

**Universidad del Bío-Bío**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental**

Profesor Patrocinante: Dr. Pedro Cisterna Osorio

**“Impacto de la radiación solar en sistema captador y reflector para aguas residuales tratadas”**

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de  
Ingeniero Civil

**Rosío Victoria Ríos Retamal**

Concepción, 2019

## Nomenclatura

### Unidades de medida

- $\text{mW}/\text{cm}^2$ : milivatio/ centímetro cuadrado
- $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ : microvatio/ centímetro cuadrado
- nm: nanómetro
- L: litro

### Abreviaturas

- UV: ultravioleta

## Índice General

<b>1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
1.1 Justificación.....	9
1.2 Alcance de la investigación.....	10
1.3 Objetivo general .....	11
1.4 Objetivos específicos .....	11
<b>2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
2.1 Aguas residuales .....	12
2.1.1 Fuentes de aguas residuales .....	12
2.1.2 Características de las aguas residuales .....	12
2.1.3 Indicadores de contaminación fecal en el control de calidad de aguas .....	15
2.2 Tratamiento de aguas residuales.....	16
2.2.1 Fases de tratamiento de aguas residuales .....	16
2.2.2 Tecnologías blandas de tratamiento de aguas residuales .....	17
2.2.3 Desinfección .....	18
2.2.3.1 Agentes físicos .....	18
2.2.3.2 Agentes químicos.....	19
2.2.4 Tecnologías convencionales de desinfección de aguas residuales.....	21
2.2.4.1 Radiación solar .....	23
2.2.4.2 Radiación ultravioleta .....	23
2.2.4.3 Parámetros importantes de la radiación UV relacionados con la desinfección del agua.....	24
2.2.4.4 Reflexión y refracción.....	24
2.2.5 Situación del tratamiento de aguas residuales en Chile.....	26
2.2.6 Reúso de aguas tratadas.....	27
<b>3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....</b>	<b>29</b>
3.1 Construcción del prototipo.....	29
3.1.1 Selección del sitio .....	29
3.1.2 Materiales .....	29
3.1.3 Diseño .....	30
3.1.4 Construcción e instalación .....	30
3.2 Evaluación de la radiación del canal a nivel zonal.....	30
3.2.1 Instrumento para radiación.....	30

3.2.2 Radiación en canal.....	30
3.3 Evaluación de la relación de la radiación ambiental con la radiación promedio en el canal sin paneles.....	31
3.3.1 Radiación ambiental .....	31
3.3.2 Radiación promedio canal.....	32
3.4 Evaluación de la relación de la radiación ambiental con la radiación promedio en el canal en distintas condiciones.....	33
<b>4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>34</b>
4.1 Construcción de prototipo:.....	34
4.2 Evaluación la radiación del canal a nivel zonal .....	35
4.3 Evaluación de la relación de la radiación ambiental con la radiación promedio en el canal sin paneles.....	39
4.4 Evaluación de la relación de la radiación ambiental con la radiación promedio en el canal en distintas condiciones.....	40
<b>5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES .....</b>	<b>46</b>
<b>6. CAPÍTULO VI: REFERENCIAS .....</b>	<b>47</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>50</b>

## Índice de tablas

Tabla 1 - Formas de desinfección.....	18
Tabla 2 - Tabulación datos radiación canal por zona .....	31
Tabla 3 - Tabulación datos radiación ambiental.....	32
Tabla 4 - Tabulación datos radiación canal.....	32
Tabla 5 - Tabulación datos RCc, RCs, RCS.A y RA.....	33
Tabla 6 – Resultados datos radiación canal por zona, 11:00 hras .....	35
Tabla 7 - Resultados datos radiación canal por zona, 13:00 hras.....	36
Tabla 8 - Resultados datos radiación canal por zona, 15:00 hras.....	38
Tabla 9 - Resultados radiación en canal sin paneles.....	39
Tabla 10 - Radiación canal con y sin paneles.....	41
Tabla 11 - Resultados Comparativo 3 condiciones .....	42
Tabla 12 - Resultados Radiación con Paneles a Nivel Zonal.....	43
Tabla 13 - Resultados Radiación sin Paneles a Nivel Zonal.....	44

## Índice de figuras

Figura n° 1 - E. Coli.....	16
Figura n° 2 - Humedal Tomeco .....	17
Figura n° 3 - Diagrama de reflexión y refracción 1 .....	25
Figura n° 4 - Diagrama de reflexión y refracción 2.....	25
Figura n° 5 - Tratamiento de aguas servidas .....	27
Figura n° 6 - Destino final de las aguas servidas tratadas.....	28
Figura n° 7 - Ubicación .....	29
Figura n° 8 - Prototipo canal reflector .....	30
Figura n° 9 - Malla de radiación canal.....	31
Figura n° 10 - Malla Radiación Ambiental .....	31
Figura n° 11 - Malla Radiación Canal .....	32
Figura n° 12 - Sistema Completo.....	34
Figura n° 13 - Vista Frontal Sistema.....	50
Figura n° 14 - Vista Lateral Sistema.....	50
Figura n° 15 - Distribución de Planchas .....	51
Figura n° 16 - Sistema de Plegado.....	51
Figura n° 17 - Plancha Plegada.....	52
Figura n° 18 – Excavación .....	52
Figura n° 19 - Instalación Planchas .....	53
Figura n° 20 - Sistema sin Paneles.....	53
Figura n° 21 – Sensor.....	54

## **“Impacto de la radiación solar en sistema captador y reflector para aguas residuales tratadas”**

**Autora: Rosío Ríos Retamal**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío – Bío

Correo electrónico: [rosriosretamal@gmail.com](mailto:rosriosretamal@gmail.com)

**Profesor Patrocinante: Dr. Pedro Cisterna Osorio**

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío – Bío

Correo electrónico: [pcisterna@ubiobio.cl](mailto:pcisterna@ubiobio.cl)

### **Resumen**

La vida tal y como la conocemos sería imposible sin la presencia del agua. El agua es uno de los recursos naturales indispensables para la vida, es por ello que su deterioro afecta negativamente a la población.

Considerando el cambio climático, la contaminación y la gran demanda por los recursos hídricos, se hace necesario protegerla en todos sus estados, para así asegurar la disponibilidad para todos los seres vivos.

La generación de aguas servidas es una consecuencia inevitable de las actividades humanas y a nivel mundial, la mayor parte de las aguas residuales se vierten al medioambiente sin tratar. Su naturaleza es cambiante, por ello es necesario intensificar el estudio de la tratabilidad de las aguas residuales, dando la oportunidad a validar nuevos métodos de tratamiento.

Este proyecto de título está enfocado en evaluar el impacto de la radiación solar en un sistema innovador hecho a base de materiales de bajo costo, de forma trapezoidal con 2 aletas y paneles laterales, el cual está asociado a un tratamiento terciario. Obteniendo con esta geometría, resultados sobre un 5% respecto a radiaciones ambientales.

Patentando en septiembre de 2019 busca abrirse paso como una alternativa económica y menos contaminante, utilizando sólo la radiación solar para obtener un agua residual tratada que pueda ser utilizada para alguna actividad específica.

**Palabras claves:** agua residual, radiación solar, tratamiento.

**“Impact of solar radiation on collector and reflector system for treated wastewater”**

**Author: Rosío Ríos Retamal**

Department of Civil and Environmental Engineering, Universidad del Bío – Bío

E-mail: [rosriosretamal@gmail.com](mailto:rosriosretamal@gmail.com)

**Advisor: Dr. Pedro Cisterna Osorio**

Department of Civil and Environmental Engineering, Universidad del Bío – Bío

E-mail: [pcisterna@ubiobio.cl](mailto:pcisterna@ubiobio.cl)

**Abstract**

Life as we know it would be impossible without the presence of water. Water is one of the essential natural resources for life, which is why its deterioration negatively affects the population.

Considering climate change, pollution and the great demand for water resources, it is necessary to protect it in all its states, in order to ensure availability for all living beings.

The generation of wastewater is an inevitable consequence of human activities and in the world, most of the wastewater is discharged into the environment without treatment. Its nature is changing, so it is necessary to intensify the study of the treatment of wastewater, giving the opportunity to validate new treatment methods.

This Title Project is focused on assessing the impact of solar radiation on an innovative system based on low-cost materials, trapezoidal geometry with 2 fins and side panels, associated with a tertiary treatment. Obtaining with this geometry, results higher than 5% with respect to environmental radiation.

Patented on September 2019, it seeks to break through as an economic and less polluting alternative, using only solar radiation to obtain treated wastewater that can be used for some specific activity.

**Key words:** wastewater, solar radiation, treatment.

## **1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN**

El cambio climático se ha convertido en el mayor desafío que ha tenido que enfrentar la humanidad, generando una creciente influencia negativa sobre la disponibilidad de los recursos hídricos en todo el mundo.

La vida tal y como la conocemos sería imposible sin la presencia del agua. El agua es uno de los recursos naturales indispensables para la vida, es por ello que su deterioro afecta negativamente a la población.

El agua que se encuentra en la naturaleza contiene sustancias disueltas y en suspensión, las que han sido incorporadas durante su recorrido por el ciclo hidrológico. En efecto, al caer en forma de lluvia se encuentra ya en contacto con el aire. Luego, sobre la Tierra, una parte escurre sobre la superficie de la misma, constituyendo la llamada agua de escorrentía y otra se infiltra para circular por su interior formando las aguas subterráneas.

A su paso sobre la superficie sólida del planeta, además de sustancias de origen natural disueltas en el agua, existen otras que son consecuencia de la actividad humana, ya sea que son arrojadas directamente a los cuerpos de agua o bien que lleguen a ella indirectamente, y en el transcurso de su ciclo natural incorpora sustancias en mayor o menor cantidad.

La Norma Chilena 409/Of.2005 define la contaminación como la presencia en el agua potable de elementos, compuestos u organismos que modifican o alteran sus propiedades físicas, químicas, biológicas y/o radiactivas, excediendo los límites permisibles.

Considerando el cambio climático, la contaminación y la gran demanda por los recursos hídricos, se hace necesario protegerla en todos sus estados, para así asegurar la disponibilidad para todos los seres vivos.

En esto, el ser humano tiene una responsabilidad que no puedo eludir. La generación de aguas servidas es una consecuencia inevitable de las actividades humanas. Éstas modifican las características físico-químicas y biológicas del agua de partida, contaminándola o restringiendo su posterior aplicación para otros usos.

Asociando esto a las comunidades con problemas de acceso a este recurso, es donde cobra importancia la búsqueda de procesos de tratamientos económicos y fiables, que aseguren la obtención de un agua residual apta para un uso específico.

### **1.1 Justificación**

El continuo crecimiento de la población mundial y la industria, la desertificación causada por el cambio climático, el desarrollo económico y el aumento del consumo, son los principales problemas a enfrentar para combatir el deterioro del recurso agua.

La generación de aguas servidas es una consecuencia inevitable de las actividades humanas, éstas modifican las características fisicoquímicas y biológicas del agua de partida, contaminándola o restringiendo su posterior aplicación para otros usos. El tratamiento de

éstas es un indicador de desarrollo de los países, en el que se tiene por objetivo, producir un efluente reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango (también llamado biosólido o lodo) convenientes para su disposición o reutilización.

Las tecnologías para tratar y gestionar las aguas residuales varían en función de las características del agua residual y de las normas de calidad exigidas para los efluentes, los que están en constante evolución junto a los imperativos medioambientales, construcción, explotación o disponibilidad de terreno que condicionan el sistema de depuración o aprovechamiento de las aguas residuales. Además, es necesario buscar procesos de tratamiento económicos y fiables que permitan obtener, un agua residual apta para un uso específico.

Se estima que hasta el 90% de las aguas residuales en los países en desarrollo se vierten parcialmente tratadas o sin tratar directamente a ríos, lagos u océanos (ONU, 2017).

Debido a la falta de un programa estructurado de saneamiento rural y la necesidad de dar soluciones a la población rural, se generan iniciativas aisladas a través de los Municipios, las que optan a algún tipo de financiamiento para elaborar proyectos y materializar obras que generalmente recurren a soluciones tecnológicas convencionales, que no son las indicadas para estas realidades, tanto por sus costos como por su complejidad tecnológica.

Con lo anterior, se identificó una demanda activa a cubrir con respecto al saneamiento a las aguas servidas descentralizadas, lo que convierte a este proyecto de desinfección en una alternativa atractiva, económica y con un impacto medioambiental positivo a las zonas de implementación. Esta tecnología de tratamiento permite la descarga de aguas servidas tratadas a los diferentes cuerpos hídricos receptores (ríos, lagos, acuíferos y mares) sin generar un daño al medio ambiente, dando cumplimiento al D.S. 90.

## **1.2 Alcance de la investigación**

Esta investigación pretende obtener resultados que favorezcan la utilización de un canal trapezoidal captador y reflector de radiación solar.

Este canal tendrá aletas laterales y será asistido por paneles laterales de altura adaptable, permitiendo captar la mayor radiación solar posible.

Este prototipo estará emplazado a la salida del humedal sub- superficial instalado en las dependencias de APR Canteras en la comuna de Quilleco.

Debido a la naturaleza cambiante de las aguas residuales es necesario intensificar el estudio de la tratabilidad de las aguas residuales, dando oportunidad a validar nuevos métodos de tratamiento como este.

### **1.3 Objetivo general**

Evaluar el impacto de la radiación ultravioleta solar en canal metálico con aletas reflectoras laterales y la asistencia de paneles-espejo frontales.

### **1.4 Objetivos específicos**

A partir del objetivo general, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- a) Construir prototipo en zona definida.
- b) Evaluar la radiación del canal a nivel zonal.
- c) Evaluar la relación de la radiación ambiental con la radiación promedio en el canal sin paneles.
- d) Evaluar la relación de la radiación ambiental con la radiación promedio en el canal en distintas condiciones.

## 2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

Para comprender la metodología empleada en esta investigación, es necesario conocer algunos conceptos y definiciones los cuales se presentarán a continuación.

### 2.1 Aguas residuales

Desde el punto de vista de las fuentes de generación, se puede llamar agua residual a la combinación de los residuos líquidos o aguas portadoras de residuos, procedentes tanto de instituciones públicas, establecimiento industriales y comerciales y viviendas, a los que pueden agregarse eventualmente aguas subterráneas, superficiales y pluviales (Metcalf & Eddy, 1995). De este modo, toda el agua que se vierte en el desagüe se convierte automáticamente en agua residual, no apta para el consumo humano.

#### 2.1.1 Fuentes de aguas residuales

##### a) Aguas residuales urbanas (ARU).

Las aguas residuales urbanas son aquellas que se han canalizado en los núcleos urbanos (Seoáñez Calvo, 2005). Compuestos principalmente de residuos orgánicos, productos de lavado y los microorganismos patógenos que pueden contener, siendo estos últimos los contaminantes más importantes en estos residuos.

##### b) Residuos industriales líquidos (RILES)

Son aguas de desecho generadas en establecimientos industriales como resultado de un proceso, actividad o servicio. De aquí que las características de éstos varían ampliamente.

##### c) Infiltración y aportaciones incontroladas

Agua que entra tanto de manera directa como indirecta en la red de alcantarillado. La infiltración hace referencia al agua que penetra en el sistema de manera casual. Las aportaciones incontroladas corresponden a aguas pluviales que se descargan a la red por medio de alcantarillas pluviales, drenes de cimiento, bajantes de edificios y tapas de pozos de registro (Metcalf & Eddy, 1995).

#### 2.1.2 Características de las aguas residuales

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica.

##### a) Características físicas

**Sólidos totales:** se define como la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un proceso de evaporación entre 103 y 105°C (Metcalf & Eddy, 1995).

**Turbiedad:** expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua (Romero Rojas, 1999). La turbiedad es otro parámetro que se emplea para indicar la calidad de las

aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión (Metcalf & Eddy, 1995).

**Color:** asociado a la edad del agua residual. El agua residual reciente suele tener un color grisáceo. Sin embargo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a anaeróbicas, el color del agua residual cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro (Metcalf & Eddy, 1995).

**Olor:** normalmente, los olores son debido a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica (Metcalf & Eddy, 1995). La determinación de olor y sabor del agua son útiles para evaluar la calidad de la misma (Romero Rojas, 1999).

**Temperatura:** la temperatura del agua es un parámetro relevante dado a su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción.

**Densidad:** la densidad de un agua residual se define como su masa por unidad de volumen, expresada en  $\text{kg/m}^3$ . Es una característica física importante del agua residual dado que de ella depende la potencial formación de corrientes de densidad en fangos de sedimentación y otras instalaciones de tratamiento (Metcalf & Eddy, 1995).

**Sólidos:** incluye toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos. Considerando sólidos totales, sólidos disueltos sólidos volátiles, sólidos fijos y sólidos sedimentables.

#### b) Características químicas

**Materia orgánica:** cerca del 75% de los sólidos en suspensión y del 40% de los sólidos filtrables de un agua residual de concentración media son de naturaleza orgánica. Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia en determinados casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como el azufre, fósforo o hierro. Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son las proteínas (40-60%), hidratos de carbono (25-50%) y grasas y aceites (10%).

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** la determinación de este parámetro está relacionado con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica (Metcalf & Eddy, 1995). Los resultados de DBO se emplean para determinar la cantidad aproximada de oxígeno que se requerirá para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente, dimensionar las instalaciones de tratamiento de aguas residuales, medir la eficacia de algunos procesos de tratamiento y controlar el cumplimiento de las limitaciones a que están sujetos los vertidos.

**Demanda química de oxígeno (DQO):** el ensayo de la DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica tanto de las aguas naturales como de las residuales. En el

ensayo, se emplea un agente químico fuertemente oxidante en medio ácido para la determinación del equivalente de oxígeno de la materia orgánica que puede oxidarse (Metcalf & Eddy, 1995).

**pH:** la concentración del ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia. El intervalo de concentraciones adecuado para la proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante estrecho y crítico. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de agua.

**Nutrientes:** los elementos nitrógeno y fósforo son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas. Trazas de otros elementos, tales como el hierro, son necesarios para el crecimiento biológico. Puesto que el nitrógeno es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, será preciso conocer datos sobre la presencia del mismo en las aguas, y en qué cantidades, para valorar la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales.

**Metales pesados:** como constituyentes importantes de muchas aguas, también se encuentran cantidades de muchos metales. Entre ellos se puede destacar el níquel (Ni), el manganeso (Mn), el plomo (Pb), el cromo (Cr), el cadmio (Cd), el cinc (Zn), el cobre (Cu), el hierro (Fe) y el mercurio (Hg). Debido a su toxicidad, la presencia de cualquiera de ellos en cantidades excesivas interferirá en gran número de los usos del agua. Es por ello que resulta conveniente medir y controlar las concentraciones de dichas sustancias.

**Gases:** los gases que con mayor frecuencia se encuentran en aguas residuales brutas son el nitrógeno (N<sub>2</sub>), el oxígeno (O<sub>2</sub>), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S), el amoníaco (NH<sub>3</sub>) y el metano (CH<sub>4</sub>) (Metcalf & Eddy, 1995).

#### c) Características biológicas

Son de gran importancia, ya que se asocian principalmente a la presencia de microorganismos que pueden causar enfermedades a humanos y animales. Los microorganismos presentes en las aguas servidas pueden ser bacterias, protozoos, virus, helmintos, rotíferos, algas, entre otros, siendo las bacterias, las que se encuentran en mayor abundancia (Oakley, 2005).

En particular, los organismos bacterianos patógenos excretados por el hombre, se presentan en pequeñas cantidades y son difíciles de aislar y de identificar. Para ello se emplea el organismo coliforme (grupo de bacterias presentes en el suelo, plantas, humanos y animales) como indicador (Metcalf & Eddy, 2003).

Respecto a las concentraciones de los diversos constituyentes de las aguas servidas, se pueden establecer diferencias entre las de tipo urbano y las de tipo rural, debido a que presentan diferencias como la densidad poblacional, las diversas actividades que se ejercen, y los sistemas de recolección que se tienen en los núcleos humanos que las generan (Ramalho R. S., 2003).

### **2.1.3 Indicadores de contaminación fecal en el control de calidad de aguas**

El crecimiento de la población a nivel mundial y el aumento del uso del agua para diferentes actividades, ha incrementado los niveles de contaminación. Esta contaminación está relacionada con los vertidos de origen doméstico e industrial a los cuerpos de agua. En el caso de los residuos de origen doméstico, la carga contaminante está representada por altos porcentajes de materia orgánica y microorganismos de origen fecal. Estos microorganismos son causantes de enfermedades de origen hídrico, que generan altos porcentajes de morbi-mortalidad en la población. El control de la calidad microbiológica del agua de consumo y de vertido, requiere una serie de análisis dirigidos a determinar la presencia de microorganismos patógenos. Determinar el tipo de microorganismos presentes y su concentración proporciona herramientas indispensables para conocer la calidad del agua y para la toma de decisiones en relación al control de vertidos, tratamiento de aguas y conservación de ecosistemas.

Las bacterias que se encuentran con mayor frecuencia en el agua son las bacterias entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y son eliminadas a través de la materia fecal. Cuando estos microorganismos se introducen en el agua, las condiciones ambientales son muy diferentes y por consiguiente su capacidad de reproducirse y de sobrevivir son limitadas. Debido a que su detección y recuento a nivel de laboratorio son lentos y laboriosos, se ha buscado un grupo alternativo de indicadores que sean de más rápida y fácil detección. El grupo más utilizado es el de las bacterias coliformes. El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana, ya que los coliformes son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente, están presentes en el tracto gastrointestinal en grandes cantidades, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas y se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección.

Mientras que la presencia de unos pocos microorganismos no patógenos en el agua puede ser tolerable, la presencia de organismos indicadores específicos puede indicar que esa agua puede estar contaminada con patógenos. Estos organismos indicadores están generalmente asociados con el tracto intestinal; su presencia indica contaminación fecal en la fuente de esa agua. Los coliformes se usan como indicadores de contaminación en el agua porque se encuentran en gran número en el tracto intestinal de humanos y animales. Los coliformes se definen en la bacteriología del agua como bacterias en forma de varilla, no esporuladas, Gram negativas, aeróbicas o aeróbicas facultativas que fermentan la lactosa con producción de gas cuando se incuban a 35° C durante 48 hrs. (Madigan, Martinko, & Parker, 2004)



*Figura n° 1 - E. Coli*  
*Fuente: (Metcalf & Eddy, 2003)*

## **2.2 Tratamiento de aguas residuales**

Aunque la captación y drenaje de aguas pluviales datan de tiempo antiguos, la recogida de aguas residuales no aparece hasta principios del Siglo XIX, mientras que el tratamiento sistemático de aguas residuales data de finales del siglo XX y principios del presente (Metcalf & Eddy, 1995).

### **2.2.1 Fases de tratamiento de aguas residuales**

#### **Tratamiento primario:**

El objetivo del tratamiento primero es la remoción de la materia orgánica suspendida (Diehl & Jeppsson, 1998). Contempla el uso de operaciones físicas tales como la sedimentación y flotación.

En Chile, sólo un 11% de las PTAS incorporan tratamiento primario, de las cuales el 90% corresponde a sedimentación (Barañaño & Tapia, 2004).

#### **Tratamiento secundario:**

El objetivo del tratamiento secundario es la remoción de la materia orgánica disuelta (Gaudy & Gaudy, 1971), mediante procesos biológicos y químicos, los que se emplean para eliminar la mayor parte de la materia orgánica (Metcalf & Eddy, 1995).

Las principales tecnologías disponibles en Chile, son los lodos activados, lagunas, sistemas de medio fijo y los lombrifiltros.

#### **Tratamiento terciario:**

El objetivo del tratamiento terciario o avanzado, es remover cualquier otro elemento no deseado (Eckenfelder, 2000). Esta etapa está generalmente enfocada a la remoción de nutrientes, tales como nitrógeno y el fósforo, cuya reducción con el tratamiento secundario no es significativa.

## 2.2.2 Tecnologías blandas de tratamiento de aguas residuales

### a) Humedales

Los humedales de tratamiento, también conocidos como construidos o artificiales son sistemas de tratamiento de aguas residuales, diseñados específicamente para separar los contaminantes del agua residual y llevar a cabo el manejo y disposición de residuos de forma apropiada (Alarcón, Zurita, Lara-Borrero, & Vidal, 2018). Consisten principalmente en estanques poco profundos en los que se implantan especies vegetales, adaptadas a la vida acuática y en los que la depuración se basa en procesos naturales de tipo microbiológico, biológico, físico y químico. Su diseño es muy variado, pero siempre incluye canalizaciones, aislamiento del suelo para evitar el paso de la contaminación de los ecosistemas circundantes y el control del flujo del efluente en cuanto a su dirección, flujo, tiempo de retención y nivel del agua (Curt, 2005).



*Figura n° 2 - Humedal Tomeco  
Fuente: Samira Yáñez Gutiérrez*

### b) Lagunaje

**Lagunas aireadas:** las lagunas aireadas son estanques con profundidades de 1 a 4 metros en las que la oxigenación de las aguas residuales se realiza mediante unidades de aireación ya sean superficiales, turbinas o difusores. La diferencia fundamental entre las lagunas aireadas y el sistema de lodos activados es que en este último se recircula el lodo como medida de control en la cantidad de lodo biológico en el reactor de aireación. Las lagunas aireadas son sistemas sin reciclado de lodos. La concentración de sólidos en las lagunas está en función de las características del agua residual y el tiempo de residencia (Ramalho R. , Introducción a los Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales, 2003).

**Lagunas de oxidación o estabilización:** son excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra, generalmente de forma rectangular o cuadradas abiertas al sol y al aire, donde se almacena el agua residual y cuyo fin es el de lograr su tratamiento a través de procesos naturales, pero controlados; la implementación de esta tecnología ha definido como objetivos remover de las aguas residuales la materia orgánica y eliminar los microorganismos patógenos. Aunque en muchas ocasiones se presenta un tercer objetivo y es utilizar el efluente con finalidades como la agricultura o piscicultura. El crecimiento demográfico, la urbanización y el incremento en el consumo de agua en los hogares, la agricultura y la industria, han aumentado significativamente el uso global del agua.

### 2.2.3 Desinfección

La desinfección es una acción que tiene por objeto eliminar los microorganismos patógenos, bacterias, parásitos, virus y la mayoría de los gérmenes ligeramente nocivos menos resistentes (Seoáñez Calvo, 2005). El proceso de desinfección puede llevarse a cabo por agentes físicos y agentes químicos.

Tabla 1 - Formas de desinfección

Agentes Físicos	Agentes Químicos
Calor	Ozono
Rayos uv	Permanganato de potasio
Radiación solar	Cobre y plata
	Halógenos

Fuente: (Reyes López, Uso del Cloro en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas, 2016)

#### 2.2.3.1 Agentes físicos

**Calor:** puede usarse de diferentes formas: calor húmedo o vapor, aire seco y agua caliente. El calor húmedo destruye los microorganismos por coagulación de sus proteínas celulares y el principal método es la esterilización por vapor a presión; por su parte el calor seco es un sistema de esterilización apto para material termo resistente, su acción germicida se produce por difusión del calor y oxidación de los microorganismos presentes. La instalación requerida no es compleja, el inconveniente es la duración del proceso y la alta temperatura que puede acelerar el deterioro del material mientras que el uso del agua caliente no destruye todos los patógenos presentes en el agua y tiene un alto costo de operación al requerir de energía para llevar el agua a 100°C (Reyes López, Uso del Cloro en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas, 2016).

**Rayos UV:** la luz ultravioleta (LUV) ha sido utilizada con éxito en aguas de abastecimiento desde hace varias décadas y su desarrollo tecnológico ha avanzado notablemente en los últimos años; sin embargo, su uso en la desinfección de agua residual depurada es limitada, especialmente por su eficiencia baja cuando se utilizan aguas residuales de composición físico-química diferente e incluso variable en función de los vertidos de zona (Aguirre, García, & Mujeriego, 2004).

**Radiación Solar:** esta alternativa es un método natural aplicado para desinfectar el agua usando sólo luz del sol; la radiación solar se conforma por varias franjas o tipos de radiación: ultravioleta (UV), visible e infrarroja. La capacidad germicida de la radiación solar se ha relacionado con fracción ultravioleta de esta. Por su parte, la fracción infrarroja contribuye notablemente a incrementar la temperatura del agua, induciendo condiciones adversas para los microorganismos que pudieran estar presentes en el agua (Dominguez, 2012).

### 2.2.3.2 Agentes químicos

Existen determinadas sustancias químicas que pueden actuar sobre los microorganismos, con una acción no selectiva sobre las células en las que actúan, conocidas como desinfectantes y antisépticos. El desinfectante se utiliza para el control de microorganismos sobre objetos inanimados que pueden causar enfermedades; remueven parte o la totalidad de ellos. Estos agentes destruyen las formas vegetativas de los microorganismos, pero no necesariamente sus esporas.

**Oxidantes:** la acción biocida de los agentes oxidantes interfiere con la síntesis de la proteína en las células, resultando en la muerte de los microorganismos. En este grupo están el cloro, bromo, yodo, dióxido de cloro, ozono, peróxido de hidrógeno, juntamente con algunas sales halógenas y de peróxido. Debido a que los agentes oxidantes operan por contacto, su aplicación preferencial es en sistemas limpios bajo condiciones de tratamiento que aseguren mantenerse limpios para que la acción biocida se mantenga efectiva.

**Ozono:** El ozono es un compuesto formado por tres átomos de oxígeno, cuya función más conocida es la de protección frente a la peligrosa radiación ultravioleta del sol; pero también es un potente oxidante y desinfectante con gran variedad de utilidades. La más destacada es la desinfección de aguas (Pérez Calvo, 2013). Cuando este gas es inyectado en el agua, puede ejercer su poder oxidante mediante oxidación directa de los compuestos mediante el ozono molecular u oxidación por radicales libres hidroxilo.

Los radicales libres generados en el agua se combinan con las moléculas de ozono, constituyendo uno de los oxidantes más potentes; pero su vida media es de microsegundos. De los oxidantes más utilizados en el tratamiento de aguas son los radicales libres de hidroxilo y el ozono que tienen el potencial más alto.

La oxidación directa de la pared celular de las bacterias con el ozono constituye su principal modo de acción, provocando su rotura y con ello la salida de los constituyentes celulares al exterior (Crites & Tchonobanoglous, 1998). De la misma forma, la producción de radicales hidroxilos con la desintegración del ozono en el agua provoca un efecto similar.

**Permanganato de Potasio:** el permanganato de potasio ( $\text{KMnO}_4$ ), obtenido a partir del dióxido de manganeso ( $\text{MnO}_2$ ) es utilizado para control de olor y color, mejora el sabor e inactiva a coliformes *Vibrio cholerae*, *Salmonella typhi*, poliovirus y bacteriófagos en el tratamiento de agua para consumo. El  $\text{KMnO}_4$  oxida y destruye enzimas celulares, siendo el ion  $\text{MnO}_4$  el responsable de esta acción. El  $\text{KMnO}_4$  también forma dióxido de manganeso,

el cual tiene una capa externa de grupos oxhidrilos capaces de fijar por absorción partículas neutras o cargadas, incluyendo microorganismos, inactivados en el precipitado que se forma. Actualmente el permanganato de potasio se emplea en actividades agrícolas para la desinfección del agua superficial; sin embargo, la información científica que demuestra su eficacia como agente desinfectante no es suficiente (Chaidez, Soto, Martínez, & Medrano, 2008).

**Cobre y Plata:** metales como la plata, el cobre, el mercurio, el magnesio y el hierro a bajas concentraciones pueden ser potenciales desinfectantes del agua, estos metales inactivan enzimas claves de los microorganismos al reaccionar con los grupos del ácido sulfhídrico.

Los iones de plata y cobre son átomos que han perdido un electrón quedando con carga positiva. Los iones se introducen al interior de la célula a través de transportadores de metales presentes en la membrana, compitiendo con ellos por los lugares de captación. Actúan interfiriendo en la permeabilidad gaseosa de la membrana (respiración celular) y una vez en el interior de la membrana celular alteran su sistema enzimático, inhibiendo su metabolismo, producción de energía y modificando su material genético, llevando al microorganismo a perder su capacidad de reproducirse y crecer (Pancorbo, 2009).

**Halógenos:** los halógenos en particular el yodo y el cloro, son agentes antimicrobianos eficaces, tanto solos como parte de compuestos inorgánicos u orgánicos. El yodo (I<sub>2</sub>) es uno de los antisépticos más antiguos y más efectivos; actúa contra toda clase de bacterias y contra muchas endosporas, diversos hongos y algunos virus.

En todo el mundo, el mecanismo de desinfección más aplicado en los sistemas de tratamiento del agua residual es el del cloro y sus derivados. Fue introducido masivamente a principios del siglo XX y constituyó una revolución tecnológica, que complementó el proceso de filtración ya conocido y utilizado para el tratamiento del agua (Mendoza & Vera, 2010).

El cloro es un gas tóxico de olor penetrante más pesado que el aire y no combustible ni explosivo, su poder desinfectante radica en la capacidad de oxidación, destruyendo la célula tras provocar la rotura de la pared celular; en general, puede decirse que las reacciones redox del cloro con las sustancias inorgánicas son muy rápidas, mientras que la oxidación de la materia orgánica suele ser más lenta, llegando en ocasiones a necesitar varias horas para que se produzca la oxidación total de algunos compuestos (Pérez López & Espigares García, 1955).

El cloro es un oxidante fuerte que se suministra en forma gaseosa o como soluciones de hipoclorito de sodio o de calcio y reacciona con el agua para formar Ácido Clorhídrico (HCl) y ácido hipocloroso (HOCl), este último es el principal agente desinfectante.

El cloro reacciona con numerosos compuestos minerales (hierro, magnesio, nitrógeno amoniacal, nitritos, bromuros, yoduros, sulfuros y cianuros), así como con materia orgánica presente en las aguas (Rodier, 1998).

#### 2.2.4 Tecnologías convencionales de desinfección de aguas residuales

**Cloro:** la cloración se efectúa con cloro gas o una sustancia que libere este gas, una vez que se encuentra en el agua. En el primer caso el cloro gas a presión normal es un gas verde-amarillento y sumamente tóxico. Es muy efectivo para remover casi todos los patógenos microbianos y apropiado para desinfección en plantas de tratamiento, tanto como para la desinfección secundaria, en la red de distribución. El cloro gas se distribuye en forma de líquido a presión en tanques y es inyectado en el agua a través de un orificio de Venturi, para que el cloro pase rápidamente al agua y se mezcle. Se requiere un tiempo de contacto entre el cloro y el agua para asegurar la desinfección y controlar al mismo tiempo el pH del agua. El manejo del cloro gas es complicado y merece mucha atención y medidas de seguridad adicionales, como equipos autónomos de respiración que deben estar disponibles en la cercanía de la instalación.

Otra forma de clorar es a través de hipoclorito de sodio o de calcio que están en forma líquida o sólida, respectivamente. Ambas son muy corrosivas y con un fuerte olor a cloro, por lo que el almacenamiento debe ser adecuado para evitar daños por corrosión. En el caso del hipoclorito de sodio reacciona en forma espontánea con el aire y no debería ser almacenado por más de un mes pues pierde su efectividad. El hipoclorito de calcio, por el contrario, es muy estable y puede ser almacenado hasta un año.

Adicionalmente puede generarse hipoclorito de sodio in situ por electrólisis al hacer reaccionar sal común y agua. Como subproducto de la reacción se genera hidrógeno, que debe ser dispersado del sitio en forma segura, dada la explosividad inherente a este gas. La calidad de los reactivos debe cumplir ciertos estándares pues son añadidos al agua para consumo humano y por lo tanto deben estar libre de sustancias tóxicas (Environmental Protection Agency, 1998).

Otra limitante adicional del cloro es la generación de subproductos halogenados que se producen cuando el cloro reacciona con la materia orgánica contenida en el agua, proveniente aquélla de las sustancias húmicas o fúlvicas del suelo (Ram, Christman, & Cantor, 1990). La formación de estas sustancias halogenadas depende del tipo y concentración de la materia orgánica presente cuando se añade el cloro, la dosis de cloro, la temperatura y pH del agua, así como el tiempo de reacción. Los productos generados pueden ser diversos pero los más importantes se conocen como trihalometanos, de comprobada toxicidad al ser humano. Otro factor importante que aumenta la presencia de subproductos halogenados es la recloración dentro del sistema de distribución (Leal, Bandala, Gelover, & Pérez, 1999).

**Cloramina:** la cloramina se forma cuando se añade cloro al agua que contiene amoníaco o cuando se añade amoníaco a agua que contiene cloro. Esta sustancia es un bactericida efectivo y genera menos subproductos que el uso de cloro. Sus limitaciones provienen de que tiene un poder desinfectante menor que el del cloro y de que dentro de las reacciones posteriores puede generarse tricloruro de nitrógeno que tiene sabor y olor desagradables. Es apropiado para prevenir el recrecimiento en el sistema de distribución, propiamente dicho.

Por lo general, se aplica cloro gas en el sistema, seguido de amoníaco gas o hidróxido de amonio, tras un mezclado adecuado y tiempo de contacto suficiente, la desinfección es efectiva. Para la generación de la cloramina puede ser usado como fuente de cloro el gas cloro puro; como fuente de amoníaco puede ser utilizado solución gaseosa anhidra de amoníaco, hidróxido de amonio u otros compuestos químicos como sulfato de amonio (Environmental Protection Agency, 1998).

**Ozono:** el ozono es una forma alótropa del oxígeno que tiene tres átomos en cada molécula, en lugar de la forma usual de dos átomos. Es un oxidante poderoso y agente desinfectante. Se forma a partir del oxígeno del aire, que pasa a través de un sistema de electrodos de alto voltaje. Las ventajas principales del ozono se deben a que requiere de tiempos de contacto y dosis menores que el cloro, por lo que ha sustituido al cloro en plantas altamente tecnificadas. Por regla general, el ozono no produce subproductos halogenados, a menos que el agua contenga bromuros. Debido a la inestabilidad de la molécula de ozono, el gas debe ser generado in situ y ser utilizado de inmediato. Los voltajes elevados que se manejan en los equipos los hacen técnicamente complejos en su mantenimiento y operación y caros en su costo de operación. Adicionalmente, tiene la desventaja de que el ozono no mantiene un poder desinfectante residual en el agua, una vez terminada la aplicación.

Una variedad de la aplicación anterior, es la generación de ozono a partir de oxígeno puro, no de aire. Esta variedad es ventajosa desde el punto de vista de los costos, pues el costo de energía, que es el más importante, disminuye. Asimismo, el ozono generado tiene una mayor densidad, tanto que puede verse duplicada la cantidad de ozono generado por unidad de volumen. Al tener el ozono una mayor concentración, se desinfectan iguales volúmenes de agua con menores volúmenes de ozono (Environmental Protection Agency, 1998).

**Luz ultravioleta:** la radiación ultravioleta se genera con una lámpara especial. Cuando la radiación penetra la pared celular de un organismo, el material genético es modificado y la célula es incapaz de reproducirse. La luz ultravioleta destruye virus y bacterias, sin embargo, como en el caso del ozono, es necesario del uso posterior de cloro, para prevenir el recrecimiento de bacterias. La luz ultravioleta provee un método de operación y mantenimiento sencillo, es útil con tiempos cortos de contacto y no genera residuos tóxicos o subproductos. Entre sus principales limitaciones se encuentran su incapacidad de inactivar protozoarios, y su ineficiencia para tratar aguas turbias con sólidos suspendidos, color o materia orgánica soluble. En estos casos la radiación será absorbida por estas sustancias y la desinfección se verá seriamente limitada. La efectividad de la radiación ultravioleta con vías a desinfectar agua depende de la dosis absorbida por los organismos, en función de la intensidad de la lámpara utilizada y el tiempo de exposición. Si la dosis no es suficiente, el material genético puede verse dañado, pero no destruido, lo que permitirá el recrecimiento bacteriano una vez que cese el tratamiento.

### 2.2.4.1 Radiación solar

La radiación solar es el conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el Sol en todas las direcciones del espacio. El Sol es una estrella que se encuentra a una temperatura media de 6000 K, en cuyo interior tienen lugar una serie de reacciones de fusión nuclear que producen una pérdida de masa que se transforma en energía. Esta energía liberada del Sol se transmite al exterior mediante la radiación solar.

La potencia total que es capaz de producir el sol es de  $3,8 \cdot 10^{20}$  [MW]. Sin embargo, la radiación que efectivamente llega a la superficie del planeta es menor debido a que depende de las condiciones atmosféricas, altura sobre el nivel del mar y altura solar (latitud, fecha y hora del día); cuando los rayos solares inciden perpendicular a la superficie la intensidad de la radiación es mayor a cuando el ángulo de incidencia sea más oblicuo (Romero Tous, 2009).

Tipos de radiación:

En función de cómo reciben la radiación solar los objetos situados en la superficie terrestre, se pueden distinguir estos tipos de radiación:

- **Radiación directa:** es aquella que llega directamente del Sol sin haber sufrido cambio alguno en su dirección.
- **Radiación difusa:** parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es reflejada por las nubes o absorbida por éstas. Esta radiación, que se denomina difusa, va en todas direcciones, como consecuencia de las reflexiones y absorciones, no sólo de las nubes sino de las partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios y el propio suelo.
- **Radiación reflejada:** la radiación reflejada es, como su nombre indica, aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie, también llamado albedo.
- **Radiación global:** suma de las radiaciones directa, difusa y reflejada.

### 2.2.4.2 Radiación ultravioleta

La luz ultravioleta es la porción del espectro electromagnético que se encuentra entre los rayos X y la luz visible. Se han definido cuatro regiones del espectro ultravioleta, vacío UV entre 100 y 200 nm, UV-C entre 200 y 280 nm, UV-B entre 280 nm y 315 nm, y UV-A entre 315 nm y 400 nm.

El rango UV-C es el considerado mayoritariamente germicida, debido a que los rayos con longitud de onda entre 240 – 280 nm son fuertemente absorbidos por los ácidos nucleicos. Por lo que, el mecanismo de desinfección por UV tiene relación mayoritariamente con la inactivación de los ácidos nucleicos en los microorganismos, debido a que el ADN (ácido desoxirribonucleico) y el ARN (ácido ribonucleico) llevan la información genética usada en la reproducción.

Sin embargo, a causa de la absorción por parte de la atmósfera terrestre, el 99 % de los rayos ultravioletas que llegan a la superficie de la Tierra son del tipo UV-A. La atmósfera ejerce una fuerte absorción que impide que la atraviese toda radiación con longitud de onda inferior a 290 nm. La radiación UV-C no llega a la tierra porque es absorbida por el oxígeno y el ozono de la atmósfera. La radiación UV-B es parcialmente absorbida por el ozono y llega a la superficie de la tierra.

La radiación UV-A interactúa directamente con el ADN, los ácidos nucleicos y las enzimas de las células vivas, cambia la estructura molecular y puede producir la muerte de la célula. También reacciona con el oxígeno disuelto en el agua y produce formas altamente reactivas de oxígeno (radicales libres de oxígeno y peróxidos de hidrógeno). Estas moléculas también interfieren con las estructuras celulares y matan a los patógenos (Meierhofer & Wegelin, 2003).

#### **2.2.4.3 Parámetros importantes de la radiación UV relacionados con la desinfección del agua** (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

- **Longitud de onda:** el rango germicida se encuentra entre 240 y 280 nm y se obtiene la máxima eficiencia desinfectante cerca de los 260 nm.
- **Calidad del agua:** la energía ultravioleta es absorbida por el agua, pero en mucho mayor grado es absorbida por los sólidos en suspensión o disueltos, turbiedad y color. Por lo tanto, la turbiedad debe ser tan baja como sea posible.
- **Intensidad de la radiación:** a menor distancia del agua respecto al punto de emisión de los rayos, mayor será la intensidad de los mismos y por tanto la desinfección será más eficiente.
- **Tipo de microorganismos:** la resistencia al efecto de la radiación dependerá del tipo de microorganismo. No obstante, la dosificación de luz ultravioleta requerida para destruir los microorganismos más comunes varía entre 6 y 10 mW/cm<sup>2</sup>.
- **Tiempo de exposición:** como cualquier otro desinfectante, el tiempo de exposición es vital para asegurar un buen desempeño. No es fácil determinar con exactitud el tiempo de contacto (ya que éste depende del tipo de flujo y de las características del equipo), pero el período debería estar relacionado con la dosificación necesaria.

#### **2.2.4.4 Reflexión y refracción.**

Cuando una onda luminosa incide en una interfaz lisa que separa dos materiales transparentes, la onda en general es reflejada parcialmente y también refractada (transmitida) parcialmente hacia el segundo material. A medida que un rayo pasa a través del material, parte de este puede ser absorbida, con lo que decrece la energía contenida en el rayo refractado (Tipler & Mosca, 2003).

Se describen las direcciones de los rayos incidente, reflejado y refractado (transmitidos) en una interfaz lisa entre dos materiales ópticos en términos de los ángulos que forman con la

normal (perpendicular) a la superficie en el punto de incidencia. Si la interfaz es rugosa, tanto la luz transmitida como la reflejada se dispersan en varias direcciones y no hay un ángulo único de transmisión o reflexión. La reflexión con un ángulo definido desde una superficie muy lisa se llama reflexión especular. La reflexión dispersa a partir de una superficie áspera se llama reflexión difusa. Ambas clases de reflexión ocurren con materiales transparentes o con materiales opacos que no transmiten la luz.

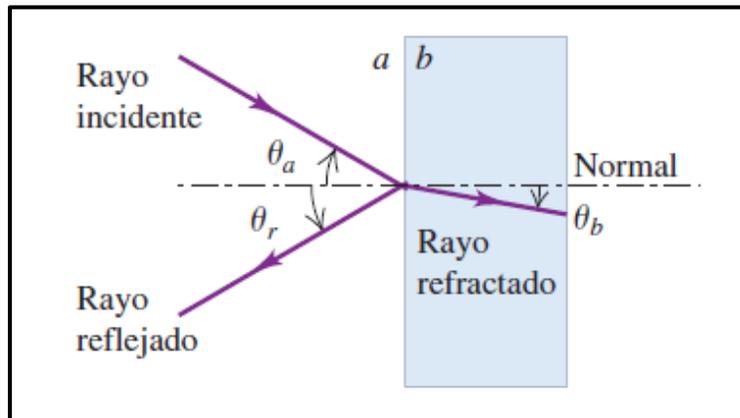


Figura n° 3 - Diagrama de reflexión y refracción 1  
Fuente: Zemansky (2009)

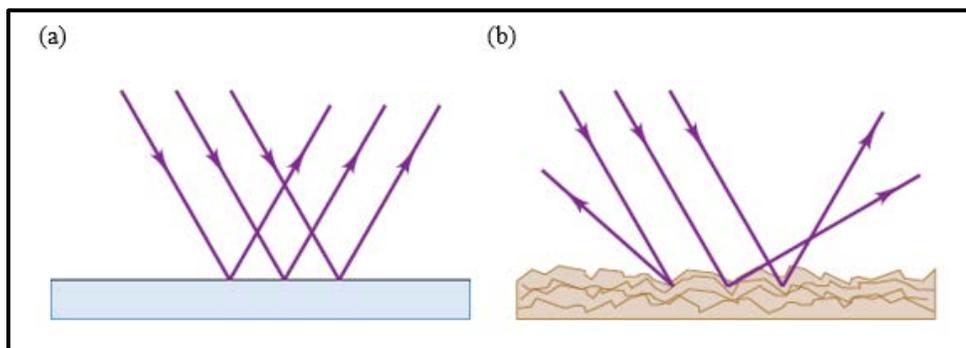


Figura n° 4 - Diagrama de reflexión y refracción 2  
Fuente: Zemansky (2009).

### Leyes de reflexión y refracción

Los estudios experimentales de las direcciones de los rayos incidentes, reflejados y refractados en una interfaz lisa entre dos materiales ópticos condujeron a las siguientes conclusiones:

- Los rayos incidente, reflejado y refractado, así como la normal a la superficie, yacen todos en el mismo plano. El plano de los tres rayos es perpendicular al plano de la superficie de frontera o límite entre los dos materiales. Siempre se dibujan los

diagramas de los rayos de manera que los rayos incidente, reflejado y refractado estén en el plano del diagrama.

- El ángulo de reflexión  $\theta_r$  es igual al ángulo de incidencia  $\theta_a$ , tal como muestra la Ecuación 1, para todas las longitudes de onda y para cualquier par de materiales. Es decir, en la figura 4,

$$\theta_r = \theta_a \quad (\text{Ley de reflexión}) \quad \text{Ec. (1)}$$

Esta relación, junto con la observación de que los rayos incidente y reflejado y la normal yacen en el mismo plano, se conoce como ley de reflexión.

- Para la luz monocromática y para un par dado de materiales,  $a$  y  $b$ , en lados opuestos de la interfaz, la razón de los senos de los ángulos  $\theta_a$  y  $\theta_b$ , donde los dos ángulos están medidos a partir de la normal a la superficie, es igual al inverso de la razón de los dos índices de refracción ( $n$ ), ver Ecuación 2:

$$n_a \cdot \text{sen } \theta_a = n_b \cdot \text{sen } \theta_b \quad (\text{Ley de refracción}) \quad \text{Ec. (2)}$$

### 2.2.5 Situación del tratamiento de aguas residuales en Chile

A comienzos de la década del 90 se inició en Chile el proceso de construcción de plantas de tratamiento de aguas servidas. Desde el año 2000, con la publicación de la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2001) el proceso se aceleró significativamente (Baraño & Tapia, 2004). El tratamiento de aguas residuales ha ido en ascenso y en la actualidad, el sector urbano cuenta con una cobertura de agua potable de un 99,97 %, alcantarillado 97,15% y un 99,97% alcantarillado (SISS, 2017), sin embargo, la cifra de déficit de alcantarillado sanitario en sectores rurales alcanza aproximadamente el 53% (Fundación Chile, 2016).

A diciembre de 2017, existían más de 297 sistemas de tratamiento de aguas servidas operativos en el país, siendo la región del Biobío la con mayor cantidad de sistemas de tratamiento de aguas servidas (SISS, 2017).

Respecto a las tecnologías de tratamiento de aguas servidas utilizadas, un 60% corresponde al tipo lodos activados. Por otro lado, el número de sistemas en base a lagunas aireadas se mantiene en un 19%, al igual los sistemas en base a Emisarios Submarinos con un 11% respecto al total (SISS, 2017).

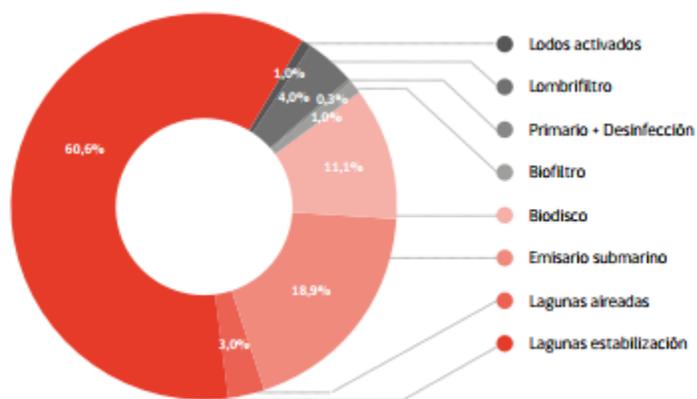


Figura n° 5 - Tratamiento de aguas servidas  
Fuente: SISS

Un 96% de los sistemas de tratamiento de aguas servidas descargan a los cuerpos de agua superficiales, por lo que deben cumplir con la norma de emisión DS MINSEGPRES N°90/00, en tanto que sólo un 4% reutiliza el agua tratada en distintos usos.

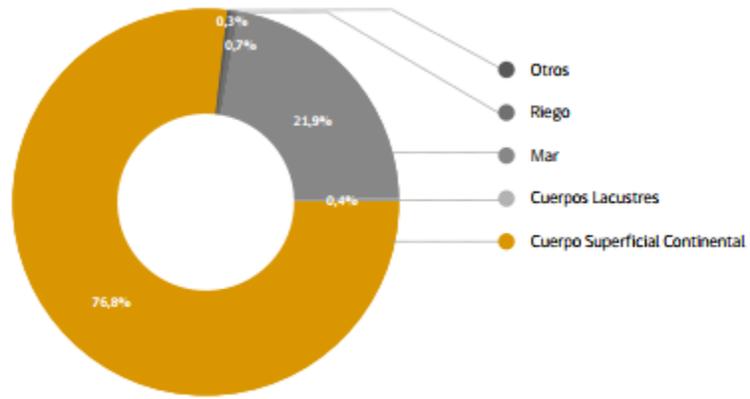
### 2.2.6 Reúso de aguas tratadas

El reúso de aguas residuales es una entre otras opciones para el ahorro y uso eficiente del agua, el cual tiene por objetivo aprovechar el recurso previamente utilizado una o más veces en alguna actividad, para suplir las necesidades hídricas de los usuarios o sectores productivos que lo requieran, después de someterlo a un tratamiento determinado (Fundación Chile, 2016).

A nivel mundial, más del 80% del total de las aguas residuales se vierten sin tratar (ONU, 2017)

Además de aumentar la disponibilidad del recurso, otra ventaja es la reducción de la carga contaminante que se dispone en los cuerpos receptores superficiales, subterráneos y zonas costeras, la que genera un impacto ambiental indeseable.

Respecto a la desalinización de agua de mar, que es otra de las soluciones planteadas, el reúso de aguas residuales tratadas posee un costo de inversión de 72% más bajo, así como una operación 84% menor, sin considerar los costos de conducción asociados, los que dependen de la distancia a recorrer.



*Figura n° 6 - Destino final de las aguas servidas tratadas*

*Fuente: SISS, 2017*

### 3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

A continuación, se presentan las diferentes metodologías que se emplearon para desarrollar cada uno de los objetivos específicos planteados en esta investigación:

#### 3.1 Construcción del prototipo

##### 3.1.1 Selección del sitio

La experiencia del proyecto de título se llevó a cabo en las dependencias de APR Canteras en la comuna de Quilleco. Se opta por este lugar, debido a la extensión de terreno disponible para instalar el prototipo, considerando una zona con sombra el menor tiempo posible.



*Figura n° 7 - Ubicación*

*Fuente: Google maps*

##### 3.1.2 Materiales

Se pretende la utilización de material y equipos que permitan la corroboración del sistema con bajos costos para la utilización en comunidades rurales. En general, el prototipo se basa en la utilización de planchas de acero galvanizado para el canal, aletas y paneles, plegadas y unidas.

###### - Canal reflectante

Prototipo de sección trapezoidal, cuyo objetivo es contener los rayos solares actuando en el cuerpo de agua. Las consideraciones constructivas se encuentran en el Anexo n° 1.

###### - Paneles y aletas laterales

La instalación de paneles y aletas reflectantes considera el aumentar la opción de reflexión de los rayos solares y así obtener una mayor radiación.

### 3.1.3 Diseño

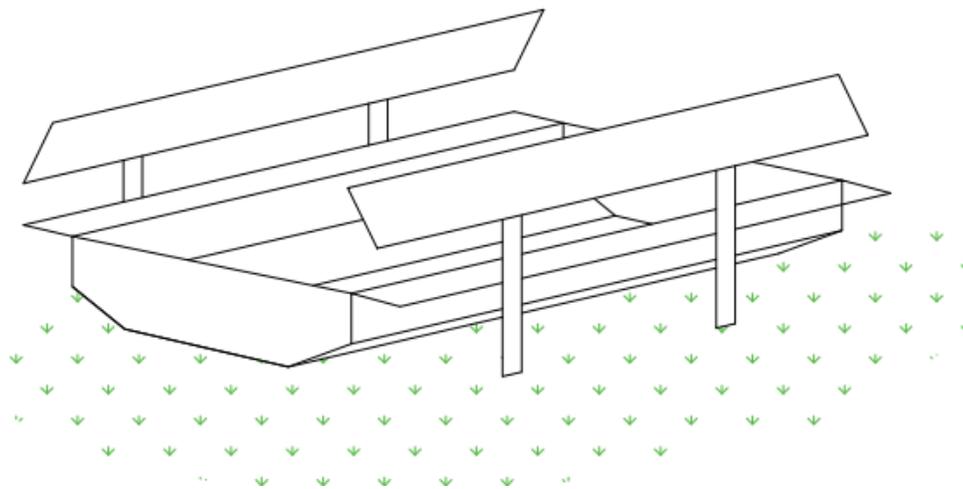
#### Canal

Basado en el diseño y construcción de Ruiz (2017). Modificaciones constructivas.

#### Paneles y aletas

Estimados con el objetivo de aumentar el área de radiación. Realizados con el mismo material del canal.

Especificaciones en Anexo n°1.



*Figura n° 8 - Prototipo canal reflector*  
Fuente: elaboración propia

### 3.1.4 Construcción e instalación

La construcción se llevó a cabo mediante un sistema manual el plegado de planchas.

Para la instalación, previamente se realizó una excavación en las dependencias a APR Canteras según las dimensiones del canal (Anexo n°2), posterior a esto, las planchas fueron instaladas de a una, mientras eran unidas con tornillos, sellando la unión con silicona para evitar filtraciones.

## 3.2 Evaluación de la radiación del canal a nivel zonal

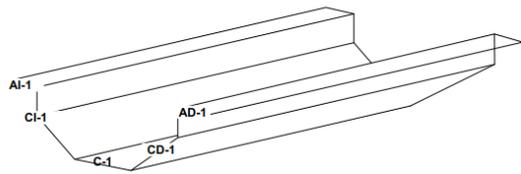
### 3.2.1 Instrumento para radiación

Para la obtención de los datos de radiación se utilizó el sensor UV light meter PUV – 360 (Anexo n° 3).

### 3.2.2 Radiación en canal

**Radiación canal:** se tomaron datos en 25 puntos, distribuidos 5 por zona.

La toma de datos fue definida a las 11:00, 13:00 y 15:00 hrs.



AI-1	AI-2	AI-3	AI-4	AI-5
CI-1	CI-2	CI-3	CI-4	CI-5
C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
CD-1	CD-2	CD-3	CD-4	CD-5
AD-1	AD-2	AD-3	AD-4	AD-5

Figura n° 9 - Malla de radiación canal

Fuente: elaboración propia

Tabla 2 - Tabulación datos radiación canal por zona

AI	CI	C	CD	AD
Prom AI 11-n	Prom CI 11-n	Prom C 11-n	Prom CD 11-n	Prom AD 11-n
Prom AI 13-n	Prom CI 13-n	Prom C 13-n	Prom CD 13-n	Prom AD 13-n
Prom AI 15-n	Prom CI 15-n	Prom C 15-n	Prom CD 15-n	Prom AD 15-n

Fuente: elaboración propia

### 3.3 Evaluación de la relación de la radiación ambiental con la radiación promedio en el canal sin paneles.

#### 3.3.1 Radiación ambiental

**Radiación ambiental:** obtenida mediante 6 puntos alrededor del canal tres veces en un día (11:00, 13:00 y 15:00), durante 10 ocasiones distintas.

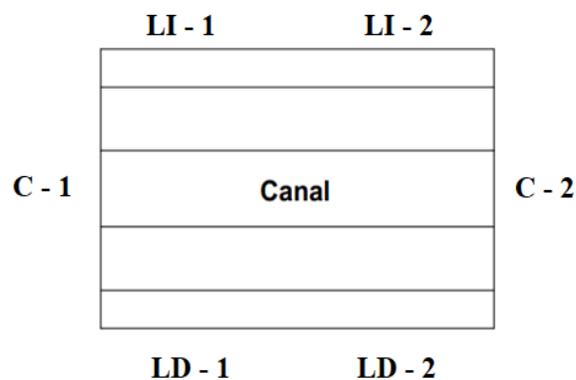


Figura n° 10 - Malla Radiación Ambiental

Fuente: elaboración propia

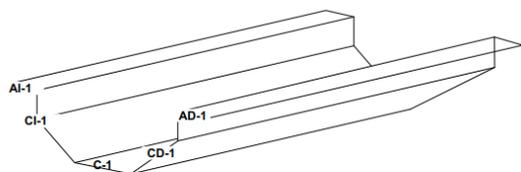
Tabla 3 - Tabulación datos radiación ambiental

Lateral izquierdo	Centro	Lateral derecho
LI - 1	C-1	LD-1
LI - 2	C-1	LD-2
<b>Prom CI</b>	<b>Prom C</b>	<b>Prom CD</b>

Fuente: elaboración propia

### 3.3.2 Radiación promedio canal

**Radiación canal:** ésta fue obtenida mediante una malla de radiación de 25 puntos en el canal, tres veces en un día, durante 10 ocasiones.



AI-1	AI-2	AI-3	AI-4	AI-5
CI-1	CI-2	CI-3	CI-4	CI-5
C-1	C-2	C-3	C-4	C-5
CD-1	CD-2	CD-3	CD-4	CD-5
AD-1	AD-2	AD-3	AD-4	AD-5

Figura n° 11 - Malla Radiación Canal

Fuente: elaboración propia

Malla de radiación canal:

Tabla 4 - Tabulación datos radiación canal

Aleta izquierda	Centro izquierdo	Centro	Centro derecho	Aleta derecho
AI - 1	CI - 1	C - 1	CD - 1	AD - 1
AI - 2	CI - 2	C - 2	CD - 2	AD - 2
AI - 3	CI - 3	C - 3	CD - 3	AD - 3
AI - 4	CI - 4	C - 4	CD - 4	AD - 4
AI - 5	CI - 5	C - 5	CD - 5	AD - 5
<b>Prom AI</b>	<b>Prom CI</b>	<b>Prom C</b>	<b>Prom CD</b>	<b>Prom AD</b>
<b>Prom General</b>				

Fuente: elaboración propia

### 3.4 Evaluación de la relación de la radiación ambiental con la radiación promedio en el canal en distintas condiciones.

Se definieron tres condiciones distintas; en primer lugar, el sistema completo (con paneles y aletas), en segundo lugar, el sistema sin paneles (sólo paneles cubiertos, aletas en funcionamiento) y, por último, el sistema sin aletas (sólo aletas cubiertas, paneles en funcionamiento).

Se tomaron datos 25 datos en el canal con y sin paneles, 15 puntos en el sistema sin aletas y 6 puntos para la radiación ambiental. Los datos fueron tomados en el menor tiempo posible, iniciando con la radiación del canal con paneles y radiación ambiental del lugar, posterior a esto, medición de la radiación en el canal sin paneles, para finalizar en la toma de datos del sistema sin aletas.

*Tabla 5 - Tabulación datos RCc, RCs, RCS.A y RA*

<b>RC con</b>	<b>RC sin</b>	<b>RC S.A</b>	<b>RA</b>
<b>RC C – 1</b>	<b>RC S – 1</b>	<b>RC S.A – 1</b>	<b>RA – 1</b>
<b>RC C – 2</b>	<b>RC S – 2</b>	<b>RC S.A – 2</b>	<b>RA – 2</b>
<b>RC C – 3</b>	<b>RC S – 3</b>	<b>RC S.A – 3</b>	<b>RA – 3</b>

*Fuente: elaboración propia*

#### 4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE RESULTADOS

##### 4.1 Construcción de prototipo:

La construcción del sistema fue realizada, en primer lugar, mediante el plegado de las planchas de acero galvanizado (Anexo n° 1). Una vez realizada la excavación, estas planchas fueron instaladas en el lugar una a una, uniéndose con tornillos autoperforantes y selladas con silicona para evitar filtraciones.

Respecto a los paneles frontales para el sistema, estos fueron cortados según las dimensiones especificadas. Se utilizó madera para el marco y las columnas que los sostienen. La instalación de estos paneles fue realizada mediante una excavación de 3 puntos en cada lado, enterrados 30 cm bajo el suelo.

La figura n° 12 muestra el sistema completo en las dependencias de APR Canteras.



*Figura n° 12 - Sistema Completo*

*Fuente: elaboración propia*

#### 4.2 Evaluación la radiación del canal a nivel zonal

Las siguientes tablas y gráficos representan los datos de radiación en canal sin paneles, obtenidos entre el 23 de agosto y 29 de septiembre de 2019, a los horarios definidos previamente. Estas mediciones consideran días con distintas características ambientales.

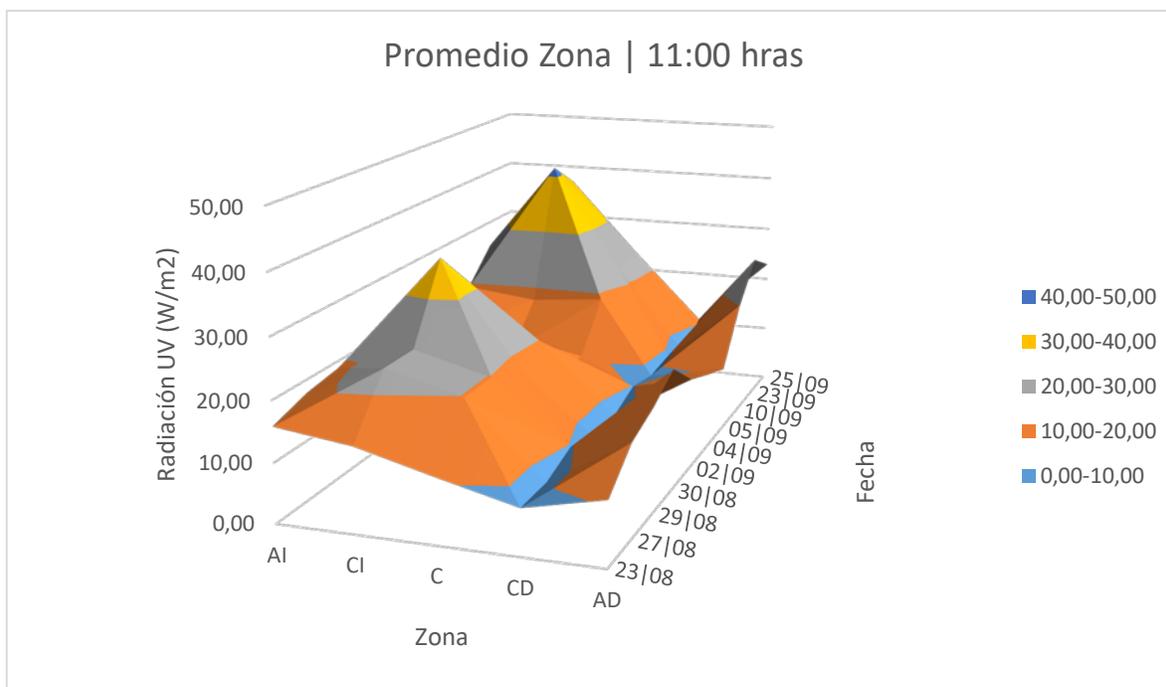
*Tabla 6 – Resultados datos radiación canal por zona, 11:00 hrs*

Fecha	AI (W/m <sup>2</sup> )	CI (W/m <sup>2</sup> )	C (W/m <sup>2</sup> )	CD (W/m <sup>2</sup> )	AD (W/m <sup>2</sup> )	PROM 11 (W/m <sup>2</sup> )
23 08	15,81	14,17	10,85	7,70	10,64	11,83
27 08	17,81	23,17	19,85	7,70	15,64	16,83
29 08	18,81	23,17	19,85	9,70	17,64	17,83
30 08	19,10	35,80	18,68	7,82	20,61	20,40
02 09	17,81	23,17	19,85	7,70	15,64	16,83
04 09	14,25	17,82	11,35	9,82	13,29	13,31
05 09	13,53	11,04	10,98	8,59	11,08	11,04
10 09	19,38	17,86	19,06	9,22	20,10	17,12
23 09	25,32	41,54	22,46	6,79	26,24	24,47
25 09	26,58	36,96	23,44	10,66	22,94	24,12

*Fuente: elaboración propia*

Tabla 6 asociada a Gráfico n° 1, representando radiación zonal en canal sin paneles a las 11:00 hrs. en 10 ocasiones. Se observan grandes variaciones en los distintos días, debido a las diferentes condiciones climáticas. Los valores más bajos del 04 y 05 de septiembre representan días completamente nublados.

Gráfico n° 1 - Radiación promedio zonal 11:00 horas



Fuente: elaboración propia

Respecto a Gráfico n° 1, se puede observar con claridad un lado débil, definido como CD. Ésta zona representa valores inferiores al 50% del promedio general zonal. A su vez, existe una zona considerablemente favorable ubicada en el lado izquierdo del canal, resultando con un promedio zonal sobre un 40% al promedio general zonal.

Tabla 7 - Resultados datos radiación canal por zona, 13:00 horas

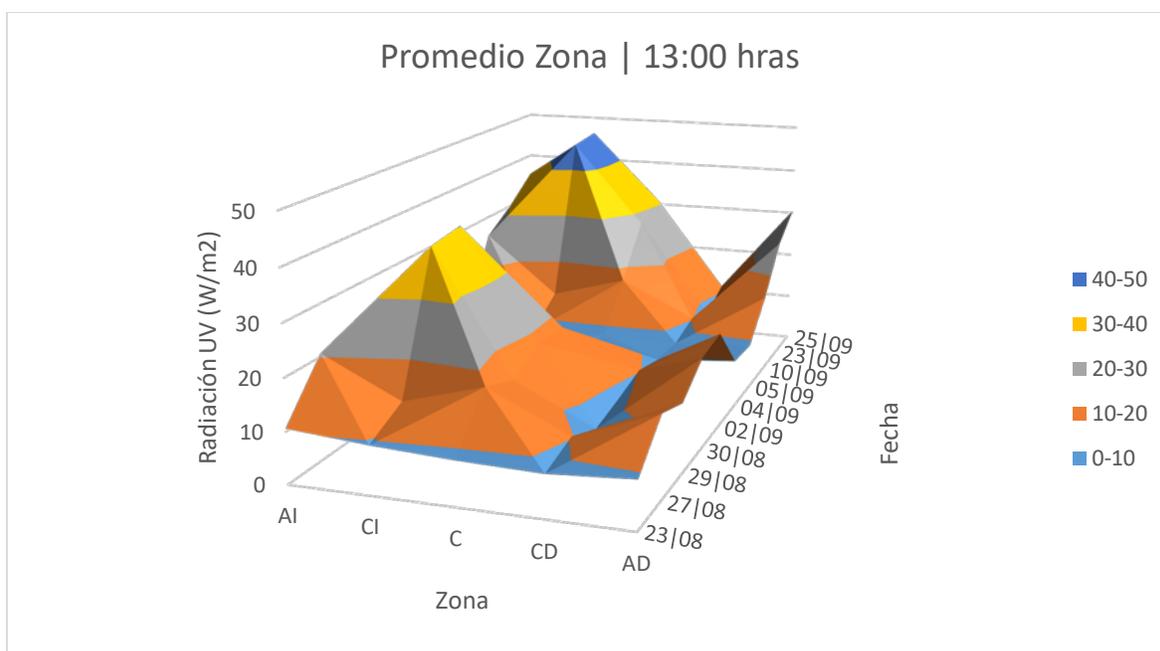
Fecha	AI (W/m <sup>2</sup> )	CI (W/m <sup>2</sup> )	C (W/m <sup>2</sup> )	CD (W/m <sup>2</sup> )	AD (W/m <sup>2</sup> )	PROM 13 (W/m <sup>2</sup> )
23 08	10,61	9,41	8,62	8,22	9,29	9,23
27 08	20,61	13,12	17,62	10,22	16,29	15,57
29 08	22,77	39,1	14,71	7,03	13,79	19,48
30 08	19,48	40,14	18,05	8,48	18,34	20,90
02 09	25,61	20,12	17,62	10,22	19,29	18,57
04 09	10,75	8,22	7,84	8,46	9,76	9,01
05 09	9,61	8,11	8,62	8,22	9,29	8,77

Fecha	AI (W/m <sup>2</sup> )	CI (W/m <sup>2</sup> )	C (W/m <sup>2</sup> )	CD (W/m <sup>2</sup> )	AD (W/m <sup>2</sup> )	PROM 13 (W/m <sup>2</sup> )
10 09	25,61	13,12	17,62	10,22	16,29	16,57
23 09	30,04	45,54	28,04	7,77	25,6	27,40
25 09	35,46	46,3	30,94	11,01	30,48	30,84

Fuente: elaboración propia

Tabla 7 asociada a Gráfico n° 2, representando radiación zonal en canal sin paneles a las 13:00 hrs. en 10 ocasiones, entre el 23 de agosto al 25 de septiembre de 2019, con condiciones ambientales diferentes. 04 y 05 de septiembre valores más bajos debido a completa nubosidad, por lo contrario, día 25 de septiembre con valores más altos debido a un día primaveral prácticamente despejado.

Gráfico n° 2 - Radiación promedio zonal 13:00 hrs



Fuente: elaboración propia

Gráfico n° 2 representa datos medidos a las 1 pm. entre el 23 de agosto y 25 de septiembre de 2019. Estos resultados, son considerados los más favorables de radiación en canal sin paneles, con un promedio superior al 2,62% sobre promedio asociado a datos de las 11 am. Se confirma zona débil CD y favorable a CI.

Tabla 8 - Resultados datos radiación canal por zona, 15:00 horas

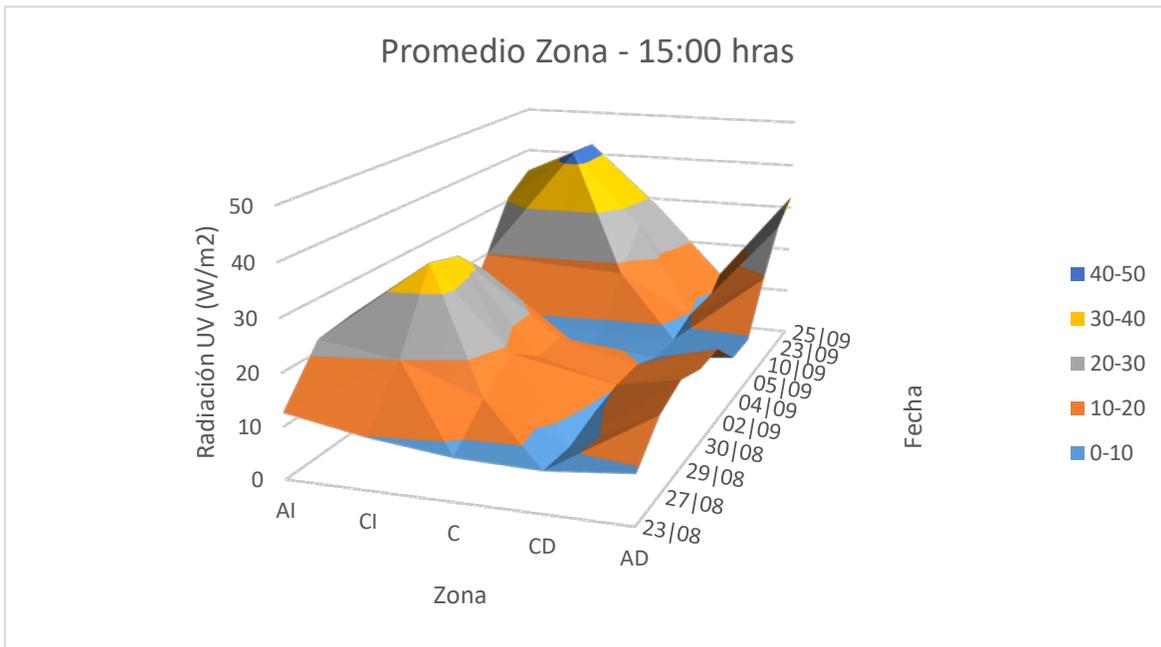
Fecha	AI (W/m <sup>2</sup> )	CI (W/m <sup>2</sup> )	C (W/m <sup>2</sup> )	CD (W/m <sup>2</sup> )	AD (W/m <sup>2</sup> )	PROM 15 (W/m <sup>2</sup> )
23 08	12,58	9,85	8,12	7,78	9,34	9,53
27 08	22,29	20,08	14,35	7,24	15,06	15,80
29 08	23,48	34,9	18,85	9,08	17,2	20,70
30 08	22,29	33,08	14,35	10,24	15,06	19,00
02 09	20,29	27,08	14,35	10,24	15,06	17,40
04 09	9,58	8,85	8,12	7,78	9,34	8,73
05 09	9,81	8,89	7,98	7,83	9,36	8,77
10 09	19,8	18,84	17,98	9,83	19,37	17,16
23 09	30,76	42,34	26,24	7,88	28,04	27,05
25 09	34,96	42,32	28,58	12,71	32,42	30,20

Fuente: elaboración propia

Tabla 8 asociada a Gráfico n° 3, representando radiación zonal en canal sin paneles a las 15:00 horas. en 10 ocasiones, entre 23 de agosto y 25 de septiembre de 2019.

Los distintos horarios (11:00, 13:00 y 15:00 horas) no generan grandes diferencias en los niveles de radiación observados en las tablas 6. 7 y 8.

Gráfico n° 3 - Radiación promedio zonal 15:00 horas



Fuente: elaboración propia

Gráfico n° 3 representa los resultados de los datos zonales a las 15:00 horas, éstos son levemente inferiores a los obtenidos a las 1 pm. Nuevamente se observa la zona débil del canal, teniendo valores bajo el 50% aproximadamente al promedio zonal.

**4.3 Evaluación de la relación de la radiación ambiental con la radiación promedio en el canal sin paneles.**

Tabla 9 - Resultados radiación en canal sin paneles

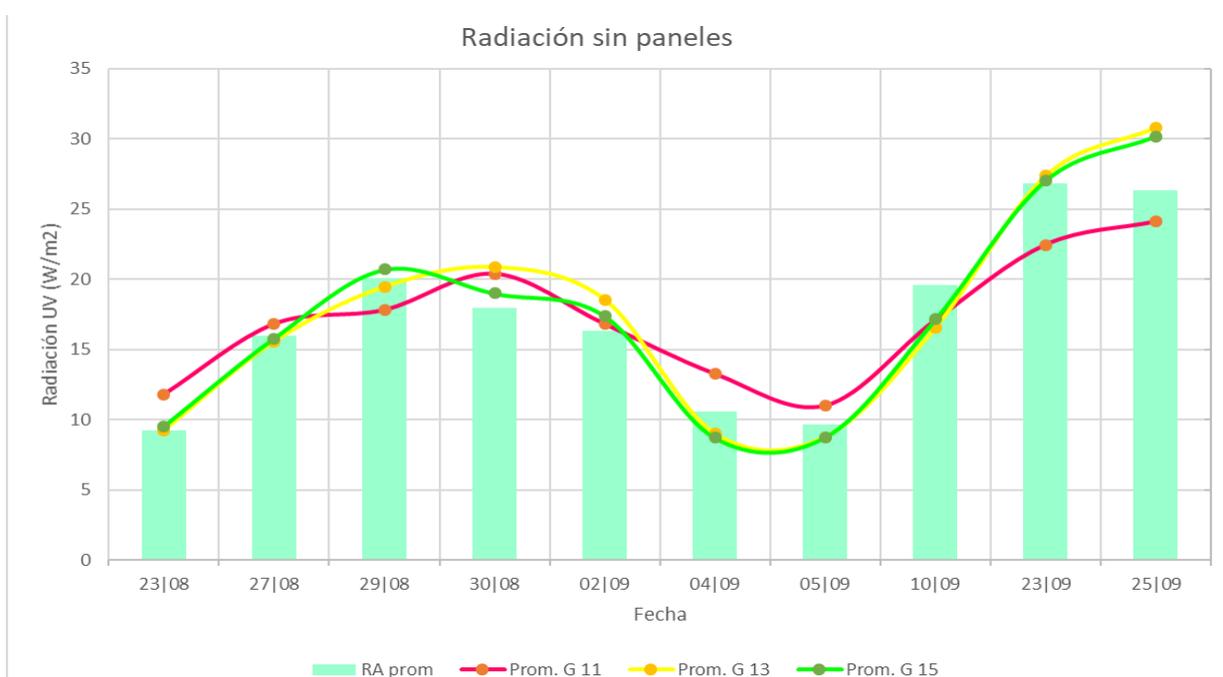
Fecha	Prom. G 11 (W/m <sup>2</sup> )	Prom. G 13 (W/m <sup>2</sup> )	Prom. G 15 (W/m <sup>2</sup> )	RA prom (W/m <sup>2</sup> )
23 08	11,83	9,23	9,53	9,22
27 08	16,83	15,57	15,80	15,98
29 08	17,83	19,48	20,70	20,11
30 08	20,40	20,90	19,00	17,97
02 09	16,83	18,57	17,40	16,32
04 09	13,31	9,01	8,73	10,61
05 09	11,04	8,77	8,77	9,7
10 09	17,12	16,57	17,16	19,59

Fecha	Prom. G 11 (W/m <sup>2</sup> )	Prom. G 13 (W/m <sup>2</sup> )	Prom. G 15 (W/m <sup>2</sup> )	RA prom (W/m <sup>2</sup> )
23 09	22,47	27,40	27,05	26,83
25 09	24,12	30,84	30,20	26,33

Fuente: elaboración propia

La tabla n° 9 muestra los resultados de los promedios generales en los distintos horarios definidos, representados en el gráfico n° 4.

Gráfico n° 4 - Radiación sin paneles



Fuente: elaboración propia

El gráfico n° 4 representa la radiación del sistema sin paneles en distintos horarios, considerando 10 fechas distintas entre agosto y septiembre de 2019. Se puede observar la poca variación en los valores a distintos horarios, sin embargo, el promedio de las 13:00 hrs es levemente superior a los demás.

En las distintas fechas, existe una gran variación de valores, teniendo los valores más bajos el 04 y 05 de septiembre, días completamente nublados, contrarios a los más altos, obtenidos en días soleados y primaverales.

#### 4.4 Evaluación de la relación de la radiación ambiental con la radiación promedio en el canal en distintas condiciones.

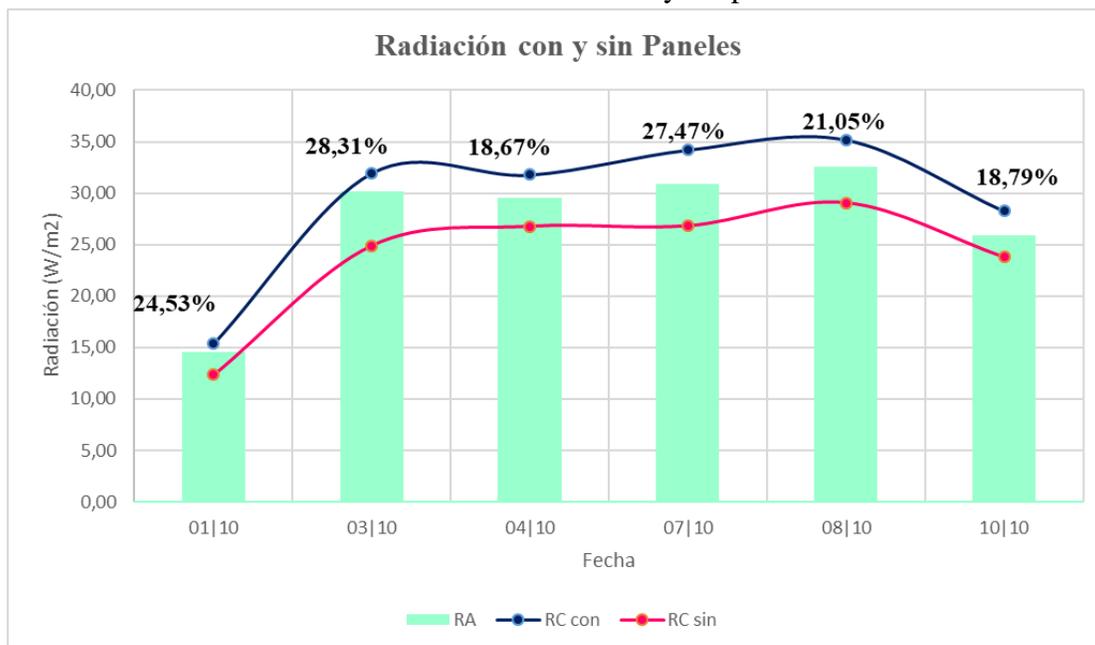
Tabla 10 - Radiación canal con y sin paneles

Fecha	RC con (W/m <sup>2</sup> )	RC sin (W/m <sup>2</sup> )	RA (W/m <sup>2</sup> )	P-SP %	P-A%
01 10	15,38	12,35	14,56	24,53	5,63
03 10	31,95	24,90	30,17	28,31	5,90
04 10	31,78	26,78	29,50	18,67	7,73
07 10	34,20	26,83	30,88	27,47	10,75
08 10	35,19	29,07	32,57	21,05	8,04
10 10	28,26	23,79	25,87	18,79	9,24

Fuente: elaboración propia

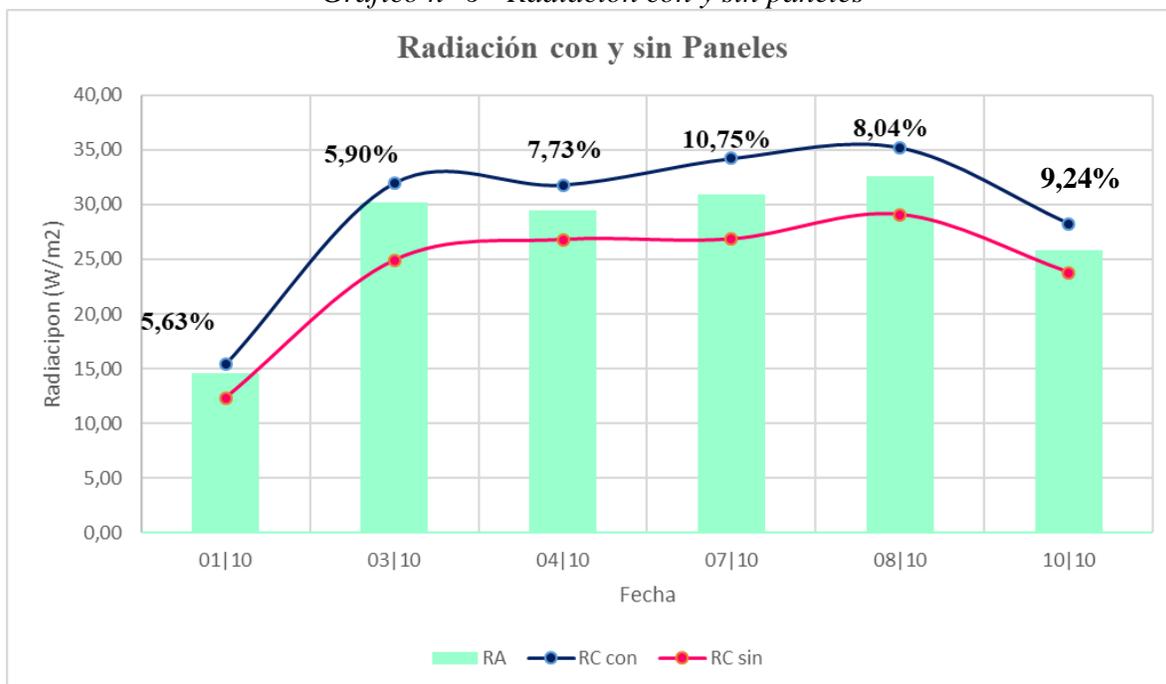
Tabla 10 contiene los datos de radiación en canal con paneles (RC con), radiación en canal sin paneles (RC sin), radiación ambiental (RA), porcentaje de variación entre sistema con y sin paneles (P-SP%) y porcentaje de resultados de radiación con paneles y radiación ambiental (P-A%). Resultados obtenidos entre el 01 y 10 de octubre de 2019.

Gráfico n° 5 - Radiación con y sin paneles



Fuente: elaboración propia

Gráfico n° 6 - Radiación con y sin paneles



Fuente: elaboración propia

Gráficos n° 5 y Gráfico n° 6 representa los resultados del sistema con y sin paneles. En todas las ocasiones la radiación en el canal con paneles es superior a la radiación ambiental y la radiación en el canal sin paneles.

Los porcentajes del gráfico n° 5 representan la variación porcentual en el sistema con y sin paneles, donde ésta se encuentra entre 18,67% y 28,31%.

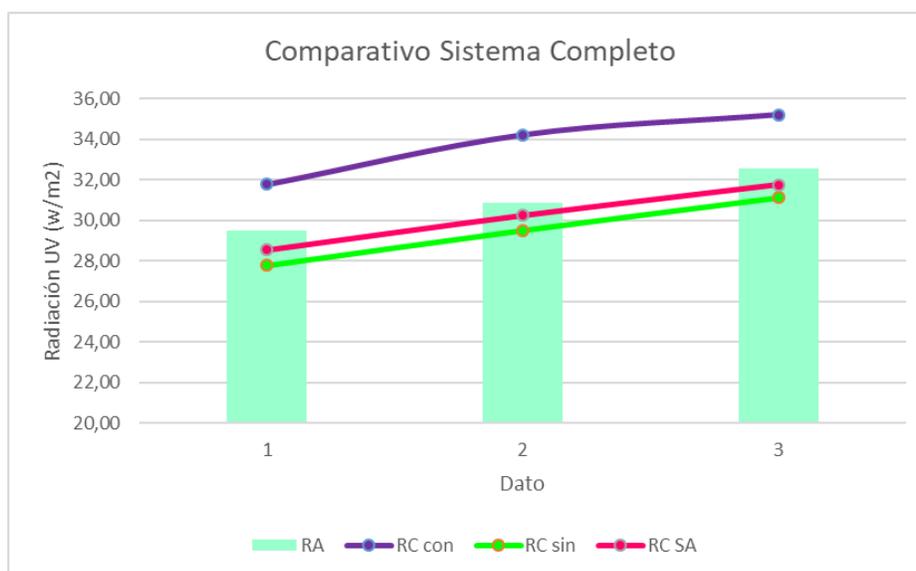
Los porcentajes del gráfico n° 6 están asociados a la variación porcentual existente entre el sistema con paneles y la radiación ambiental, donde en todas las ocasiones es superior a un 5.63%.

Tabla 11 - Resultados Comparativo 3 condiciones

RC con (W/m²)	RC sin (W/m²)	RC SA (W/m²)	RA (W/m²)	P-RC.SA %	A-RC.SA%
31,78	27,78	28,53	29,50	11,39	3,29
34,20	29,50	30,23	30,88	13,12	2,09
35,19	31,10	31,75	32,57	10,82	2,51

Fuente: elaboración propia

Gráfico n° 7 - Comparativo Sistema en 3 condiciones



Fuente: elaboración propia

Gráfico n° 7 asociado a tabla 11, donde son representados los datos de 3 ocasiones con 3 condiciones distintas. De esta forma, se corrobora la utilización de los paneles y aletas en el sistema, ya que por sí solas, no representan un gran aporte. Por el contrario, al ser utilizadas en conjunto se potencian, obteniendo valores óptimos superiores a por si solos y superiores a la radiación ambiental.

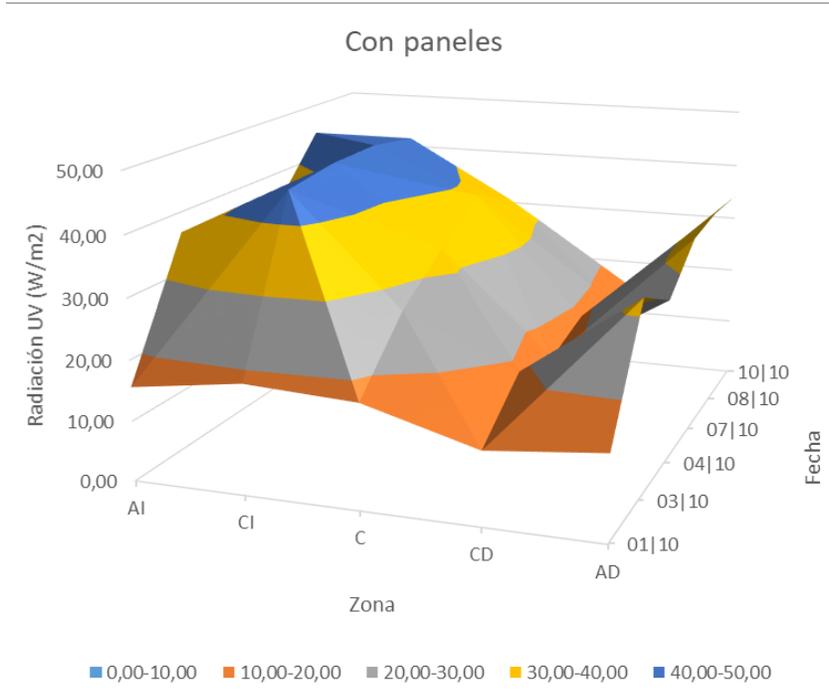
Tabla 12 - Resultados Radiación con Paneles a Nivel Zonal

Fecha	AI (W/m2)	CI (W/m2)	C (W/m2)	CD (W/m2)	AD (W/m2)
01 10	15,59	18,18	17,23	12,01	13,92
03 10	36,64	44,98	26,88	18,86	32,38
04 10	36,24	46,20	32,94	16,02	27,48
07 10	33,94	46,32	38,52	18,49	33,72
08 10	44,76	44,74	34,58	17,20	34,66
10 10	36,24	28,62	27,23	15,06	34,17

Fuente: elaboración propia

Resultados de los datos en canal con paneles obtenidos entre el 01 y 10 de octubre de 2019, tabulados a nivel zonal y representados en el gráfico n° 8.

Gráfico n° 8 - Radiación zonal con paneles



Fuente: elaboración propia

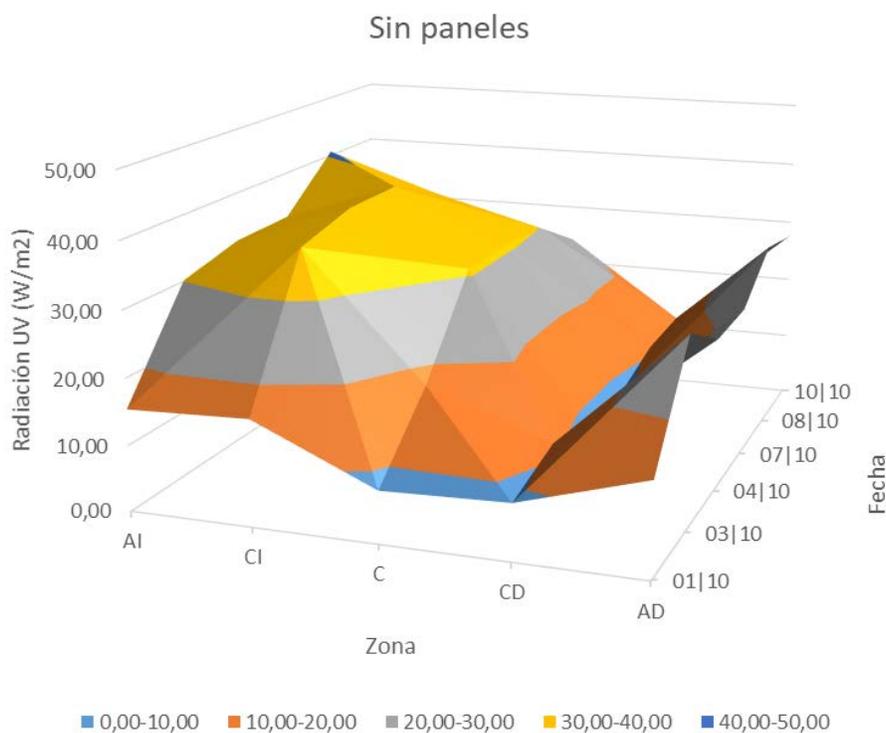
Tabla 13 - Resultados Radiación sin Paneles a Nivel Zonal

Fecha	AI (W/m <sup>2</sup> )	CI (W/m <sup>2</sup> )	C (W/m <sup>2</sup> )	CD (W/m <sup>2</sup> )	AD(W/m <sup>2</sup> )
01 10	15,39	16,02	7,84	8,46	14,04
03 10	30,12	36,64	17,67	11,08	28,98
04 10	32,46	39,00	30,94	8,01	23,50
07 10	32,66	39,00	30,94	8,03	23,50
08 10	40,64	34,64	29,78	10,84	29,46
10 10	28,84	27,13	24,14	11,34	27,52

Fuente: elaboración propia

Resultados de los datos de radiación en sistema sin paneles obtenidos entre el 01 y 10 de octubre de 2019, tabulados a nivel zonal y representados en el gráfico n° 9.

Gráfico n° 9 - Radiación zonal sin paneles



*Fuente: elaboración propia*

Gráfico n° 8 y n° 9 son comparativos a nivel zonal del sistema con y sin paneles respectivamente. Visualmente se nota la gran diferencia que generan los paneles, zona CD (la más débil), logra valores sobre un 30% respecto al sistema sin paneles. Por otra parte, la zona CI se ve aún más potenciada, superando los 40 W/m<sup>2</sup>.

## **5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES**

La radiación medida en el canal sin paneles, se aproxima a la radiación ambiental. Se obtiene un valor promedio de un 0,9% mayor respecto a las radiaciones ambientales.

En el canal sin paneles, la radiación medida alcanza un valor máximo de un 11% por sobre la radiación ambiental y un valor mínimo de un 13 % por debajo de la misma.

Los distintos horarios no muestran grandes diferencias en los rangos de radiación, sin embargo, se observa un leve aumento a las 13:00 horas . Un 2,62% superior al promedio de las 11:00 horas y 1,09% respecto a las 15:00horas.

La zona más favorable es el costado izquierdo, la cual recibe una mayor radiación solar debido a la posición frontal al sol.

La instalación de paneles laterales, genera un aumento que oscila entre un 18,67% a un 28,31% sobre la radiación del canal sin paneles.

La radiación del canal con paneles, en todas las ocasiones es superior a la radiación ambiental, variando entre un 5,63% y 10,75%. De esta forma, se confirma la re-reflexión . entre los paneles y las paredes del canal.

## 6. CAPÍTULO VI: REFERENCIAS

- Aguirre, P., García, J., & Mujeriego, R. (2004). *Desinfección con cloro y luz UV en un proceso convencional de regeneración de agua*. Rev Ingeniería del Agua. Vol. 11 75-89pp.
- Alarcón, M., Zurita, F., Lara-Borrero, J., & Vidal, G. (2018). *Humedales de tratamiento: Una alternativa de saneamiento de aguas residuales aplicable en América Latina*. Bogotá.
- Barañaño, P. A., & Tapia, L. A. (Julio de 2004). Tratamiento de las Aguas Servidas: Situación en Chile. *Domestic wastewater treatment: the chilean situation*. Santiago, Chile.
- Chaidez, C., Soto, M., Martínez, C., & Medrano, A. (2008). Actividad Bactericida del KMnO<sub>4</sub> en Agua Superficial para el Riego de Campos Agrícolas. *Agua Latinoamérica*, 1-2.
- Cortés Nodarse, D., & Montalvo Martínez, D. (2010). *Aguas: calidad y contaminación*. Santiago.
- Crites, R., & Tchonobanoglous, G. (1998). *Small and Decentralized Wastewater Management Systems*. McGraw-Hill.
- Curt, M. D. (2005). *Manual de Fitodepuración*. Madrid.
- CYTED. (2001). *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamiento avanzados de aguas residuales domésticas*.
- Diehl, S., & Jeppsson, U. (1998). A model of the settler coupled to the biological reactor. *Water Resources*. Vol. 32 331-342pp.
- Dominguez, R. (06 de Diciembre de 2012). *Limitaciones del Efecto Germinicida del la Radiación Solar*. Obtenido de Scribd: <https://es.scribd.com/doc/115705292/Limitaciones-Radiacion-Solar-Agua-Consumo-Humano>
- Eckenfelder, W. (2000). *Industrial Pollution Control*. Boston: McGraw-Hill.
- Environmental Protection Agency. (09 de 1998). Small systems compliance technology list for the surface water treatment rule and total Coliform rule. EPA.
- Fundación Chile. (2016). *Aguas Residuales como nueva fuente de agua*. Santiago - Valparaíso.
- Gaudy, A., & Gaudy, E. (1971). *Biological Concepts for Design and Operation of the Activated Sludge Process*. Washington D.C: Environmental Protection Agency.

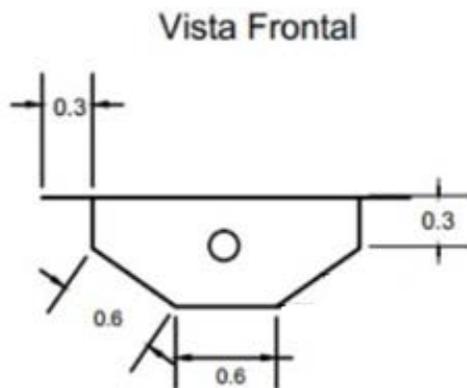
- Instituto Politécnico Nacional. (Diciembre de 2016). Uso del Cloro en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas. Ciudad de México, México.
- Leal, M., Bandala, E., Gelover, S., & Pérez, S. (1999). Trihalometanos en agua para consumo humano. Jiutepec, México: Instituto mexicano de tecnología del agua.
- Madigan, M., Martinko, J., & Parker, J. (2004). *Brock. Biología de los microorganismos*. Madrid: Pearson.
- Meierhofer, R., & Wegelin, M. (2003). Desinfección solar del agua "Guía de aplicación". *Programa de agua y Saneamiento*.
- Mendoza, & Vera. (2010). *Formación de trihalometanos y la manera más factible de su eliminación en el sistema de agua potable*. Ecuador: Universidad Técnica de Manabí.
- Metcalf & Eddy. (2003). *Ingeniería de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid: McGraw-Hill.
- Metcalf & Eddy, i. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. Madrid: McGraw-Hill.
- Ministerio Secretaría General de la Presidencia. (03 de 07 de 2001). Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales. *Decreto 90*. Santiago, Chile. Obtenido de <http://bcn.cl/1v03z>
- Oakley, S. (2005). *Lagunas de estabilización en Honduras; manual, diseño, construcción, operación y mantenimiento, monitoreo y sostenibilidad*. Honduras: Red Regional de Agua y Saneamiento de centro america.
- ONU. (2017). *Las aguas residuales: el recurso desaprovechado*. Italia: WWAP.
- Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía para el mejoramiento de la calidad del agua a nivel casero*. Lima.
- Pancorbo, F. (2009). *Desinfección del Agua Mediante Procedimientos Electrofísicos Cobre/Plata*. Obtenido de <https://drive.google.com/file/d/0Byue8josyXkOM2VIOTY5ODctNjcyMS00Yjg3LTgwMjYtMzM2NjdiZWFiNWl0/view?pli=1>
- Pérez Calvo, M. (2013). *Tratamientos con Ozono*. Madrid: Cosemar Ozono.
- Pérez López, J., & Espigares García, M. (1955). *Desinfección del Agua. Cloración*. Obtenido de <http://cidta.usal.es/cursos/ETAP/modulos/libros/CLORACION.pdf>
- Ram, N., Christman, R., & Cantor, K. (1990). *Significance and Treatment of Volatile Organic Compounds in Water Supplies*. CRC Press.
- Ramalho, R. S. (2003). *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona, España: Reverté, S.A.

- Reyes López, M. G. (Diciembre de 2016). *Uso del Cloro en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas*. Ciudad de México, México: Instituto Politécnico Nacional.
- Rodier, J. (1998). *Análisis de las Aguas: aguas naturales, aguas residuales. agua de mar: química, fisicoquímica, bacteriología, biología*. Barcelona: Omega.
- Romero Rojas, J. A. (1999). *Calidad del agua*. D.F. México: Alfaomega.
- Romero Tous, M. (2009). *Energía solar térmica*. Barcelona, España: CEAC.
- Seoánez Calvo, M. (2005). *Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- SISS. (2017). *Informe de Gestión del Sector Sanitario*.
- Tipler, P., & Mosca, G. (2003). *Física para la ciencia y la tecnología Vol 2B*. Reverté.

## 7. ANEXOS

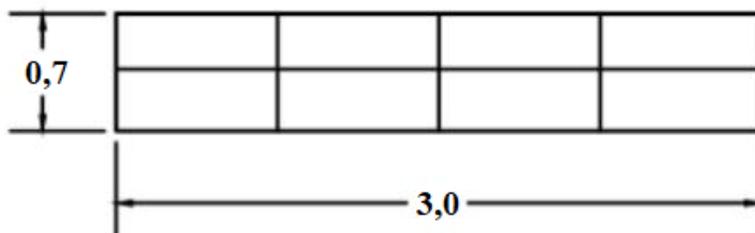
### Anexo n° 1 – Dimensiones canal

\*Unidades en metros\*

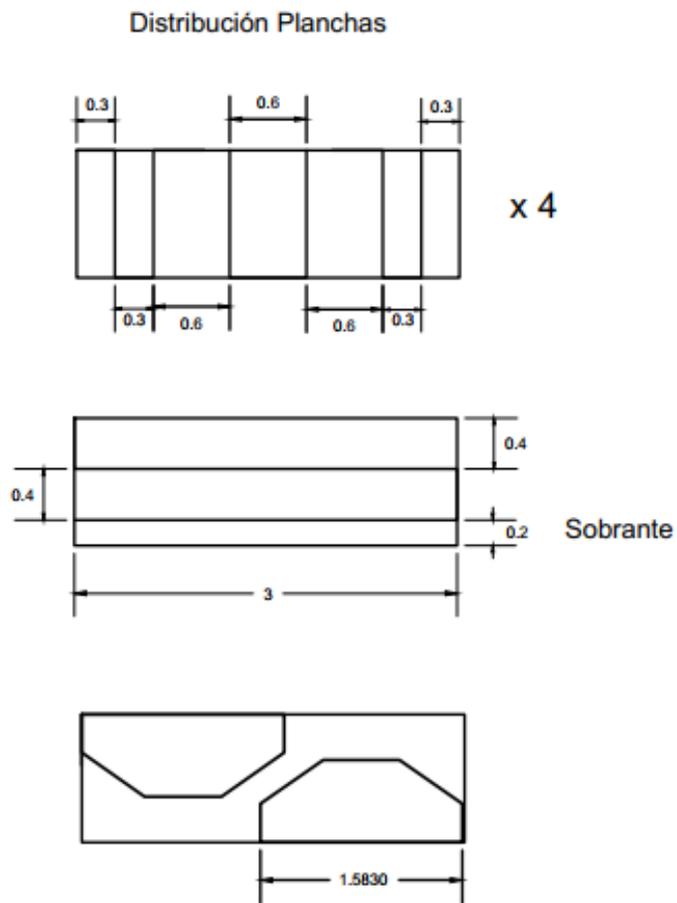


*Figura n° 13 - Vista Frontal Sistema  
Fuente: elaboración propia*

### Vista Lateral



*Figura n° 14 - Vista Lateral Sistema  
Fuente: elaboración propia*



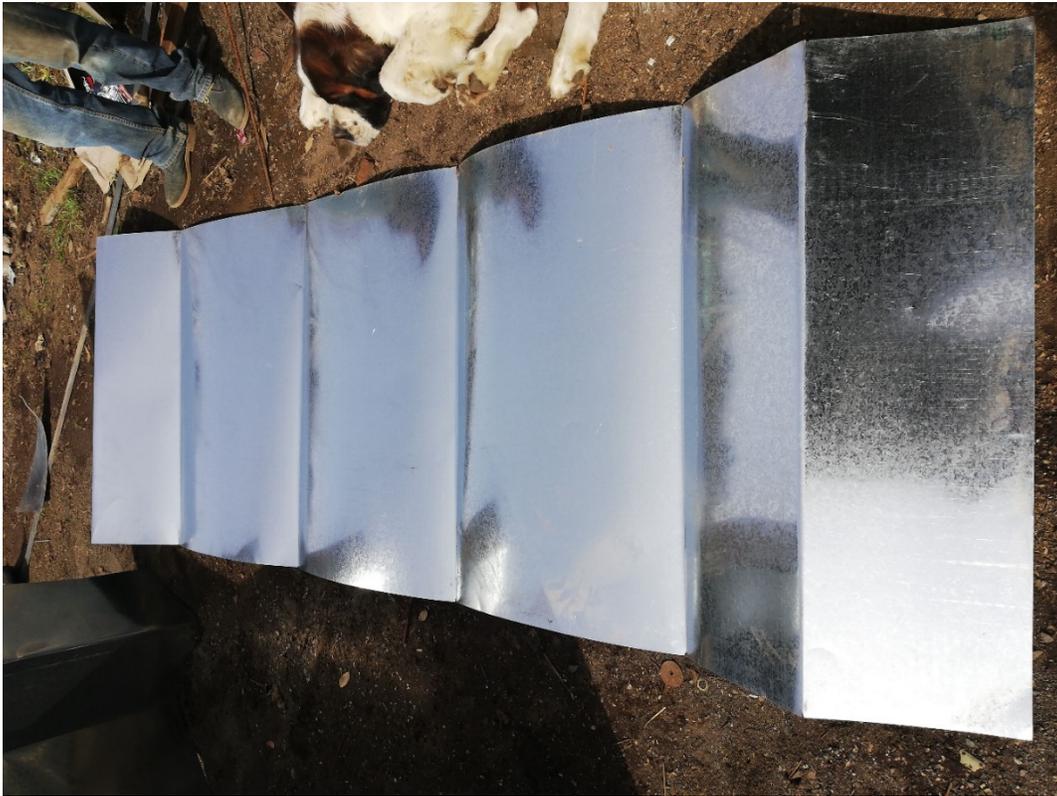
*Figura n° 15 - Distribución de Planchas*  
*Fuente: elaboración propia*

### **Anexo n°2 – Plegado, excavación e instalación**

Plegado:



*Figura n° 16 - Sistema de Plegado*  
*Fuente: elaboración propia*



*Figura n° 17 - Plancha Plegada*  
*Fuente: elaboración propia*

Excavación:



*Figura n° 18 – Excavación*  
*Fuente: elaboración propia*

Instalación:



*Figura n° 19 - Instalación Planchas*  
*Fuente: elaboración propia*



*Figura n° 20 - Sistema sin Paneles*  
*Fuente: elaboración propia*

**Anexo n° 3 – Sensor radiación**

Sensor UV light meter PUV – 360



*Figura n° 21 – Sensor  
Fuente: Inspect USA*

Especificaciones sensor

Display	LCD size : 28 mm x 19 mm.
Measurement ranges & resolution	<p>Range 1 : 2,000 <math>\mu\text{W}/\text{cm}^2</math> :                      1999 <math>\mu\text{W}/\text{cm}^2</math> x 1 <math>\mu\text{W}/\text{cm}^2</math></p> <p>Range 2 : 20 <math>\text{mW}/\text{cm}^2</math> :                      19.99 <math>\text{mW}/\text{cm}^2</math> x 0.01 <math>\text{mW}/\text{cm}^2</math></p> <p>* Auto range</p>
UV sensor spectrum	Band pass 290 nm to 390 nm.
Accuracy	<p><math>\pm ( 4 \% \text{ FS} + 2 \text{ dgt} )</math>.      FS : full scale</p> <p>* Calibration is executed under the UVA light &amp; and compare with the standard UVA light meter.</p> <p>* Spec. tested under the environment RF Field Strength less than 3 V/M &amp; frequency less than the 30 MHz only.</p>
Sensor structure	The exclusive UV photo sensor with the cosine correction filter.
Circuit	Custom single-chip microprocessor LSI circuit.
Buttons	Power button, Hold button, REC ( record ) button.
Sample Time	Approx. 1 sec.
Over Range indication	Indication of " - - - - ".
Power off	Auto shut off saves battery life.
Weight	190 g/ 0.2 LB.
Operating Temperature	0 to 50 °C.
Operating Humidity	Less than 85% R.H.
Power Supply	DC 1.5 V battery ( UM4/AAA ) x 4 PCs.
Power Consumption	Approx. DC 5.5 mA.

