	22.50	22.20	5.909	7.697	1031.50
10:03	3	261.80	347.20	22.40	21.80	5.864	7.569	1026.25
10:06	6	262.90	348.10	22.20	21.30	5.836	7.415	1026.50
10:09	9	267.10	356.60	22.10	21.10	5.903	7.524	1038.25
10:12	12	265.30	350.40	22.00	20.80	5.837	7.288	1035.00
10:15	15	269.40	354.10	21.90	20.70	5.900	7.330	1042.25
10:18	18	272.80	356.60	21.80	20.50	5.947	7.310	1045.25
10:21	21	273.90	356.70	21.60	20.40	5.916	7.277	1045.25
10:24	24	281.20	364.30	21.60	20.50	6.074	7.468	1064.50
10:27	27	262.20	327.30	21.50	20.40	5.637	6.677	992.25
10:30	30	276.70	358.70	21.40	20.40	5.921	7.317	1048.75
10:33	33	269.30	347.70	21.30	20.40	5.736	7.093	1014.75
10:36	36	254.00	316.90	21.20	20.30	5.385	6.433	961.50
10:39	39	264.10	341.60	21.10	20.20	5.573	6.900	1007.75
10:42	42	262.50	332.40	21.10	20.40	5.539	6.781	998.75
10:45	45	277.90	354.00	21.10	20.50	5.864	7.257	1047.00
10:48	48	291.90	356.60	21.00	20.40	6.130	7.275	1087.75
10:51	51	292.40	366.40	20.90	20.20	6.111	7.401	1026.00
10:54	54	286.20	362.50	20.90	20.20	5.982	7.323	1035.75
10:57	57	288.60	364.30	20.80	20.20	6.003	7.359	974.33
11:00	60	290.50	364.80	20.70	20.30	6.013	7.405	987.00
11:03	63	289.40	362.50	20.80	20.40	6.020	7.395	1086.75
11:06	66	294.80	371.90	20.80	20.40	6.132	7.587	1103.00
11:09	69	294.40	367.00	20.70	20.40	6.094	7.487	1094.00
11:12	72	260.70	332.70	20.50	20.10	5.344	6.687	1034.50
11:15	75	264.40	332.20	20.50	20.10	5.420	6.677	990.00
11:18	78	235.00	300.20	20.30	20.00	4.771	6.004	858.00
11:21	81	265.40	336.90	20.50	20.40	5.441	6.873	997.25
11:24	84	257.60	332.70	20.40	20.20	5.255	6.721	983.00

11:27	87	260.90	330.50	20.40	20.10	5.322	6.643	980.75
11:30	90	259.90	331.50	20.40	20.20	5.302	6.696	973.00
11:33	93	278.40	350.80	20.40	20.30	5.679	7.121	1027.75
11:36	96	273.30	340.70	20.40	20.40	5.575	6.950	1025.50
11:39	99	286.30	359.00	20.40	20.40	5.841	7.324	1064.75
11:42	102	271.20	347.80	20.40	20.40	5.532	7.095	1010.00
11:45	105	275.80	350.80	20.40	20.20	5.626	7.086	1033.50
11:48	108	273.70	344.30	20.40	20.20	5.583	6.955	1038.50
11:51	111	271.90	349.00	20.30	20.30	5.520	7.085	1019.75
11:54	114	277.10	355.40	20.40	20.40	5.653	7.250	1038.25
11:57	117	264.40	340.50	20.30	20.20	5.367	6.878	1003.00
12:00	120	247.60	316.60	20.20	20.20	5.002	6.395	985.00
12:03	123	220.90	317.50	20.20	20.20	4.462	6.414	923.75
12:06	126	270.60	352.20	20.20	20.20	5.466	7.114	1022.00
12:09	129	266.70	345.90	20.30	20.20	5.414	6.987	1027.75
12:12	132	270.90	351.70	20.20	20.00	5.472	7.034	1039.00
12:15	135	269.40	353.30	20.20	20.00	5.442	7.066	1032.25
Promedio		270.30	346.68	20.89	20.42	5.648	7.079	1020.159

UNW