



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESINFECCIÓN PARA AGUA DE
CONSUMO HUMANO, BASADO EN ENERGÍA TERMOSOLAR Y
LUZ UV DE FUENTE FOTOVOLTAICA, MEDIANTE EVALUACIÓN
DEL PARÁMETRO INDICADOR DE CONTAMINACIÓN
MICROBIANA, COLIFORMES TOTALES”**

Trabajo de titulación presentado para optar el grado académico de:
INGENIERA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL

AUTORA: MARCELA LIZET QUIROLA RIVADENEYRA

TUTOR: DR. CELSO RECALDE MORENO

Riobamba – Ecuador

2017

©2017, Marcela Lizet Quirola Rivadeneyra

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA CIENCIAS QUÍMICAS

El Tribunal de Titulación certifica que: el trabajo de titulación “DISEÑO DE UN SISTEMA DE DESINFECCIÓN PARA AGUA DE CONSUMO HUMANO, BASADO EN ENERGÍA TERMOSOLAR Y LUZ UV DE FUENTE FOTOVOLTAICA, MEDIANTE EVALUACIÓN DEL PARÁMETRO INDICADOR DE CONTAMINACIÓN MICROBIANA, COLIFORMES TOTALES”, de responsabilidad de la señorita Marcela Lizet Quirola Rivadeneyra, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizada su presentación.

Dr. Celso Guillermo Recalde Moreno	_____	19 de mayo del 2017
Director del Trabajo de	Firma	Fecha
Titulación		

Ing. Sofía Carolina Godoy Ponce	_____	19 de mayo del 2017
Asesora del Trabajo de	Firma	Fecha
Titulación		

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Marcela Lizet Quirola Rivadeneyra, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciado. Como autora, asumo la responsabilidad legal y académicas de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 19 de mayo 2017

Marcela Lizet Quirola Rivadeneyra

C.I. 150059819-6

Yo, Marcela Lizet Quirola Rivadeneyra, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Proyecto de Titulación y el patrimonio intelectual del Proyecto de titulación, pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

MARCELA LIZET QUIROLA RIVADENEYRA

DEDICATORIA

A Dios, familiares y amigos por su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera siendo un pilar fundamental de aprendizaje y experiencias y especialmente a José Ángel por otorgarme el título más importante ... siempre en mi mente y en mi corazón.

Marcela

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermanos, pero especialmente a mi Marcelita por brindarme su apoyo incondicional para alcanzar mis metas siendo un ejemplo de lucha y perseverancia.

A la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO Facultad de Ciencias, en especial a mi escuela de CIENCIAS QUÍMICAS por brindarme experiencias y conocimientos que me forjaran como futura profesional.

Al Dr. Celso Recalde y a la Ing. Sofía Godoy por brindarme su invaluable tiempo y conocimiento para poder culminar con este proyecto de titulación.

A mis amigos por acompañarme a lo largo de la vida universitaria haciendo de este una excelente e inolvidable experiencia de hermandad, compañerismo y apoyo incondicional de una u otra manera para culminar de manera exitosa la carrera.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

INEC = Instituto Nacional de Estadística y Censo

OMS = Organización Mundial de la Salud

SPD = Subproductos de desinfección

UV = Ultravioleta

UFC = Unidades formadoras de colonia

W = Watts, unidad de potencia

lla = Nivel de servicio

Q_m = Caudal medio (L/s)

f = Factor de fugas

P = Población (hab)

D = Dotación (L/hab*día)

QMD = Caudal máximo diario (L/s)

ω = Ángulo horario

A = Área (m²)

R = Resistencia (m°K/W)

q = Flujo de calor

$Q_{incidente}$ = Calor incidente

I_p = Radiación incidente promedio (W/m²)

α_s = Factor de corrección

τ = Transmisividad

α = Absortividad

ρ_d = Reflectancia difusa

λ = Coeficiente de transmisión calorífica del material (W/mK)

k = Transmitancia térmica (W/m²K)

H = pérdidas de calor

U_{Lr} = coeficiente de pérdidas de calor por radiación (W/m²K)

T_c = Temperatura de la cubierta de los tubos al vacío

T_a = Temperatura ambiente

ε = emisividad de la superficie del equipo

σ = constante de Stefan- Boltzmann

η = Eficiencia

Q_u = Calor útil

D = Dosis de exposición (Ws/m²)

I = intensidad de la lámpara (W)

t_{exp} = tiempo de exposición (s)

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	vii
TABLA DE CONTENIDO	ix
INDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE CUADROS.....	xiv
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1
JUSTIFICACIÓN.....	3
OBJETIVOS.....	4
CAPÍTULO I.....	5
1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1. Antecedentes	5
1.2. Marco conceptual	7
1.2.1. <i>Energía Solar</i>	7
1.2.2. <i>Radiación</i>	7
1.2.3. <i>Radiación ultravioleta (UV)</i>	9
1.2.4. <i>Recurso solar en el Ecuador</i>	16
1.2.5. <i>Sistemas de captación de la energía solar</i>	17
1.2.6. <i>Tratamientos empleados en el agua</i>	27
1.2.7. <i>Parámetros indicadores microbiológicos en el agua</i>	29
1.2.8 <i>Eliminación de patógenos en el agua mediante temperatura y radiación UV</i>	32
CAPITULO II.....	35
2. PARTE EXPERIMENTAL	35
2.1. Metodología	35
2.1.1. <i>Evaluación del dispositivo termosolar en la desinfección de coliformes totales presentes en el agua</i>	35

2.1.2.	<i>Cálculo del tiempo de exposición del agua dentro del dispositivo termosolar mediante la aplicación de una lámpara de UV-C germicida con potencia de 40W en la desinfección de coliformes totales.</i>	43
2.1.3.	<i>Dimensionamiento del sistema de desinfección solar</i>	44
CAPITULO III		49
3.	MARCO DE RESULTADOS, ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS	49
3.1.	Conducta del dispositivo termosolar en la desinfección de coliformes totales	49
3.1.1.	<i>Eficiencia térmica del dispositivo termosolar</i>	49
3.1.2.	<i>Monitoreo de las temperaturas alcanzadas por el dispositivo termosolar</i>	51
3.1.3.	<i>Conducta meteorológica nubosidad del Ecuador (1990-2012)</i>	58
3.1.4.	<i>Resultados del análisis microbiológico de coliformes totales en el agua</i>	66
3.2.	Tiempo de desinfección del agua dentro del dispositivo termosolar usando lámparas de UV-C germicida	67
3.3.	Dimensionamiento del sistema de desinfección para agua de consumo humano, basado en energía termosolar y luz UV de fuente fotovoltaica	67
CONCLUSIONES		70
RECOMENDACIONES		72
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

INDICE DE FIGURAS

Figura 1-1: Espectro de UV-C en la radiación electromagnética	10
Figura 2-1: Curva espectral de la energía para la acción germicida y la energía espectral de las lámparas UV de la presión baja y media	11
Figura 3-1: Resultados experimentales del efecto de la radiación en el tiempo	13
Figura 4-1: Formas de captación directa de la energía solar	18
Figura 5-1: Colector de placa plana	19
Figura 6-1: Sistema cerrado de evaporación-condensación	20
Figura 7-1: Tubo de vacío (Heat Pipe)	21
Figura 8-1: Tubo de vacío de flujo directo.....	21
Figura 9-1: Captadores planos sin cubierta	22
Figura 10-1: Efecto fotovoltaico	25
Figura 11-1: Curvas de comportamiento de la célula solar.....	26
Figura 12-2: Diagrama del circuito de la termocupla tipo K y el sensor LM35.....	40
Figura 13-2: Diagrama del sistema de generación eléctrica fotovoltaica	48
Figura 14-3: Temperaturas alcanzadas en el calentador solar 9 de Mayo del 2016	51
Figura 15-3: Temperaturas alcanzadas en el calentador solar 11 de Mayo del 2016	51
Figura 16-3: Temperaturas alcanzadas en el calentador solar 12 de Mayo del 2016	52
Figura 17-3: Temperaturas alcanzadas en el calentador solar 13 de mayo del 2016.....	52
Figura 18-3: Temperaturas alcanzadas en el calentador solar 18 de mayo del 2016.....	53
Figura 19-3: Temperaturas alcanzadas en el calentador solar 1 de junio del 2016	53

Figura 20-3: Gráfico de Nubosidad ENERO.....	58
Figura 21-3: Gráfico de Nubosidad FEBRERO.....	59
Figura 22-3: Gráfico de Nubosidad MARZO.....	59
Figura 23-3: Gráfico de Nubosidad ABRIL.....	60
Figura 24-3: Gráfico de Nubosidad MAYO.....	60
Figura 25-3: Gráfico de Nubosidad JUNIO.....	61
Figura 26-3: Gráfico de Nubosidad JULIO.....	61
Figura 27-3: Gráfico de Nubosidad AGOSTO.....	62
Figura 28-3: Gráfico de Nubosidad SEPTIEMBRE.....	62
Figura 29-3: Gráfico de Nubosidad OCTUBRE.....	63
Figura 30-3: Gráfico de Nubosidad NOVIEMBRE.....	63
Figura 31-3: Gráfico de Nubosidad DICIEMBRE.....	64
Figura 32-3: Gráfico de Nubosidad de los años 1990 hasta el 2012, estaciones meteorológicas Cebadas, Guaslán y Riobamba Politécnica.....	64
Figura 33-3: Gráfico del Promedio de Nubosidad de los años 1990 hasta el 2012, estaciones meteorológicas Cebadas, Guaslán y Riobamba Politécnica.....	65
Figura 34-A: Mapa de Insolación Global Enero.....	22
Figura 35-A: Mapa de Insolación Global Febrero.....	22
Figura 36-A: Mapa de Insolación Global Marzo.....	23
Figura 37-A: Mapa de Insolación Global Abril.....	23
Figura 38-A: Mapa de Insolación Global Mayo.....	24

Figura 39-A: Mapa de Insolación Global Junio	24
Figura 40-A: Mapa de Insolación Global Julio	25
Figura 41-A: Mapa de Insolación Global Agosto.....	25
Figura 42-A: Mapa de Insolación Global Septiembre	26
Figura 43-A: Mapa de Insolación Global Octubre	26
Figura 44-A: Mapa de Insolación Global Noviembre	27
Figura 45-A: Mapa de Insolación Global Diciembre	27
Figura 46-A: Mapa de Insolación Global Promedio.....	28

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1-1: Clasificación de los captadores solares fotovoltaicos	23
Cuadro 2-1: Tipos de células fotovoltaicas.....	24
Cuadro 3-1: Temperatura y tiempo de exposición para la eliminación de patógenos	32
Cuadro 4-2: Características del dispositivo termolar.....	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1: Clasificación y rango de longitud de onda (λ) de la radiación ultravioleta (UV)	10
Tabla 2-1: Dosis de inactivación de microorganismos en agua con radiación ultravioleta (UV)....	33
Tabla 3-2: Ficha de recolección de muestras del agua en el dispositivo solar	41
Tabla 4-3: Resistencias térmicas por convección de los tubos al vacío y geometría cilíndrica	49
Tabla 5-3: Cálculos de eficiencia térmica del dispositivo.....	50
Tabla 6-3: Resultados de las temperaturas alcanzadas por el dispositivo termosolar en 8 horas	54
Tabla 7-3: Reporte de los análisis microbiológicos	66
Tabla 8-3: Tiempo de exposición del agua a luz UV-C mediante la dosis de inactivación según el tipo de microorganismo.....	67
Tabla 9-3: Dotaciones de agua según el nivel de servicio.....	67
Tabla 10-3: Estimación de consumo diario de las lámparas de UV-C.....	68
Tabla 11-3: Cálculos de dimensionamiento del sistema fotovoltaico.....	68

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A Dispositivo termosolar y lámparas de UV-C germicida	6
ANEXO B Análisis microbiológico de coliformes totales en el agua.....	7
ANEXO C Resultados de los análisis microbiológicos en las PLACAS PETRIFILM 3M	8
ANEXO D Calidad del agua en zonas rurales “CALIAGUA DHP”	9
ANEXO E CPE INEN 005-9-2 CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN. (C.E.C) DISEÑO DE INSTALACIONES SANITARIAS: CÓDIGO DE PRÁCTICA PARA EL DISEÑO DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS EN EL ÁREA RURAL	10
ANEXO F Plano del sistema de desinfección para agua de consumo humano, basado en energía termosolar y luz UV de fuente fotovoltaica.....	21
ANEXO G Mapas de insolación global del Ecuador	22

RESUMEN

Se diseñó un sistema de desinfección para agua de consumo humano, basado en energía termosolar y luz UV de fuente fotovoltaica, mediante la evaluación del parámetro indicador de contaminación microbiana, coliformes totales. El sistema suministra agua segura sin el requerimiento de tratamientos químicos para potabilizarla, especialmente en las zonas rurales donde su uso es inadecuado debido a la falta de capacitación técnica que involucra un riesgo en la formación de subproductos mutágenos y cancerígenos. La metodología aplicada para el diseño se basa en la determinación de la eficiencia térmica del módulo, el monitoreo de las temperaturas alcanzadas por el agua, el recuento de Coliformes Totales aplicando la técnica de placa Petrifilm 3M, la evaluación de la nubosidad como factor incidente de insolación, la determinación del tiempo de exposición del agua a las lámparas de UV de longitud de onda de 253.7 nm con una potencia de 40 W y fuente fotovoltaica, por lo que se identificó el potencial solar aprovechable para generación eléctrica en el Ecuador. El dimensionamiento del sistema de desinfección se diseñó para un caudal máximo diario de $2,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ en zonas rurales, sustentado por la energía termosolar del módulo con una eficiencia térmica del 46% y temperaturas máximas promedios de 41°C en un lapso de 8 horas. Los resultados del recuento microbiológico indicaron que el módulo al alcanzar temperaturas de 55°C reportaron 0 UFC y en $33^\circ\text{C} > 10 \text{ UFC}$, por lo tanto, se combinó con la desinfección UV con un tiempo de exposición máximo de 26 segundos para un volumen de $0,2 \text{ m}^3$ y una dosis de inactivación de $45 \text{ Ws}/\text{m}^2$. El tiempo de desinfección en las zonas rurales fue de 40 minutos aproximadamente. Se recomienda que la desinfección se realice de forma combinada con la energía térmica y lámparas de luz ultravioleta.

Palabras claves: <INGENIERIA Y TECNOLOGÍA QUÍMICA>, <DESINFECCIÓN SOLAR>, <ENERGÍA TERMOSOLAR>, <ENERGÍA FOTOVOLTAICA>, <LÁMPARAS UV>, <COLIFORMES TOTALES>.

SUMMARY

A disinfection system was designed for drinking water based on thermal solar energy and Ultraviolet Light (UV) from a photovoltaic source through the evaluation of a parameter which determines the microbial contamination, total coliforms. The system supplies safe water without the need to use of chemical treatments to make water drinkable especially in rural areas where its consumption is inappropriate due to a lack of technical training that involves the risk in the formation of carcinogenic and mutagenic sub-products. The methodology applied for the design is based on the determination of the thermal efficiency of the equipment solar panel, the monitoring of the temperatures reached by the water, the total Coliform amount using the Petrifilm 3M plate technique, the cloudiness evaluation as an incident factor of Insolation, the set time of water exposure towards the UV lamps of wavelength 253, 7 nm with a power of 40 watts (W) and photovoltaic source. That is why, the available potential solar was identified for the electric generation in Ecuador. The dimensioning of the disinfection system was design for a dairy maximum flow of $2,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ in rural areas supported by the thermos solar energy from the solar panel with a 46% thermal efficiency and 41°C maximum average temperatures in 8 hours. The results of the microbiological count showed when the solar panel achieved temperatures with 55°C record 0 Colony Forming Units (CFUs) and 33°C >10 CFUs, with that information, the disinfection UV was combined with a set time of water exposure with 26 seconds for a volume of 0,2 m³ and with an inactivation amount 45 Ws/m². The set time of the disinfection in rural areas was 40 minutes, approximately. It is recommended that the disinfection could be performed with the thermal energy and the ultraviolet lamps.

KEYWORDS: < ENGINEERING AND CHEMICAL TECHNOLOGY >, <SOLAR DISINFECTION>, < THERMAL SOLAR ENERGY>, <PHOTOVOLTAIC ENERGY>, <ULTRAVIOLET LAMPS>, <TOTAL COLIFORMS>.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades infecciosas y parasitarias debido al consumo de agua contaminada se estiman en un 80% a nivel mundial, esto debido a la falta de desinfección o al mal funcionamiento de los servicios sanitarios, originando problemas en la salud pública. Los microorganismos patógenos que son capaces de vivir en medios hídricos causan cólera, fiebre tifoidea, disenterías, poliomielitis, hepatitis y salmonelosis, entre otras. (Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua, 2015)

En el país según los datos recolectados por el INEC 2014 la población que tiene acceso al agua por red pública es del 78.02% del cual un gran segmento no es agua confiable y parte es solo agua entubada. La problemática se fundamenta en que la población no cuenta con el abastecimiento de este servicio por la gran dispersión de agua en las provincias y en el país, el limitado presupuesto público para instalar la infraestructura necesaria para realizar un adecuado tratamiento del agua.

En las encuestas realizadas por el Censo Nacional de Población y Vivienda 2010 se evidencia que un 40.33% de la población en el país bebe agua haciéndola hervir, para el efecto utilizan leña o carbón para la combustión, siendo el resultado de esta la generación de monóxido de carbono y material particulado que al superar las concentraciones o los límites permisibles en la legislación se convierten en compuestos perjudiciales para la salud humana y el ambiente, considerándose una problemática muy evidente en el sector rural a causa de las dificultades para conseguir agua salubre para el consumo humano.

El 2.96% de la población usa la cloración como otro de los métodos más ampliamente divulgado para la desinfección del agua para poder beberla ya sea en el sector rural como el urbano, este método de desinfección presenta aparentes desventajas, entre las que se asocia el costo, la dificultad de conseguir los productos, en ciertos casos un sabor levemente desagradable y el desconocimiento técnico en la dosificación de cloro a niveles adecuados.

Otros métodos utilizados en el Ecuador para la desinfección del agua son por ejemplo que el 1.29% de la población filtra el agua, el 21.94% compra agua purificada y por último el 33.48% beben directamente el agua tal como llega a su hogar, siendo estos los más vulnerables a contraer alguna enfermedad transmitida por el consumo de agua.

La gran demanda por obtener energías capaces de mantener el crecimiento industrial, fue en sus principios el carbón su principal fuente de energía y pasado el tiempo hasta la actualidad los combustibles derivados del petróleo, del gas natural y energía nuclear. Existiendo una gran problemática ambiental con respecto al consumo de este tipo de energías especialmente en referencia a la generación de residuos sólidos y líquidos emisiones de efecto invernadero, accidentes y agotamiento de los recursos naturales, por lo que es justo acudir a fuentes de energía alternativa, es así, que la energía solar es una de las principales fuentes de aprovechamiento que cumplen con los siguientes objetivos: reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y el ahorro de energías no renovables. (Jutglar, 2004)

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad existe diversos métodos de desinfección empleados en el agua, para consumo humano, lo que evidencia una disminución en las enfermedades que son transmitidas por este medio, pero en los países en desarrollo no existe el suficiente abastecimiento de agua limpia, por lo que los habitantes de estos contraen enfermedades gastrointestinales, que en ocasiones con llevan a la muerte, especialmente en niños. (Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua, 2015)

Los informes publicados por la OMS indican que el 24% de la población urbana de América Latina y el Caribe tienen algún tipo de método de control de la calidad del agua, sin embargo, estos son muy limitados en las zonas urbanas e insignificantes en las zonas rurales. En el Ecuador la población que tiene acceso al agua por red pública es del 78.02% del cual un gran segmento no es agua confiable y parte es solo agua entubada.

La cloración es el método más frecuente de desinfección en las zonas rurales, una de su principal desventaja es la dosificación inadecuada, el riesgo implica la formación de subproductos de desinfección, especialmente los compuestos orgánicos sintéticos ejemplo los ácidos haloacéticos y los trihalometanos (Rodríguez, y otros, 2007). Estos subproductos pueden ser mutágenos y cancerígenos, por lo que han sido extensamente estudiados desde que se detectaron por primera vez, en 1974. (Instituto de Investigaciones Químicas y Ambientales de Barcelona, 2001)

La importancia de desarrollar este proyecto es encontrar principalmente una alternativa frente a las dificultades del uso inadecuado de métodos de desinfección de agua para consumo humano. Se pretende diseñar un sistema para desinfectar el agua, primordialmente en las zonas rurales que no cuentan con los recursos humanos y técnicos para efectuar el saneamiento con productos químicos o de cualquier índole.

Esta investigación se fundamentó particularmente en el aprovechamiento de los recursos renovables, específicamente en la energía solar, la cual puede generar calor y electricidad. El sistema utilizó la radiación solar como fuente de calor y una lámpara de luz UV-C de 40 W que tendrá como fuente de energía la electricidad fotovoltaica; el uso de la luz ultravioleta en este caso es de tipo germicida, presentando como ventaja la reducción del riesgo en el manejo y almacenamiento de sustancias nocivas para la salud, además, que es efectiva en fracciones de segundos.

Se evaluó el sistema mediante el parámetro de contaminación microbiana, coliformes totales, indicador que se utiliza para medir la eficacia de desinfección, siendo este un importante criterio en la determinación de la calidad del agua para consumo humano. El presente proyecto forma parte de las actividades de investigación del Centro de Energías Alternativas, Facultad de Ciencias ESPOCH.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Diseñar un sistema de desinfección para agua de consumo humano, basado en energía termosolar y luz UV de fuente fotovoltaica, mediante evaluación del parámetro indicador de contaminación microbiana, coliformes totales.

Objetivos Específicos

- Determinar el comportamiento del indicador de contaminación microbiana coliformes totales, con base al tiempo de desinfección en el dispositivo termosolar.
- Determinar el comportamiento del indicador de contaminación microbiana coliformes totales, con base al tiempo de desinfección en el dispositivo termosolar con la luz UV germicida.
- Dimensionar el dispositivo de desinfección solar del agua en capacidad, estructura o combinación.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

El profesor Aftim Acra de la American University de Beirut (2003) realizó una investigación con el objetivo que las personas tengan acceso al agua potable a bajo costo, de forma simple y ambientalmente sostenible; el tratamiento es el proceso de desinfección solar del agua (SODIS) para consumo humano aplicable a nivel doméstico y para lugares en los que la población consume agua cruda y microbiológicamente contaminada. Se ejecutó en tres fases en la primera fase descubrieron la sinergia entre la radiación y el calor en el cual para alcanzar una temperatura de 30°C del agua requiere una intensidad de radiación solar de por lo menos 500 W/m² durante unas 5 horas para conseguir la efectividad del método. En la segunda fase, se realizaron pruebas de campo a diferentes condiciones climáticas y usando varios tipos de calidad de agua, para elaborar guías de operación para el método de tratamiento del agua. Durante la tercera fase, se estableció la aceptación sociocultural, la aplicabilidad y la viabilidad financiera de SODIS a través de proyectos de demostración en comunidades, revelando que los usuarios apreciaban la sostenibilidad y simplicidad del método de tratamiento del agua. Un promedio del 84% de los usuarios seguirá usando SODIS después de terminado el proyecto, el 13% considera emplearlo en el futuro y 3% de los usuarios se rehusó a usar SODIS atribuyendo a que su salud no se veía afectada por la calidad del agua que venía consumiendo.

En la Universidad de Ciencias Aplicadas de Colonia (Alemania) y el Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" (Cuba) desarrollo la investigación con la colaboración de Luis Guerra, Daysi Gómez y Antonio Sarmiento (2001), sobre la desinfección del agua con luz ultravioleta y energía solar fotovoltaica para eliminar microorganismos patógenos presentes en el agua, mediante el uso de lámparas de luz UV de uso germicida. Para determinar el grado de desinfección de la luz

UV se usó agua contaminada con un nivel de coliformes inicial de 10^3 , en un tanque de asbesto de 117 cm de diámetro y capacidad total de 1100 litros. Los niveles de contaminación se miden por la técnica "Standard Methods for the Examination of Water Sewage and Industrial Wastes" para el grupo coliforme, el reporte de resultados se expresa en unidad del Número Más Probable (NMP) en 100 mL.

Los resultados de la investigación se basaron en el tiempo y la concentración de *Escherichia coli* del grupo coliforme como contaminante del agua, la radiación aplicada fue de $9,0 \text{ mWsec/cm}^2$ eliminando el 99,9 % en 45 minutos, por lo que se evidencia una eficiencia y factibilidad de aplicación en zonas rurales teniendo un nivel de desinfección en tiempos relativamente cortos y de bajo nivel de consumo eléctrico. (Guerra, y otros, 2001)

En el artículo publicado por H.B. Wright y W.L. Cairns (Canadá) (2013) participa que la luz ultravioleta como método de desinfección es una alternativa frente al uso de cloro y ozono en el tratamiento de agua potable y residual, teniendo este como mecanismo la dimerización del ADN, es decir, el daño fotoquímico a los ácidos nucleicos de los microorganismos presentes. La desinfección por UV depende de la longitud de onda para E. Coli, el espectro se encuentra cercanos a 265 nm y 210 nm. La cinética de inactivación microbiana por UV sigue la ley de Chick, donde define a la dosis de UV como el producto de la intensidad UV por el tiempo, las tasas de inactivación observadas usando lámparas de baja presión determinaron las resistencias con las bacterias como la E. Coli siendo la menos resistentes, los virus como el Rotavirus es 11 veces más resistentes, la Poliomiélitis y Hepatitis A son 2,5 veces más resistentes y protozoarios como quistes y oocitos son más susceptibles a la inactivación de UV de 254nm.

La desinfección UV a diferencia de los productos químicos cumple con la no generación de subproductos mutágenicos ni cancerígenos. Los costos asociados a este sistema se estiman en un aumento del 30% con respecto a los sistemas tradicionales de desinfección. Los requerimientos para este tipo de sistemas de desinfección es el tiempo de residencia, también pueden ser diseñados para caudales pequeños y grandes, su operación y mantenimiento son simples con un mínimo peligro de exposición para los operarios. (Wright, y otros, 2013)

1.2. Marco conceptual

1.2.1. Energía Solar

La energía que irradia el sol es alcanzada por la Tierra como radiación electromagnética, es decir, luz, calor y rayos ultravioleta esencialmente. A este tipo de energía se la denomina como una fuente de energía renovable que se adquiere del sol, del cual podemos obtener calor y electricidad mediante conversión térmica, aprovechando el calor a través de colectores solares y conversión fotovoltaica que la convierte en electricidad con el uso de paneles solares, respectivamente. (Jutglar, 2004)

1.2.2. Radiación

La radiación es la emisión, propagación y absorción de la energía en forma de ondas electromagnéticas. La radiación que emite el sol y es alcanzada por la Tierra es de vital importancia como fuente de energía en la generación de los fenómenos atmosféricos y la vida en la tierra. Acorde al espectro total de radiación solar (visible e infrarrojo, UV, IR) que ingresa a la atmósfera se modifica en gran parte debido a la radiación UV e IR absorbidas, mientras que la radiación visible llega a la superficie terrestre.

La atmósfera cumple una función importante en el mantenimiento del balance entre la radiación solar que ingresa al sistema terrestre y la radiación que emerge de la tierra, manteniendo un promedio global de temperatura superficial de 15°C. La radiación solar al alcanzar la superficie terrestre, es convertida en calor y en radiación infrarroja, esta energía es absorbida por la atmósfera y emitida de nuevo al espacio (Reyes, 2009). La radiación es la transmisión de energía en el espacio sin soporte de ninguna clase de material. La energía radiante es de naturaleza electromagnética, las clases de radiación se diferencian por sus características de longitud de onda (λ), su propagación a la velocidad de la luz (c) y su frecuencia (ν) (Reyes, 2006).

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \text{ Ecuación 1-1}$$

1.2.2.1. Radiación solar terrestre

La radiación solar cuando entra en la atmósfera, da lugar a un fenómeno de absorción y dispersión, que depende de la masa, espesor y la densidad de la capa de aire atravesada, y de su composición. Las moléculas presentan unas bandas de absorción, siendo las del agua y del anhídrido carbónico las que causan un mayor efecto cuantitativo; el ozono actúa en la zona del ultravioleta cualitativamente tiene una gran importancia ya que es una barrera frente a la radiación, que es altamente cancerígena.

La masa de aire que tiene que atravesar el rayo solar, es un factor importante en la cantidad de energía absorbida, por lo que, cuanto más largo sea el camino óptico, mayor será la absorción. Cuando el sol este situado en el punto más alto de su trayectoria y máxima a la salida o la puesta, la absorción será mínima.

En la superficie terrestre, incidirán diferentes tipos de energía radiante:

Radiación directa es aquella que proviene del sol e incide sobre la superficie sin cambiar de dirección, excepto la correspondiente a la refracción atmosférica.

Radiación difusa forma parte de la radiación solar, que son el resultado de choques sucesivos con moléculas y partículas contenidas en el aire y se difunden al atravesar la atmósfera. Es una radiación procedente de toda la bóveda celeste visible desde la superficie, no es direccional y puede considerarse que su distribución es casi uniforme para todo el hemisferio.

El cálculo de radiación difusa se lo hace mediante el uso de tres modelos: **isotrópico** la distribución de la radiación difusa es autónoma del azimut y del ángulo cenital con una misma intensidad, **circunsolar** considera la radiación difusa incidente de procedencia del disco solar y de su aureola, y **anisotrópicos** depende de la posición del hemisferio, debido a la distribución de la radiación, en el cual cada autor investigador plantea distintas hipótesis, teniendo como error inferior al 5%. (Jutglar, 2004)

Albedo radiación que alcanza la superficie, después de haberse reflejado en las superficies del entorno.

Radiación global es la suma de la directa y de la difusa.

Radiación total es la suma directa, de la difusa y el albedo. (Jutglar, 2004)

1.2.2.2. Magnitudes referentes a la radiación

Flujo radiante Φ : potencia emitida por una fuente, trasladada por un haz o tomada por una superficie.

En el Sistema Internacional se mide en watios (W) (Reyes, 2006).

$$\Phi = \frac{dW}{dt} \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Irradiancia magnitud de radiación o intensidad de iluminación solar que alcanza la superficie y es medida como una potencia instantánea por unidad de superficie, W/m^2 (Reyes, 2006).

Irradiación cantidad de irradiancia recibida en un lapso de tiempo específico, es decir, potencia admitida por unidad de tiempo y unidad de superficie, midiéndose en Wh/m^2 o, en caso de un día, en $Wh/m^2/día$ (SunFields, 2016).

Constante Solar es la radiancia global medio incidente sobre la atmósfera I_{sc} , su unidad de medida y su valor viene dado por: (Reyes, 2006)

$$I_{sc} = 1.367 W/m^2 \text{ (cte)}$$

1.2.3. Radiación ultravioleta (UV)

Pertenece a la franja del espectro electromagnético con longitud de onda de 400 a 100 nm. El físico y fisiólogo alemán Ritter en 1801 mientras investigaba la separación del cloruro de plata por la luz, reveló que la radiación ultravioleta en la franja oscura cercana al violeta producía un efecto fotoquímico de mayor intensidad. En la última etapa del siglo XX se tenía la convicción que la luz solar poseía efectos bactericidas. Ward en sus investigaciones manifestó que existía mayor efecto bactericida en la franja ultravioleta del espectro solar (Portero, 2006). La particularidad fundamental de la radiación ultravioleta es la posibilidad de crear excitaciones en los átomos, produciendo reacciones

químicas. La aplicación de radiación UV de fuente artificial debe realizarse con las debidas precauciones.

1.2.3.1. Clasificación de la radiación ultravioleta (UV)

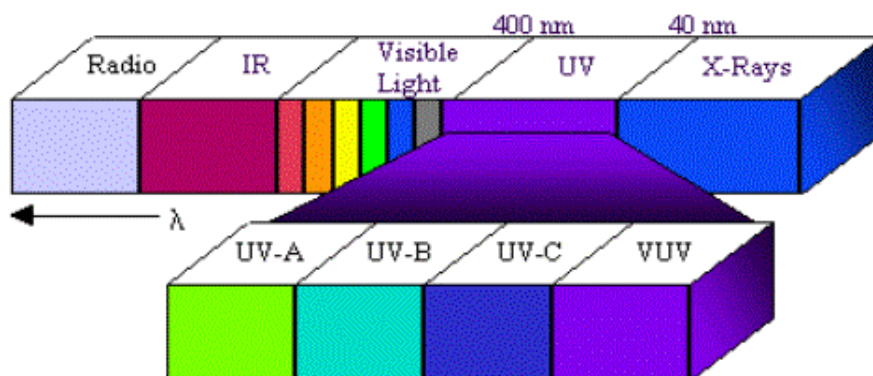


Figura 1-1: Espectro de UV-C en la radiación electromagnético

Fuente: LENNTECH, 2017

Tabla 1-1: Clasificación y rango de longitud de onda (λ) de la radiación ultravioleta (UV)

RADIACIÓN	LONGITUD DE ONDA λ (nm)	ENERGÍA-FOTÓN (eV)
UVA	320-400	3,9-3,1
UVB	290-320	4,3-3,9
UVC	200-290	6,2-4,3

Fuente: F. Sendra Portero (2006)

Realizado por: Quirola, M. 2016

Radiación ultravioleta A (UVA) de longitud de onda entre 315 a 400 nm; es la menos energética de la radiación UV. Se emplea en el tratamiento de psoriasis (Portero, 2006).

Radiación ultravioleta B (UVB) de longitud de onda entre 315 a 280 nm. Causa eritema y quemaduras. (Portero, 2006).

Radiación ultravioleta C (UVC) ocupa entre los 280 a 100 nm en el espectro; posee una significativa acción bactericida. Este tipo de radiación se encuentra dispersa en la atmosfera. UVC ioniza los gases atmosféricos contribuyendo en la instauración y mantenimiento de la capa de ozono (Portero, 2006).

1.2.3.2. Acción bactericida de la radiación ultravioleta (UV)

La radiación ultravioleta es capaz de producir efectos considerables sobre las proteínas y ácidos nucleicos; el aplicar dosis elevadas de UVB desnaturalizar las proteínas produciendo la muerte biológica. Este método es empleado para esterilizar el agua y la sangre, además de ser usado en el trabajo con cámaras de cultivos celulares y en la conservación estéril instrumental procedente de autoclaves. La acción bactericida se logra mediante longitudes de onda inferiores a los 290 nm (UVC) (Portero, 2006).

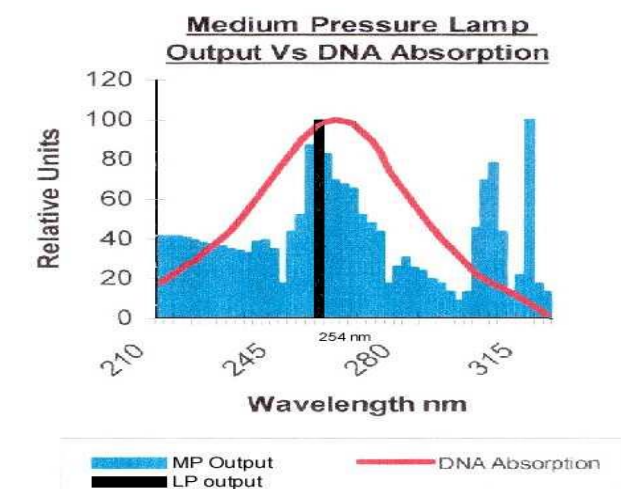


Figura 2-1: Curva espectral de la energía para la acción germicida y la energía espectral de las lámparas UV de la presión baja y media

Fuente: LENNTECH, 2017

1.2.3.3. Dosis de radiación UV para la desinfección del agua

Es el cálculo que relaciona la intensidad de energía aplicada durante cierto tiempo de exposición. La sensibilidad de los microorganismos a la radiación UV varía, ya que algunos tienen mayor resistencia y no se destruyen en la misma proporción. No obstante, teniendo en claro el microorganismo que se desea inactivar, es posible establecer la dosis adecuada. La dosis UV es directamente proporcional a

la intensidad del emisor, multiplicado por el tiempo que un microorganismo está en contacto con la radiación dentro de la cámara de contacto. (Díaz Díaz M., y otros, 2015)

$$D_{10} = \frac{(I)(t_{exp})}{A_{rad}} = \frac{(W)(s)}{m^2} \quad \text{Ecuación 3-1}$$

Donde:

D_{10} = Dosis, expresada en segundos Watt por metro cuadrado (Ws/m²)

I = Intensidad UV, expresada en Watts (W)

t_{exp} = Tiempo de exposición, expresado en segundos (s)

A_{rad} = Área de irradiación, expresada en metros cuadrados (m²)

1.2.3.4. Desinfección del agua con luz ultravioleta y energía solar fotovoltaica

La desinfección del agua utilizando la radiación ultravioleta de una lámpara con fuente de energía solar a través de un panel fotovoltaico, niveles de contaminación inicial y tiempos de eliminación de las bacterias del tipo coliforme como indicadores del proceso, es un procedimiento realizado en tanques domésticos de recepción de agua para el consumo humano para regiones lejanas, de sistema auto mantenido energéticamente y bajo nivel de mantenimiento y operación.

La aplicación de la **luz ultravioleta** es seguro y no representa ningún riesgo en su manipulación, el agua tratada no es alterada en olor y sabor, la desinfección es rápida; la **radiación ultravioleta** es efectiva en la eliminación de un amplio tipo de microorganismos y en especial no genera subproductos.

La metodología utilizada en la investigación se basa en la radiación solar, el valor promedio, un panel fotovoltaico orientado al Sur, con una inclinación de 30°, con respecto a la horizontal, lámparas de 10 W y un consumo inicial de 2 h/d, es decir 20 Wh/d, este valor depende de las características del agua y del tanque.

Las lámparas ultravioleta para uso germicida están diseñadas para generar radiación en la zona del espectro cercana a la longitud de onda de 254 nm, dentro de la zona C, esencialmente por ser esa región la que produce daños en los ácidos nucleicos de los microorganismos mediante la formación de enlaces covalentes entre bases adyacentes del DNA, lo cual inhibe a los organismos en su reproducción, adicionalmente, la radiación ocasiona cambios en las funciones vitales que pueden provocar la muerte de los microorganismos.

Los resultados de la investigación se representan en la Figura 3-1, se expone el efecto de la radiación en el tiempo, sobre el nivel de contaminación del agua. La *Escherichia coli* se eliminó en 45 minutos, muestras analizadas 15 días después de haber sido tratadas, se observó que mantenían el mismo nivel de desinfección, sin la presencia de coliformes.

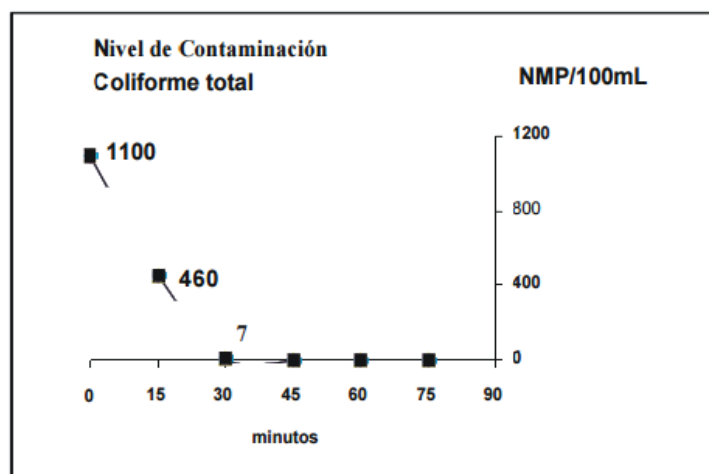


Figura 3-1: Resultados experimentales del efecto de la radiación en el tiempo
Fuente: (Guerra, y otros, 2001)

Los resultados favorables obtenidos, indican la factibilidad de su aplicación en zonas rurales apartadas, es posible obtener adecuados niveles de desinfección en tiempos relativamente breves y con bajo nivel de consumo eléctrico. El sistema de desinfección con lámpara ultravioleta, usando la energía solar fotovoltaica, resulta con baja complejidad de operación, prácticamente automático (Guerra, y otros, 2001).

1.2.3.5. Tecnología de aguas residuales desinfección con luz ultravioleta

El sistema de desinfección de UV transfiere energía electromagnética desde una lámpara de vapor de mercurio al material genético del organismo (ADN o ARN), la radiación penetra las paredes de la célula de un organismo destruyendo la habilidad de reproducción de la célula. La eficacia del sistema de desinfección con luz ultravioleta depende de las características del agua residual, la intensidad de la radiación, el tiempo de exposición de los microorganismos a la radiación y la configuración del reactor. En las plantas de tratamiento, el éxito de la desinfección depende directamente de la concentración de componentes coloidales y de partículas en el agua residual. La longitud de onda óptima para desactivar eficazmente los microorganismos se encuentra en el rango de 250 a 270 nm. La intensidad de la radiación emitida por la lámpara se disipa a medida que la distancia de la lámpara aumenta.

Las lámparas de mediana presión son manipuladas en instalaciones de mayor tamaño, debido que tienen una intensidad germicida aproximadamente 15 a 20 veces mayor que las lámparas de baja presión. La lámpara de mediana presión desinfecta más rápido y tiene más capacidad de penetración debido a su mayor intensidad. Existen dos tipos de disposiciones de reactor para el sistema de desinfección con luz UV: de contacto, y sin contacto. En ambos casos, el agua residual puede fluir en forma perpendicular o paralela a las lámparas. En el caso del reactor de contacto, la serie de lámparas de mercurio está recubierta con mangas de cuarzo para minimizar los efectos de enfriamiento del agua residual (Environmental Protection Agency (EPA), 2015).

1.2.3.6. Potabilizar agua con energía solar, una alternativa para las comunidades más alejadas de los centros urbanos

Potabilizar el agua con energía solar en sistemas pequeños en donde se aprovecha los cambios de temperatura para hacer cambiar el agua de fase y limpiarla de contaminantes, por ejemplo, los colectores solares que son dispositivos que captan la radiación y la transfieren a un fluido que se necesita calentar, en este caso hasta la temperatura necesaria para potabilizar agua (Méndez y Cuervo, 2008). Los colectores solares para potabilización (Perales, 2008 y Madrid, 2009) son: cajas de efecto invernadero, colectores de placa plana y concentradores solares. Los procedimientos utilizados para potabilizar son: se toma un fluido con contaminantes y se le genera un aumento de temperatura que

hace que el fluido cambie de fase y se vaporice, en este caso el agua; este proceso deja los contaminantes más pesados en el recipiente, el líquido vuelve posteriormente a su fase líquida debido a que esta cede calor en una región de transferencia, posteriormente este fluido es recolectado en un depósito de almacenamiento donde al condensarse presenta condiciones para el consumo humano.

Potabilizar agua con energía solar es una buena alternativa para los lugares alejados de fuentes confiables, en donde la energía solar es una de las mejores opciones. Un análisis de los contaminantes existentes en el agua permite saber qué temperaturas se le debe aplicar para lograr la eliminación total de microorganismos. El principio de funcionamiento de estos equipos es que las altas temperaturas tienen un marcado efecto sobre todos los microorganismos; las células vegetativas mueren debido a la desnaturalización de las proteínas y la hidrólisis de otros componentes. En el agua, si bien hay algunas bacterias con capacidad de generar esporas, lo que significa que genera resistencia a las altas temperaturas, para la gran mayoría de las bacterias puede afirmarse que mueren entre los 40°C y los 100° C, mientras que las algas, protozoarios y hongos lo hacen entre los 40°C y los 60°C lo que permite que los sistemas solares sean capaces de limpiar el agua de dichos contaminantes (Coto, 1998, González y Marín, 2003 y González y Martín, 2003).

Existe otro proceso por ebullición que consiste en elevar la temperatura del agua a 100°C, el resultado es la eliminación de todos los microorganismos presentes (Portuguez y Mora, 2002). Es importante aclarar que los sistemas solares de potabilización de agua no eliminan contaminantes pesados, para estos es necesario someter el agua a procesos de filtrado más profundos, como la ósmosis inversa y la aplicación de productos químicos, pero para condiciones de zonas costeras o zonas donde existan aguas de pozos, ríos o lagos con contaminantes ligeros o salinidad, la tecnología ayuda a potabilizar el agua y a dejarla apta para el consumo humano (Hegewisch, 2009 y Portuguez y Mora, 2002). De las alternativas explicadas, la más óptima para la desinfección es el sistema por evaporación y condensación. (Potabilizar agua con energía solar, una alternativa para las comunidades más alejadas de los centros urbanos, 2012)

1.2.3.7. Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta

Las tasas de crecimiento bacteriano se reducen en agua potable después de la desinfección con UV, lo que no produce un desinfectante residual que pueda ofrecer protección contra el crecimiento de microbios y la formación de biopelículas en la línea de distribución municipal. El cloro frente a la radiación UV, evidencia que, si el agua contiene suficientes nutrientes para promover el desarrollo

de microbios, la presencia de 1 ppm de cloro libre residual en una línea de distribución municipal no garantiza el que no se formen biopelículas sobre las superficies de las tuberías y que no se encuentren coliformes fecales en los puntos de uso (Rice et al, 1991; Herson et al, 1991). En realidad, el cloro puede reaccionar demasiado rápido con las moléculas superficiales de la biopelícula y no penetrar en la biopelícula para inactivar microbios más profundos. La cloramina por otro lado, es menos reactiva y provee mejor control de biopelículas y heterotropos dentro de una línea de distribución (Neden et al, 1992). Dado que la cloramina no es un buen desinfectante primario, una estrategia apropiada sería usar radiación UV como desinfectante primario y cloramina como residual para controlar el crecimiento microbiano en las líneas de distribución.

La alternativa de control de crecimiento microbiano dentro de una línea de distribución puede ser el tratar el agua para remover los nutrientes que podrían promover más tarde el crecimiento de microbios, como, filtros biológicamente activos que reducirían la concentración de carbón orgánico asimilable (COA), compuestos orgánicos de menor peso que pueden ser fácilmente ingeridos por los microbios para promover su crecimiento. En el caso de agua de pozo, la tierra actúa como un biofiltro masivo reduciendo la concentración de COA y filtrando quistes de protozoos, bacterias y virus. En aguas subterráneas que no esté bajo la influencia de agua superficial, la desinfección UV puede ser usada directamente sobre el agua con mínimo pretratamiento. Mientras que la estrategia de desinfección para aguas superficiales es filtrar el agua para remover SST y quistes protozoarios, aplicar UV para inactivar bacteria patogénica y virus, y usar cloraminas o control de COA para proteger el sistema de distribución de crecimiento microbiano. Sistemas de desinfección UV pueden ser usados ya sea en una planta de tratamiento municipal o cerca al grifo (Wright, y otros, 2015).

1.2.4. Recurso solar en el Ecuador

La geografía del Ecuador permite que sea un país favorecido referente al recurso solar, debido al ángulo de incidencia de la luz solar que es perpendicular en nuestra superficie durante todo el año, lo que no sucede en otros espacios del planeta variando conforme a las estaciones del año. La ventaja posicional del Ecuador se resume en una recepción mayor y constante cantidad de radiación solar, modificándose a nivel nacional por las condiciones climatológicas locales, además depende de la cercanía o lejanía del Sol (Corporación para la Investigación Energética CIE, 2013).

En el año 2008 se realizó en el Ecuador un Atlas de Irradiación Solar, desarrollado por la Corporación para la Investigación Energética el cual se establece como un importante instrumento en la investigación e impulso de proyectos sobre materia de energía solar, encontrando datos georreferenciados de la radiación global, difusa y directa del Ecuador continental. El Atlas de Radiación Solar del Ecuador consta de 39 mapas que recoge información mensual de las radiaciones directa, difusa y global y los promedios anuales en $\text{Wh/m}^2/\text{día}$, permitiendo la aplicación de tecnologías productivas eficientes, en el sector agrícola e industria, la energía solar beneficiaria en la molienda de granos, sistemas de bombeo, generación de calor, autoconsumo, iluminación, regulación de la temperatura, entre otros, todo esto aplicando energías limpias (Corporación para la Investigación Energética CIE, 2013).

1.2.5. 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, y otros, 2015).

La captación de energía solar se consigue de dos formas directas, mediante colectores térmicos que aprovechan la generación de calor y paneles fotovoltaicos que transforman la radiación solar en energía eléctrica. Estas dos formas de captación establecen los dos tipos de energía solar: energía solar térmica y energía solar fotovoltaica (Construmática, 2008).



Figura 4-1: Formas de captación directa de la energía solar
 Fuente: (WordPress.com, 2013)

1.2.5.1. Captación de energía solar térmica

La emisión de energía del sol es usada como calor aislado en colectores líquidos o de gas que son expuestos a la radiación solar absorbiendo su calor y transmitiéndolo al fluido manejado. El calor almacenado es aprovechado en la generación de electricidad, dependiendo del proceso se distingue dos tipos de energía solar térmica (Construmática, 2008).

- Energía Solar Térmica Pasiva

Permite la producción de energía sin la demanda de ningún medio mecánico. Es un proceso absolutamente natural donde el sol es aprovechado para calentar el agua circulante de los conductos o placas para el agua caliente sanitaria, a nivel doméstico e industrial (Construmática, 2008).

- Energía Solar Térmica Activa

Logra la electricidad a través de una serie de procesos que permite la transformación de la radiación solar en calor. Se fundamenta en concentrar la luz solar en helióstatos o en discos parabólicos que alcanzan temperaturas de más de 400°C , produciendo vapor y la activación de una turbina que genera electricidad por medio de un alternador. Este proceso no origina emisiones de contaminantes como en las centrales térmicas convencionales (Construmática, 2008). Los colectores térmicos suelen dividirse según el grado de concentración solar, en base a las características geométricas (Ariza, y otros, 2008):

$$C = \frac{A_c}{A_r} \text{ Ecuación 4-1}$$

En donde:

C = índice de concentración

A_c = área de captación solar del colector

A_r = área de recepción o absorción del colector

1.2.5.2. Clasificación de los captadores solares térmicos

- Captadores planos con cubierta

Los componentes del módulo son la placa o superficie de absorción que acumula la energía solar y la transfiere al líquido que circula a través de un serpentín o batería de tubos interior, el vidrio o plástico causa un efecto invernadero en la caja en la que se integra el conjunto (EnerAgen Asociación de Agencia Españolas de Gestión de la Energía, 2008).

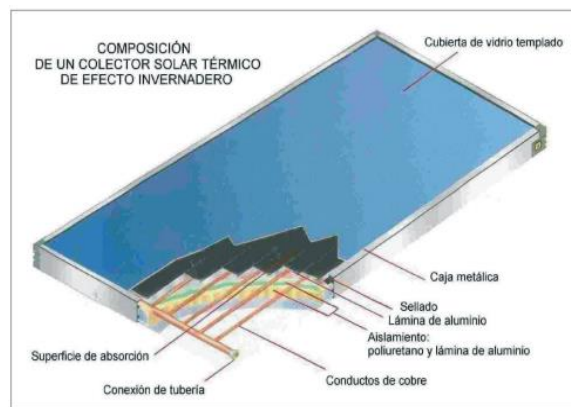


Figura 5-1: Colector de placa plana

Fuente: (Bérriz Pérez, 2015)

- Captadores de tubo al vacío

Heat Pipe: su funcionamiento se basa en la transferencia de calor al fluido (portador) mediante un proceso de evaporación-condensación. Se aplica especialmente en procesos industriales de temperaturas alrededor de los 100°C, calefacción, refrigeración Solar, etc. (ENERAGEN, 2009)

Los captadores de tubos al vacío es un importante avance en la tecnología de transferencia de calor, “el tubo calórico forma un sistema cerrado de evaporación-condensación y suele ser un tubo metálico largo y fino, herméticamente cerrado, contiene un líquido en equilibrio con su vapor a determinada presión y temperatura. Si la temperatura aumenta, aumenta la fase gaseosa; y si disminuye, aumenta la fase líquida. La temperatura de cambio de fase (líquido-gas-líquido) depende de la presión, la cual cambia directamente proporcional al cambio de temperatura. La presión (vacío) dentro del tubo se selecciona de tal forma que la evaporación empiece a 25 °C, lo que garantiza el funcionamiento del colector solar aún con baja radiación” (Bérriz Pérez, 2015).

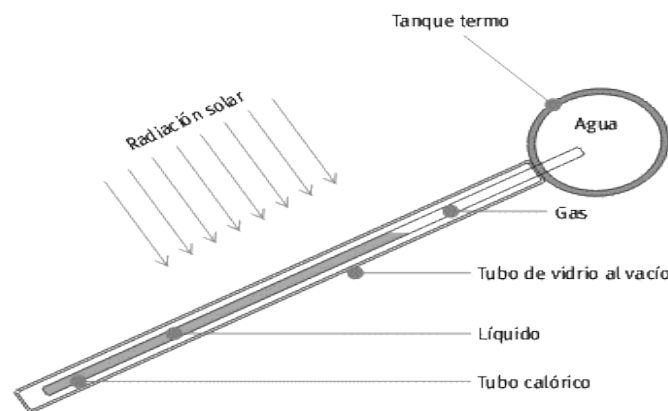


Figura 6-1: Sistema cerrado de evaporación-condensación

Fuente: (Bérriz Pérez, 2015)

La parte superior del tubo calórico va introducida en el agua del tanque-termo o cabezal. De esta forma, cuando la parte que está expuesta a la radiación solar (dentro del tubo de vidrio al vacío) se calienta, genera vapor y éste sube. Cuando este vapor se pone en contacto con el agua del tanque-termo, la cual está más fría, se condensa, y baja en forma líquida por gravedad a la parte baja del tubo calórico. De esta forma se completa el ciclo.

El tubo de vidrio que se somete al vacío suele ser de borosilicato, por sus buenas condiciones ópticas y resistencia mecánica. En este tipo de colector se requiere que los tubos tengan una inclinación mínima de 20° con respecto a la horizontal, para que el fluido condensado baje por gravedad. (Bérriz Pérez, 2015)

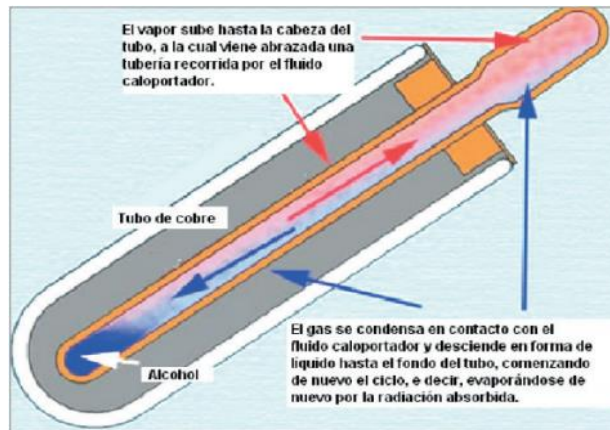


Figura 7-1: Tubo de vacío (Heat Pipe)
Fuente: (FOCUS- SOLAR Y SUNTUBE)

- Tubo de vacío de flujo directo

El fluido portador de calor se introduce en la tubería, y el intercambio de calor se efectúa mediante conducción. Se aplican en procesos industriales con temperaturas alrededor de los 100°C, ACS, calefacción, refrigeración, etc. Se caracteriza por su instalación completamente horizontal con una inclinación de 25°.

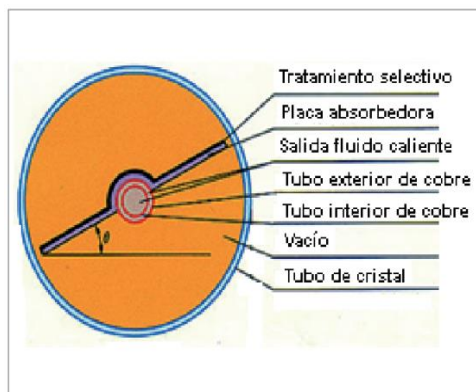


Figura 8-1: Tubo de vacío de flujo directo
Fuente: (FOCUS- SOLAR Y SUNTUBE)

- Captadores planos sin cubierta

Formados por una serie de tubos de caucho, en el cual expuestos al sol absorben la radiación solar y la transfieren al fluido que cruza su interior (EnerAgen Asociación de Agencia Españolas de Gestión de la Energía, 2008).



Figura 9-1: Captadores planos sin cubierta
Fuente: (Harter Industries, Inc.)

1.2.5.3. Captación de energía Solar Fotovoltaica

La energía solar es transformada en energía eléctrica mediante células solares que están fabricadas a base de silicio puro, material cristalino semiconductor. El dispositivo reacciona al absorber luz solar produciendo mínimas cantidades de electricidad, debido al flujo de electrones del interior de los materiales y la diferencia de potencial. ***Las células solares reaccionan a la luz solar directa y difusa por lo que consiguen generar electricidad en días nublados*** (Construmática, 2008).

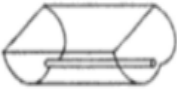


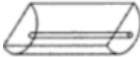



La energía fotovoltaica se genera sin mecanismos móviles, sin ciclos termodinámicos y sin reacciones químicas, siendo una de las energías renovables con más proyección a futuro por su sencillez técnica; los paneles o módulos solares obtienen un voltaje adecuado según las aplicaciones eléctricas, una vez captada la energía solar se convierte en energía eléctrica de corriente continua vinculada a un sistema de almacenamiento (baterías) (Construmática, 2008).

Entre las ventajas de infraestructuras de la energía solar fotovoltaica son:

- No consume combustibles, usan luz directa y difusa, por lo que siguen operando, aunque exista nubosidad
- Mayor durabilidad, estos resultan inalterables al paso del tiempo
- Energías limpias

1.2.5.4. Clasificación de los captadores solares y tipos de células fotovoltaicas

Cuadro 1-1: Clasificación de los captadores solares fotovoltaicos

	TIPOS DE COLECTORES		Relación de concentración para insolación directa "C"	Intervalo de temperatura obtenida T(°C)	Aplicaciones	
SEGUIDOR SOLAR (Dos ejes y un eje)	Reflector parabólico compuesto		$1 \leq C < 5$	$67 < T < 237$	<i>generación de electricidad</i>	Calentamiento de procesos y generación de vapor
	Reflector parabólico		$5 \leq C \leq 15$	$67 < T < 287$		
	Refractor Fresnel			$67 < T < 287$		
	Refractor cilíndrico		$10 < C < 50$	$67 < T < 267$		
	Reflector de plato parabólico		$100 < C < 1000$	$67 < T < 927$		Descontaminación
	Reflector de plato esférico		$100 < C < 300$	$67 < T < 727$		
	Campo de heliostatos		$100 < C < 1500$	$127 < T < 2727$		

Fuente: (Universidad Autónoma de Baja California, 2006)
 Realizado por: Quirola, M. 2016

Cuadro 2-1: Tipos de materiales de las células fotovoltaicas

CÉLULAS DE ARSENIURO DE GALIO	<i>Rendimiento cercano al 27% - 28%, tecnología poco avanzada y costes elevados*</i>
CÉLULAS DE SULFURO DE CADMIO Y SULFURO DE AZUFRE	<i>Bajos rendimientos. Posible alternativa de bajo coste en el futuro*</i>
CÉLULAS BIFACIALES	<i>Células activas en sus dos caras. Rendimiento cercano al 30% pero muy caras y complejidad en la instalación*</i>
CÉLULAS DE SILICIO AMORFO	<i>Posee la ventaja de que su espesor llega a ser 50 veces más fino que el equivalente en células de silicio monocristalino. Eficiencia en torno al 9%, pudiendo aumentar en las versiones multicapa. Costes muy económicos*</i>
CÉLULAS DE SILICIO POLICRISTALINO	<i>Rendimiento de hasta el 14%. Posibilidad de producirlas directamente en forma cuadrada, por lo que no es necesario el posterior mecanizado*</i>
CÉLULAS DE SILICIO MONOCRISTALINO	<i>Son las más empleadas en la actualidad. No olvidemos que el silicio es el material más abundante en la Tierra después del oxígeno*</i>

Fuente*: (Gobierno de Canarias Dirección General de industria y energía, 2009)

1.2.5.5. Células y paneles fotovoltaicos

- Funcionamiento y Rendimiento

Las células fotoeléctricas son módulos fundamentados en la acción de radiación luminosa sobre ciertos materiales, normalmente metales. Los resultados de esas radiaciones tienden a ser de tres tipos *efecto fotoemisivo o fotoexterno* origina un arranque de electrones con liberación de los mismos, *efecto fotoconductor o fotointerno* modifica la conductividad eléctrica del material *efecto fotovoltaico* crea una fuerza electromotriz en el material (Gobierno de Canarias Dirección General de industria y energía, 2009).

El buen rendimiento de las células solares depende del material que las constituye y de la energía de los electrones el cual no debe ser muy baja ya que se existiría un malgasto de la energía del fotón, ni

muy alta pues entonces sólo los fotones más energéticos del espectro solar podrían romper los enlaces, el silicio es el material más usado con una energía de 1.1 eV, el arseniuro de galio con energía de 1.4 eV, teniendo las mejores características, pero con un alto costo. El sulfuro de cobre, con 1.2 eV de energía es un material competente. El rendimiento alcanzado en el laboratorio de las células de silicio monocristalino es del 22% - 24%, pero en la fabricación masiva éste baja a un valor aproximado del 15%, lo que de cada 100 vatios que recibimos del Sol, tan sólo 15 se aprovechan para nuestro uso. Los factores para el bajo rendimiento de las células fotovoltaicas son (Gobierno de Canarias Dirección General de industria y energía, 2009):

- Energía insuficiente de los fotones incidentes
- Pérdidas por recombinación
- Pérdidas por reflexión
- Pérdidas por los contactos eléctricos
- Pérdidas por resistencia serie

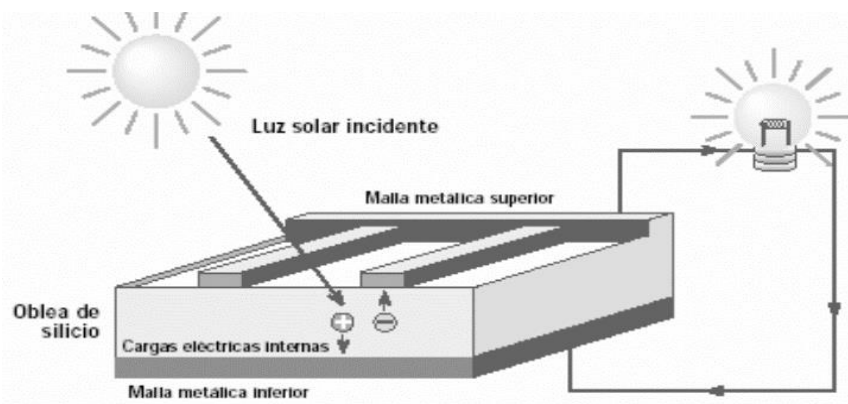


Figura 10-1: Efecto fotovoltaico

Fuente: (Gobierno de Canarias Dirección General de industria y energía, 2009)

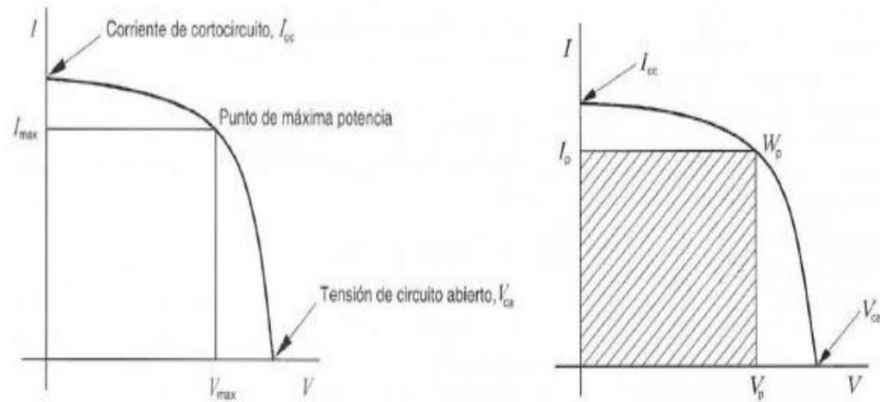


Figura 11-1: Curvas de comportamiento de la célula solar
Fuente: (Gobierno de Canarias Dirección General de industria y energía, 2009)

- Factores y elementos para el cálculo del sistema fotovoltaico

Los factores para diseñar el sistema fotovoltaico dependen de la cantidad de radiación solar recibida y de la demanda diaria de energía. El consumo eléctrico del equipo receptor se determina por la potencia eléctrica (W) consumida, multiplicada por las horas de funcionamiento.

Es importante analizar los datos de radiación solar y las condiciones meteorológicas de la zona de instalación, es decir, datos concernientes a nubosidad, precipitaciones máximas y mínimas, temperaturas máximas, mínimas y medias, etc., de estos factores depende el cálculo del sistema; las tablas de radiación se representan en las medias de diversos años y valores promedios asegurando mayor fiabilidad en los datos (Gobierno de Canarias Dirección General de industria y energía, 2009).

- Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico aislado/autónomo

Primero se introduce el concepto fundamental, de “*Horas Pico de sol*” o HPS [horas], que es el número de horas de irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 . Es decir, un “HPS” equivale a 1 Kwh/m^2 o 3.6 MJ/m^2 . Se contabiliza la energía recibida del sol mediante paquetes, siendo cada “paquete” de 1 hora recibiendo 1000 watts/m^2 (SunFields, 2016).

Para calcular:

$$HPS = \frac{\text{valor de irradiación incidente}}{\text{valor de la potencia de irradiancia en condiciones estándar de medida (STC)}}$$

Con estas condiciones se cumplen las características eléctricas de los módulos fotovoltaicos. El valor de irradiancia en condiciones estándar de medida es de 1000 watts/m². Es decir, para obtener los datos de irradiación solar de un determinado día se divide para 1000, obteniéndose los HSP.

Para dimensionar el sistema fotovoltaico autónomo se requiere:

- i. *Estimación del consumo*, es necesario conocer los datos de consumo, siendo lo más preciso posibles para evitar desviaciones en el dimensionamiento, en el caso de las instalaciones para viviendas el uso diario de todo el año escogiéndose el valor medio del año
- ii. *Datos del lugar* para conocer la irradiación de la que dispondremos de la zona
- iii. *Dimensionado del generador fotovoltaico* número de paneles necesarios
- iv. *Dimensionado del sistema de acumulación* (número de baterías), es importante tener en cuenta los días de autonomía de la instalación, para propósitos domésticos se dispone entre 3-5 días de autonomía y de 6 a 7 días en caso de tratarse de lugares con baja irradiación donde pueden producirse periodos de varios días en condiciones de poca luz. Para sistemas remotos suelen tomarse 7 y 10 días de autonomía (Europa SunFields, 2007).
- v. *Dimensionado del regulador*
- vi. *Dimensionado del inversor*

1.2.6. Tratamientos empleados en el agua

El agua es un recurso imprescindible y necesario para el progreso de la vida; por tal motivo, su sistema de tratamiento debe ser evaluado y controlado periódicamente, para garantizar su calidad para el consumo humano. La disponibilidad del agua apta para la preparación de alimentos, la higiene personal y doméstica, la agricultura y la producción de energía, es fundamental para garantizar la salud y el bienestar de los seres humanos. (Silva, y otros, 2004).

1.2.6.1. Osmosis inversa

Se basa en la aplicación de presión sobre una disolución concentrada a través de unas membranas. Al efectuarse ese proceso la mayor parte de las sales disueltas quedan retenidas y consigue agua con una menor concentración salina (Gómez, 2011).

1.2.6.2. Agua tratada con ozono

Sobre la calidad de la desinfección con ozono, esta es mejor conseguida que con la cloración, debido al efecto oxidante del ozono. Con el ozono se alcanza a eliminar virus, bacterias y microorganismos que son resistentes al cloro. Además, actúa con gran rapidez por lo que en pocos segundos se pueden realizar tratamientos muy efectivos (Gómez, 2011).

1.2.6.3. Filtros de carbón activado

El agua transita través de un filtro con carbón activado, en bloque o granular. Es uno de los sistemas de tratamientos de agua muy eficientes para eliminar el cloro, mal olor y sabor del agua y también puede eliminar sólidos pesados (Gómez, 2011).

1.2.6.4. Floculación/Sedimentación

Es un proceso de tratamiento de agua que combina o coagula partículas pequeñas, que se asientan en el agua como sedimento. El Aluminio y las sales de hierro o polímeros sintéticos orgánicos se usan generalmente para promover la coagulación. La sedimentación ocurre naturalmente como partículas floculadas que se compactan unas con otras sedimentándose en la superficie debido a su peso (Gómez, 2011).

1.2.6.5. Intercambio de Iones

Este proceso se usa para extraer contaminantes inorgánicos, puede ser utilizado para tratar el agua dura, extraer arsénico, exceso de fluoruro, nitratos, radio y uranio (Gómez, 2011).

1.2.6.6. Filtración

Mediante este tratamiento se extrae todas las partículas del agua, incluyendo limo, materia natural orgánica, hierro, manganeso y microorganismos. La filtración clarifica el agua y realza la efectividad de desinfección (Gómez, 2011).

1.2.6.7. Desinfección

El agua se desinfecta previo a su entrada al sistema de distribución para asegurar que los microorganismos potencialmente peligrosos se eliminen. El cloro, clóramelos, o dióxido de cloro son usados frecuentemente por su alta efectividad de desinfección, en el proceso de tratamiento dentro la planta y en las tuberías que se distribuyen el agua. El ozono es un desinfectante potente, y la **radiación ultravioleta** es un desinfectante eficaz para el tratamiento de agua en fuentes respectivamente limpias; pero ninguna de estas es efectiva para controlar contaminantes biológicos en las tuberías de distribución (Gómez, 2011).

1.2.6.8. Adsorción

Los contaminantes orgánicos, colorantes y compuestos que causantes de sabor y olor adhiere a la superficie del carbón activado en polvo o granulado así eliminándose del agua de consumo (Gómez, 2011).

1.2.6.9. Pre tratamiento

Su objetivo es preparar el agua residual para facilitar los tratamientos y resguardar las instalaciones de erosiones y taponamientos. Usa equipos tales como rejillas, tamices, desarenadores y desengrasadores (Gómez, 2011).

1.2.7. Parámetros indicadores microbiológicos en el agua

Los indicadores microbiológicos actúan de forma similar a los patógenos, en concentración y reacción frente a factores ambientales; son particularmente más rápidos, económicos y fáciles de identificar. El monitoreo y la evaluación de seguridad microbiológica en los sistemas o redes de distribución en

el abastecimiento de agua potable, se basa en la determinación de microorganismos intestinales normales, como indicadores de contaminación. Cuando existe evidencia de presencia de grupos indicadores de contaminación microbiológica, se concluye que los patógenos se hallan presentes en la misma concentración y su comportamiento frente a diferentes factores es similar a la del indicador (Cajamarca, y otros, 2011).

1.2.7.1. Principales indicadores microbiológicos

- Bacterias

Son organismos unicelulares con un tamaño entre 0,1 y 10 μm . De acuerdo a su forma, componentes, tamaño y la manera a la cual crecen, se clasifican en cuatro categorías: cocos, bacilos, espirilos y otros. En el agua se hallan con mayor frecuencia bacterias entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y son eliminadas a través de las heces fecales (Cajamarca, y otros, 2011).

- Coliformes totales y fecales

Es un grupo de bacterias con características bioquímicas en común; estos son bacilos gramnegativos con motilidad por flagelos y anaerobios facultativos. Entre sus géneros se encuentran *Klebsiella*, *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Serratia*.

Se usan como indicador de contaminación bacteriana debido a:

- Patógenos comunes del tracto gastrointestinal
- Mayor viabilidad en el agua que las bacterias patógenas
- Indicador de mal tratamiento o contaminación posterior a su tratamiento
- La determinación de coliformes totales en el agua se usa como indicador de la eficacia del tratamiento de desinfección.

Los coliformes termorresistentes también conocidos como fecales, son microorganismos que tiene la característica de fermentar la lactosa de 44 a 45°C. En este grupo podemos encontrar los géneros: *Escherichia coli* (E. coli) que son indicadores de contaminación del grupo tifoide-paratifoide y en

menor grado, especies de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*. La reproducción de coliformes fecales fuera del intestino de los animales se debe a la existencia de condiciones óptimas de materia orgánica, pH, humedad, etc. Además, se pueden reproducir en biopelículas dentro de las tuberías de distribución de agua potable (Cajamarca, y otros, 2011).

- Virus

En comparación con las bacterias, los virus no se hallan habitualmente en las heces del hombre. Solamente se encuentran presentes en el tracto gastrointestinal de individuos infectados. Más de 140 virus patógenos son transmitidos al hombre a través del agua contaminada. Los virus más comunes son los virus causantes de gastroenteritis y el virus de la hepatitis (Cajamarca, y otros, 2011).

- Parásitos

Los parásitos son organismos patógenos para los seres vivos y se clasifican en dos grupos:

Protozoos son organismos unicelulares cuyo ciclo de vida incluye una forma vegetativa (trofozoito) y una forma resistente (quiste). El estado de quiste de estos organismos es relativamente resistente a la inactivación por medio de los sistemas de tratamiento convencional de agua residual; tal como sucede con los quistes del género *Giardia* (Cajamarca, y otros, 2011).

Helminths son organismos pluricelulares muy complejos con tejidos y órganos diferenciados. Su tamaño puede variar, pudiendo llegar hasta alcanzar varios metros de longitud. Se dividen en dos grandes grupos: platelmintos (gusanos de cuerpo aplanado) y nematelmintos (gusanos de cuerpo cilíndrico) (Cajamarca, y otros, 2011).

1.2.8 Eliminación de patógenos en el agua mediante temperatura y radiación UV

Cuadro 3-1: Temperatura y tiempo de exposición para la eliminación de patógenos

ORGANISMO	OBSERVACIONES
<i>Salmonella typhosa</i>	Sin crecimiento por encima de 46°C, eliminación en 30 minutos a 55-60°C y en 20 minutos a 60°C
<i>Salmonella sp.</i>	Eliminación en 1 hora a 55°C y en 15-20 minutos a 60°C
<i>Shigella sp.</i>	Eliminación en 1 hora a 55°C
<i>Escherichia coli</i>	Eliminación en 1 hora a 55°C y en 15-20 minutos a 60°C
<i>Entamoeba histolytica</i>	Eliminación en pocos minutos a 45°C y pocos segundos a 55°C
<i>Taenia saginata</i>	Eliminación en pocos minutos a 55°C
<i>Trichinella spiralis</i>	Eliminación rápida 55°C e instantánea 60°C
<i>Brucella abortus</i>	Eliminación en 1 hora a 55°C y en 3 minutos a 62-63°C
<i>Mycrococcus pyogenes var. Aureus</i>	Eliminación en 10 minutos a 50°C
continuación...	Eliminación en 10 minutos a 54°C
<i>Mycobacterium tuberculosis var. Homini</i>	Eliminación en 15-20 minutos a 66°C
<i>Corynebacterium diphtheria</i>	Eliminación en 45 minutos a 55°C
<i>Necator americanus</i>	Eliminación en 50 minutos a 45°C
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Eliminación en menos de 1 hora a temperatura mayores de 50°C

Fuente: Tchobanoglous, Theisen y Vigil, 1994

Tabla 2-1: Dosis de inactivación de microorganismos en agua con radiación ultravioleta (UV)

Microorganismos	Dosis de UV necesaria (Ws/m ²)	% de Reducción
BACTERIAS		
<i>Bacillus anthracis - Anthrax</i>	0,87	99,9
<i>Bacillus anthracis spores – Anthrax spores</i>	24,3	90
<i>Bacillus magaterium sp. (spores)</i>	0,52	99,9
<i>Bacillus magaterium sp. (veg.)</i>	0,25	99,9
<i>Bacillus paratyphus</i>	0,61	99,9
<i>Bacillus subtilis spores</i>	5,8	99,9
<i>Bacillus subtilis (veg.)</i>	1,1	99,9
<i>Clostridium tetani</i>	2,2	99,9
<i>Corynebacterium diphtheriae</i>	0,65	99,9
Coliformes totales	0,82	99,9
<i>Ebertelia typhosa</i>	0,41	99,9
Escherichia coli	0,66	99,9
<i>Leptospira canicola-infectious Jaundice</i>	32	90
<i>Micrococcus candidus</i>	1,23	99,9
<i>Micrococcus sphaeroides</i>	1,54	99,9
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	1	99,9
<i>Neisseria catarrhalis</i>	0,85	99,9
<i>Phytomonas tumefaciens</i>	0,85	99,9
<i>Proteus vulgaris</i>	0,86	99,9
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	1,05	99,9
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	35	90
<i>Salmonella enteritidis</i>	0,76	99,9
<i>Salmonella paratyphi – Fiebre entérica</i>	0,61	99,9
<i>Salmonella typhosa – Fiebre tifoidea</i>	0,6	99,9
<i>Salmonella typhimurium</i>	80	90
<i>Sarcina lutea</i>	2,64	99,9
<i>Serratia marcescens</i>	0,62	99,9

A continuación...

<i>Shigella dysenteriae</i> - Disenteria	0,42	99,9
<i>Shigella flexneri</i> - Disenteria	17	90
<i>Shigella paradysenteriae</i>	17	90
<i>Spirillum rubrum</i>	44	90
<i>Staphylococcus albus</i>	0,572	99,9
<i>Staphylococcus aureus</i>	0,7	99,9
<i>Staphylococcus hemolyticus</i>	0,56	99,9
<i>Staphylococcus lactis</i>	0,88	99,9
<i>Streptococcus viridans</i>	0,38	99,9
<i>Vibrio cholerae</i>	0,85	99,9
<i>Vibrio salmonicida</i>	2,9	99,9
<i>Vibrio anguillarum</i>	2,2	99,9
PROTOZOOS		
<i>Chlorella Vulgaris</i>	130	90
Huevos de nemátodo	450	90
Paramecio	20	99,9
VIRUS		
Bacteriófago de E. coli	0,66	99,9
Hepatitis	0,8	99,9
Influenza	0,66	99,9
Poliovirus - Poliomyelitis	2,1	99,9
Rotavirus	2,4	99,9
IPNV (Necrosis pancreática infecciosa)	20	99,9

Fuente: (DecRen Water Consult, 2008) (GroovyStress, 2009) (Rojas, y otros, 2014)

CAPITULO II

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. Metodología

2.1.1. Evaluación del dispositivo termosolar en la desinfección de coliformes totales presentes en el agua

2.1.1.1. Reconocimiento de las características y eficiencia térmica del dispositivo termosolar

Se determina la eficiencia térmica del dispositivo con la que se desempeña según sus características, aplicándose las siguientes ecuaciones:

Cuadro 4-2: Características del dispositivo termosolar

Tanque	Diámetro externo: 0,457 m Diámetro interno: 0,371 m Longitud: 1,73 m Revestimiento de poliuretano: 0,086 m Volumen: 200 litros
Tubos al vacío	Diámetro externo: 0,056 m Diámetro interno: 0,044 m Longitud: 1,63 m Número de tubos: 20
Grados de inclinación	13°
Coefficiente de transmisión calorífica del material (λ)	Poliuretano: 0,037 W/mK Acero: 0,15 W/mK
Transmitancia térmica (k) (por convección)	Agua: 158,17 W/m ² K Ambiente: 3,3 W/m ² K

Fuente: CENTRO DE INVESTIGACION DE ENERGÍAS ALTERNATIVAS FACULTAD DE CIENCIAS ESPOCH
Realizado por: Quirola, M. 2016

a) Resistencias térmicas por convección de los tubos al vacío con el ambiente y el agua

$${}^1A = \pi r^2 \quad \text{Ecuación 5-2}$$

$${}^2R = \frac{L}{Ak_1} \quad \text{Ecuación 6-2}$$

b) Resistencias térmicas para geometría cilíndrica (acero inoxidable, poliuretano)

$${}^3R = \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right)}{2\pi\lambda L} \quad \text{Ecuación 7-2}$$

c) Resistencia total del equipo

$${}^4\sum R_T = R_{ambiente} + R_{agua} + R_{acero\ inoxidable} + R_{poliuretano} \quad \text{Ecuación 8-2}$$

d) Flujo de calor (q)

$${}^5\Delta T = T_{fluido} - T_{ambminprom} \quad \text{Ecuación 9-2}$$

$${}^6q = \frac{\Delta T}{\sum R_T} \quad \text{Ecuación 10-2}$$

e) Factor de corrección (vidrio, pintura azul de recubrimiento)

^{1, 2, 3, 4, 5, 6} (Jiménez Patiño, y otros, 2014) (Domingo, 2011) (Castro Araya, 2012) (Guevara Vasquez, 2003)

$${}^7\alpha_s = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_d} \quad \text{Ecuación 11-2}$$

Donde:

$\tau = 0,91$ (transmisividad de los tubos de vidrio de silicio)

$\alpha = 0,95$ (absortividad de los tubos recubiertos de cobre)

$\rho_d = 0,16$ (reflectancia difusa para tubos al vacío)

$\tau = 0,78$ (transmisividad pintura azul)

$\alpha = 0,95$ (absortividad de los tubos recubiertos de cobre)

$\rho_d = 0,16$ (reflectancia difusa para tubos al vacío)

f) Promedios de factor de corrección ($\alpha_{s(\text{vidrio})}$, $\alpha_{s(\text{pintura azul})}$)

$${}^8\alpha_{s(v,pa)} = \frac{\alpha_{s(\text{vidrio})} + \alpha_{s(\text{pintura azul})}}{2} \quad \text{Ecuación 12-2}$$

g) Área de incidencia

$${}^9A_{\text{incidencia}} = \frac{d_{i-\text{tubos al vacío}} * \pi * L * 20}{2} \quad \text{Ecuación 13-2}$$

h) Calor incidente ($Q_{\text{incidente}}$)

$${}^{10}Q_{\text{incidente}} = I_p * \alpha_s * A_{\text{incidencia}} \quad \text{Ecuación 14-2}$$

^{7, 8, 9, 10} (Jiménez Patiño, y otros, 2014) (Domingo, 2011) (Castro Araya, 2012) (Guevara Vasquez, 2003) (Guevara Vasquez, 2003)

$$Q_{\text{incidente}} = I_p * \alpha_{s(v,pa)} * A_{\text{incidencia}}$$

Donde:

$$I_p = 350,57 \text{ W/m}^2 \text{ (Datos proporcionados por el INER – radiación incidente promedio)}$$

i) Pérdidas en los tubos al vacío

$${}^{11}H_{\text{tubos al vacío}} = U_{Lr} * A(T_c - T_a) \text{ Ecuación 15-2}$$

Donde:

$$U_{Lr} = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ (coeficiente de pérdidas de calor por radiación en los tubos al vacío)}$$

A = área de captación

T_c = temperatura de la cubierta (valor promedio 18°C, $K = C + 273.15$)

T_a = temperatura ambiente (valor promedio 16°C)

j) Pérdidas en el tanque acumulador

$${}^{12}H_{\text{tanque acumulador}} = H_{\text{conducción}} + H_{\text{convección}} + H_{\text{radiación}} \text{ Ecuación 3-2}$$

$$A = 2\pi r(r + l) \text{ Ecuación 16-2}$$

^{11,12} (Jiménez Patiño, y otros, 2014) (Domingo, 2011) (Castro Araya, 2012) (Guevara Vasquez, 2003)

Para el valor de T_i se promedia la temperatura óptima y mínima del líquido $T_i = 61^\circ\text{C}$

$${}^{13}H_{\text{conducción}} = kA \frac{(T_i - T_a)}{L} \text{ Ecuación 17-2}$$

$${}^{14}H_{\text{convección}} = hA(T_i - T_a) \text{ Ecuación 18-2}$$

$${}^{15}H_{\text{radiación}} = \varepsilon\sigma A(T_i - T_a) \text{ Ecuación 19-2}$$

Donde:

k = coeficiente de transferencia de calor por conducción del material

h = coeficiente de transferencia de calor por convección

ε = emisividad de la superficie del equipo (0,20)

σ = constante de Stefan- Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}$)

k) Pérdidas totales de calor en el calentador solar

$${}^{16}H_{\text{total}} = H_{\text{tubos al vacío}} + H_{\text{tanque acumulador}} \text{ Ecuación 20-2}$$

l) Calor útil

$${}^{17}Q_u = Q_{\text{incidente}} - H_{\text{total}} \text{ Ecuación 21-2}$$

13, 14, 15, 16, 17 (Jiménez Patiño, y otros, 2014) (Domingo, 2011) (Castro Araya, 2012) (Guevara Vasquez, 2003)

m) Eficiencia térmica del dispositivo

$$18\eta = \frac{Q_u}{Q_{incidente}} * 100 \% \text{ Ecuación 22-2}$$

2.1.1.2. Monitoreo de las temperaturas alcanzadas por el dispositivo termosolar

La medición de las temperaturas en el dispositivo solar se efectuó mediante Termocuplas tipo K en el ingreso y salida de agua del sistema y sensores LM35 en tres puntos en interior del tanque. Los resultados del monitoreo de las temperaturas se presentan en un tiempo de 6 días en un horario de 9 am a 5 pm.

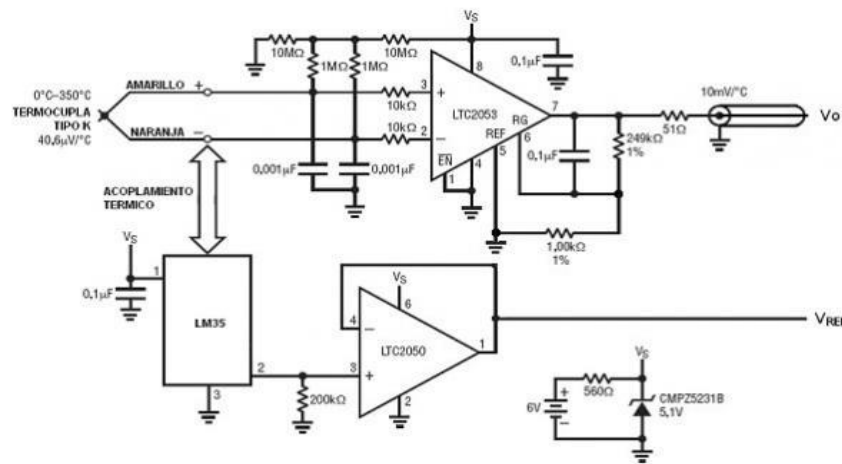


Figura 12-2: Diagrama del circuito de la termocupla tipo K y el sensor LM35
Fuente: (Marcano, 2008)

¹⁸ (Jiménez Patiño, y otros, 2014) (Domingo, 2011) (Castro Araya, 2012) (Guevara Vasquez, 2003)

2.1.1.3. Conducta meteorológica (nubosidad) del Ecuador (1990-2012)

Mediante los datos registrados en los anuarios meteorológicos del INAMHI durante los años 1990-2012 de cada estación meteorológica existente en el país, se recolectaron los datos de las estaciones meteorológicas Cebadas, Guaslán y Riobamba Politécnica para tener una representación del comportamiento sobre la cantidad de nubosidad presente en el lugar donde se realizó la experimentación con el dispositivo termosolar (Riobamba-Provincia de Chimborazo).

2.1.1.4. Recolección de muestras de agua en el dispositivo solar

Para el análisis de calidad de agua se recolectaron 7 de muestras de agua después de pasar por el dispositivo termosolar como tratamiento de desinfección; una muestra inicial se tomó del agua almacenada de varios días, las siguientes muestras se recolectaron una vez que el tanque estuvo lleno con el agua a temperatura ambiente, se tomaron en lapsos de 15 minutos con una nubosidad presente de 5-6 octas. También se tomó una muestra de agua de riego (testigo).

Tabla 3-2: Ficha de recolección de muestras del agua en el dispositivo solar

<i>Fecha</i>	<i>Muestra</i>	<i>Hora</i>
3 de agosto 2016	Cód. 1	10h40
	Cód. 2	11h00
	Cód. 3	11h15
	Cód. 4	11h30
	Cód. 5	11h45
	Cód. 6	12h00
	Cód. 7	13h00
	Cód. 8 (Testigo)	13h10

Realizado por: Quirola, M. 2016

2.1.1.5. Análisis de coliformes totales

En el recuento de Coliformes totales se aplicó la técnica de placa Petrifilm 3M que contiene nutrientes del Violeta Rojo Bilis (VRB), que es un agente gelificante soluble en agua fría y un indicador de tetrazolio que facilita la enumeración de colonias. El análisis se realizó en el departamento de Ciencias Biológicas de la Facultad de Recursos Naturales, ESPOCH.

Materiales, Equipos y Reactivos

- Placas 3M™ Petrifilm™ para recuentos de coliformes
- Pipeta automática (1ml)
- Cámara de siembra
- Incubadora
- pH metro
- Muestras de agua
- Mechero bunsen

Procedimiento

Primero codificar las muestras de agua, después esterilizar los materiales en la cámara de siembra mediante radiación UV para sembrar sacar las placas necesarias a utilizarse e inocular en la placa Petrifilm 1mL de agua de cada uno de las muestras respectivamente con una pipeta automática, colocando en el centro del film inferior y cubrimos. Incubar a 37°C por 24 horas y realizar el conteo de coliformes totales confirmados las colonias rojas asociadas a burbujas de gas.

2.1.2. Cálculo del tiempo de exposición del agua dentro del dispositivo termosolar mediante la aplicación de una lámpara de UV-C germicida con potencia de 40W en la desinfección de coliformes totales.

Mediante la Ecuación 3-1 y la Tabla N° 2-1 se determinó la ecuación del tiempo de exposición del agua en la desinfección de coliformes totales y en casos extremos de *E. Coli* y Nemátodos, llevándose a cabo según la capacidad de volumen del tanque del dispositivo termosolar.

Ecuación de dosis de exposición:

$${}^{19}D = \frac{(I)(t_{exp})}{A_{rad}} \text{ Ecuación 3-1}$$

Despejamos el tiempo de exposición de la ecuación

$$t_{exp} = \frac{D * A_{rad}}{I} \text{ Ecuación 23-2}$$

Donde:

Área del tanque (A_{rad}) = 2,3 m²

Intensidad de UV = 40 W

Datos:

²⁰Dosis de inactivación de UV necesaria (Ws/m²) para coliformes totales = 0,82

²¹Dosis de inactivación de UV (Ws/m²) para *E. coli* = 0,66

²²Dosis de inactivación de UV necesaria (Ws/m²) para nemátodos = 450

¹⁹ (Díaz Díaz M., y otros, 2015)

^{20, 21, 22} (DecRen Water Consult, 2008) (GroovyStress, 2009) (Rojas, y otros, 2014)

2.1.3. Dimensionamiento del sistema de desinfección solar

2.1.3.1. Mapas de insolación global del Ecuador

En base al Atlas Solar del Ecuador se evaluó el potencial solar aprovechable y las posibilidades de generación eléctrica mediante el uso de mapas de insolación global por mes y promedio del año 2008. (ANEXO G)

2.1.3.2. Especificaciones de la Lámpara de UV

Modelo: 02940

Marca: Danner compatible

Categoría: Ionizadores y esterilizadores UV

Familia: Lámpara germicida UV-C sumergible

Potencia: 40 W

Vida promedio: 10000 horas

Pico espectral: 253.7 nm

2.1.3.3. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

- I. Tiempo de funcionamiento de las lámparas para la desinfección del agua con coliformes totales

La estimación del tiempo de funcionamiento se basó en el caudal máximo diario en zonas rurales del país por lo que se estableció la dotación de agua y el número de habitantes (tomándose el promedio entre los rangos establecidos), según CPE INEN 005-9-2 (ANEXO E)

- *Caudales de diseño*

Caudal medio

$$^{23}Q_m = f * P * D \quad \text{Ecuación 24-2}$$

Donde:

Q_m = Caudal medio (L/s)

f= factor de fugas (para lla es el 20%)

P= población

D= dotación (L/Hab*día)

Caudal máximo diario

$$^{24}QMD = KMD * Q_m \quad \text{Ecuación 25-2}$$

Donde:

QMD = Caudal máximo diario (L/s)

KMD = Factor de mayoración diario (valor: 1,25)

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación 26-2}$$

Despejamos

$$V = Q * t \quad \text{Ecuación 27-2}$$

²³ (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 1997)

²⁴ (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 1997)

$$V = QMD * t \text{ Ecuación 28-2}$$

$$t_{DA} = \frac{V * t_{exp}}{V_{tanque}} \text{ Ecuación 29-2}$$

II. Estimación de consumo

III. Consumos medios diarios

$$^{25}L_{md} = \frac{L_{md,DC} + \frac{L_{md,AC}}{\eta_{inv}}}{\eta_{bat} * \eta_{con}} \text{ Ecuación 30-2}$$

$$L_{md,DC} = 0$$

$$^{26}L_{md} = \frac{\frac{L_{md,AC}}{\eta_{inv}}}{\eta_{bat} * \eta_{con}} \text{ Ecuación 31-2}$$

Dónde: (estándar)

Rendimiento de la batería (η_{bat}) = 95%

²⁵ (Europa SunFields, 2007)

²⁶ (Europa SunFields, 2007)

Inversor (η_{inv}) = 90%

Conductores (η_{con}) = 100%

IV. Tamaño del panel fotovoltaico

Se basa en una eficiencia promedio del 10%, en este caso la fórmula siguiente calcula el tamaño del sistema con una eficiencia de 1200 debido a que la eficiencia del sistema es siempre un poco más baja que la eficiencia del panel.

$${}^{27}\Delta_r(Wp) = \frac{\text{eficiencia} * L_{md}(\text{kWh} / \text{día})}{\text{irradiación global máxima promedio} (\text{kWh} / \text{m}^2 / \text{día})} \text{ Ecuación 32-2}$$

V. Número total de módulos necesarios

$$HPS_{crit} = \frac{\text{valor de irradiación incidente}}{\text{valor de la potencia de irradiancia en condiciones estándar de medida (STC)}}$$

Donde:

Irradiancia = 1000 W/m² (condiciones estándar)

Irradiación incidente (valor máximo del mapa de radiación solar global – mes crítico, noviembre)

$${}^{28}N_T = \frac{L_{md}}{P_{MPP} * HPS_{crit} * PR} \text{ Ecuación 33-2}$$

²⁷ (HANWHA Find more about our Solar Energy Solutions, 2009)

²⁸ (Europa SunFields, 2007)

Donde:

P_{MPP} = potencia pico del módulo

PR = factor global de funcionamiento que varía entre 0.65 - 0.90

$$P_{MPP} = V_{MPP} * I_{MPP} \text{ Ecuación 34-2}$$

Donde:

I_{MPP} = intensidad de corriente del módulo (0.86 A; +/-0.1)

V_{MPP} = voltaje del módulo (17.5 V; +/-0.5V)

VI. Sistema de generación eléctrica fotovoltaica



Figura 13-2: Diagrama del sistema de generación eléctrica fotovoltaica

Realizado por: Quirola, M. 2016

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

3.1. Conducta del dispositivo termosolar en la desinfección de coliformes totales

3.1.1. Eficiencia térmica del dispositivo termosolar

Tabla 4-3: Resistencias térmicas por convección de los tubos al vacío y geometría cilíndrica

Resistencias térmicas por convección de los tubos al vacío con el ambiente y el agua		
Tubos al vacío	Área externa (m ²)	Resistencia térmica (m°K/W)
	0,0024	205,8
	Área interna (m ²)	Resistencia térmica (m°K/W)
	0,0015	6,87
(R₁ + R₂) m°K/W		212,67
Resistencias térmicas para geometría cilíndrica (acero inoxidable, poliuretano)		
Tanque	Acero inoxidable	0,127
	Poliuretano	0,514
(R_{acero inoxidable} + R_{poliuretano}) (m°K/W)		0,641

Realizado por: Quirola, M. 2016

Tabla 5-3: Cálculos de eficiencia térmica del dispositivo

DIMENSIÓN	NOMENCLATURA	UNIDADES	RESULTADO
Resistencia total del equipo	$\sum R_T$	m°K/W	213,31
Flujo de calor	q	W/m	1,5
Factor de corrección del vidrio	$\alpha_{s(vidrio)}$	-	0,871
Factor de corrección de la pintura azul	$\alpha_{s(pintura\ azul)}$	-	0,75
Promedios de factor de corrección	$\alpha_{s(v,pa)}$	-	0,811
Área de incidencia	$A_{incidencia}$	m ²	2,25
Calor incidente	$Q_{incidente}$	W	639,7
Pérdidas en los tubos al vacío	$H_{tubos\ al\ vacío}$	W	1,85
Área del tanque	A_{tanque}	m ²	2,3
Pérdidas por conducción	$H_{conducción}$	W	8,9
Pérdidas por convección	$H_{convección}$	W	333,96
Pérdidas por radiación	$H_{radiación}$	W	1,15E-06
Pérdidas en el tanque acumulador	$H_{tanque\ acumulador}$	W	342,86
Pérdidas totales de calor en el calentador solar	H_{total}	W	344,1
Calor útil	Q_u	W	295
Eficiencia térmica del dispositivo termosolar	η	%	46

Realizado por: Quirola, M. 2016

3.1.2. Monitoreo de las temperaturas alcanzadas por el dispositivo termosolar

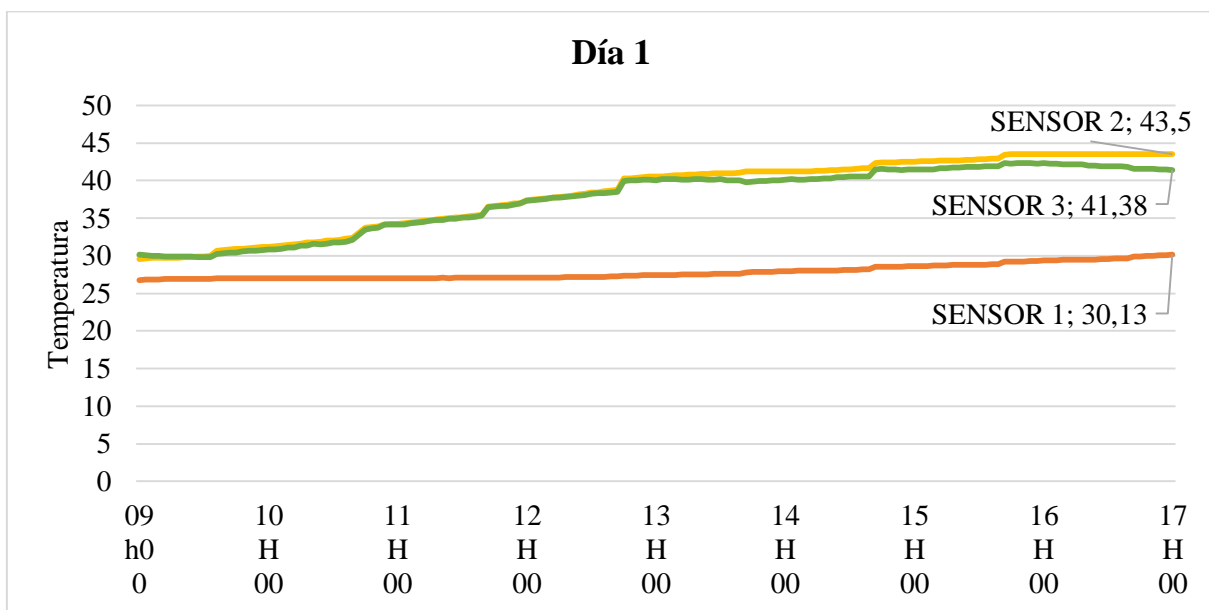


Figura 14-3: Temperaturas alcanzadas en el calentador solar 9 de Mayo del 2016

Fuente: CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS FACULTAD DE CIENCIAS, ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

Realizado por: Quirola, M. 2016

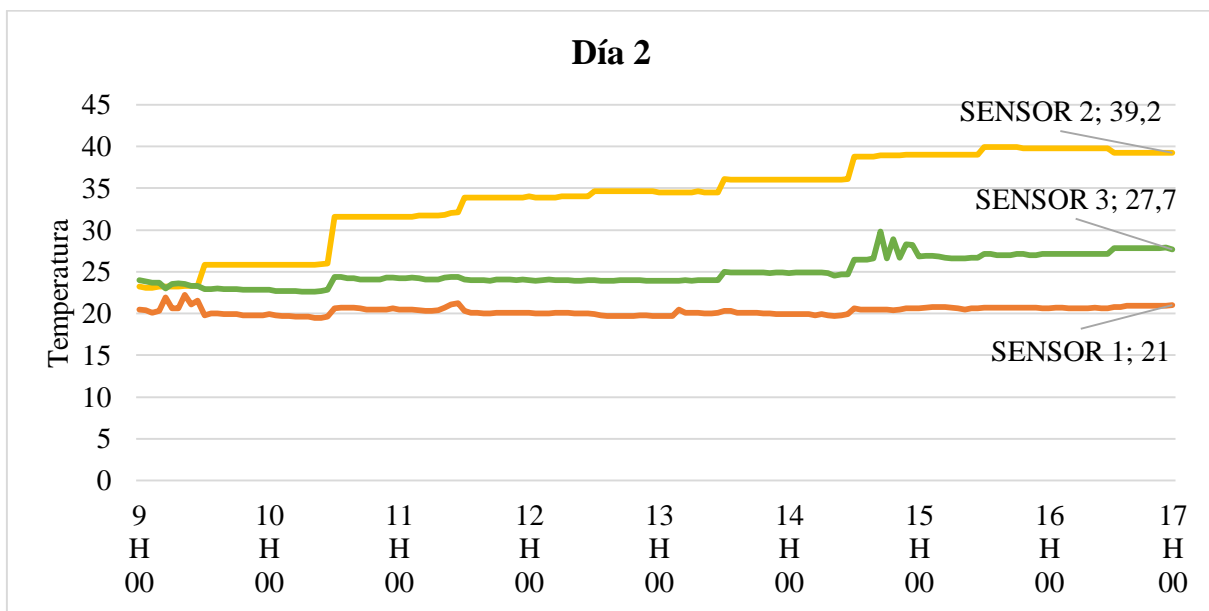


Figura 15-3: Temperaturas alcanzadas en el calentador solar 11 de Mayo del 2016

Fuente: CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS FACULTAD DE CIENCIAS, ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

Realizado por: Quirola, M. 2016

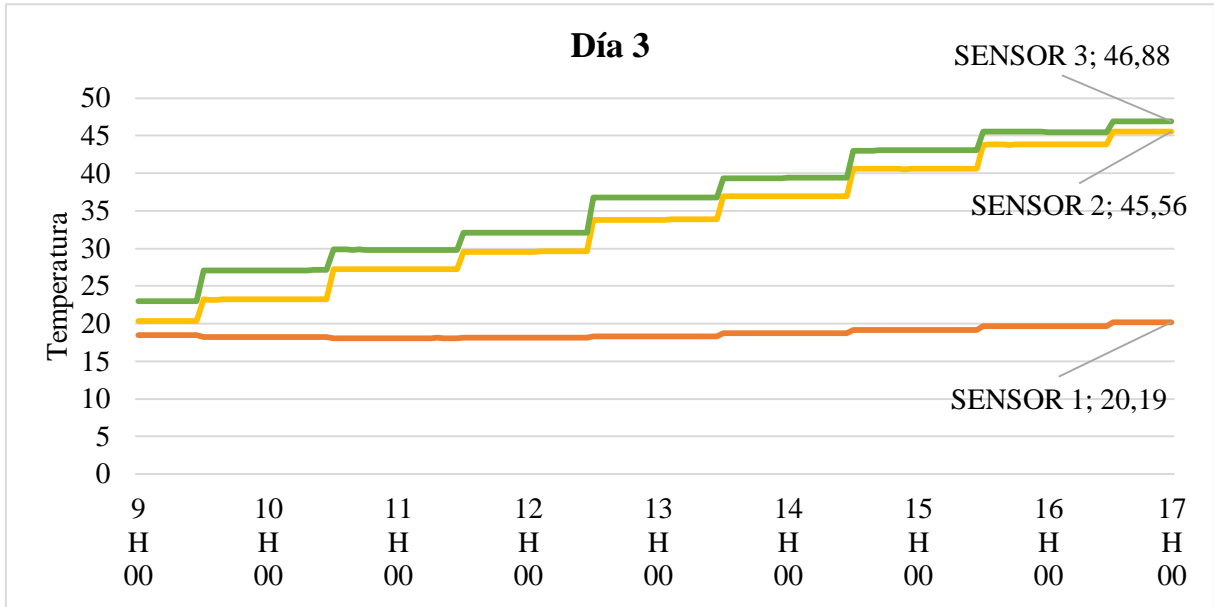


Figura 16-3: Temperaturas alcanzadas en el calentador solar 12 de Mayo del 2016

Fuente: CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS FACULTAD DE CIENCIAS, ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

Realizado por: Quirola, M. 2016

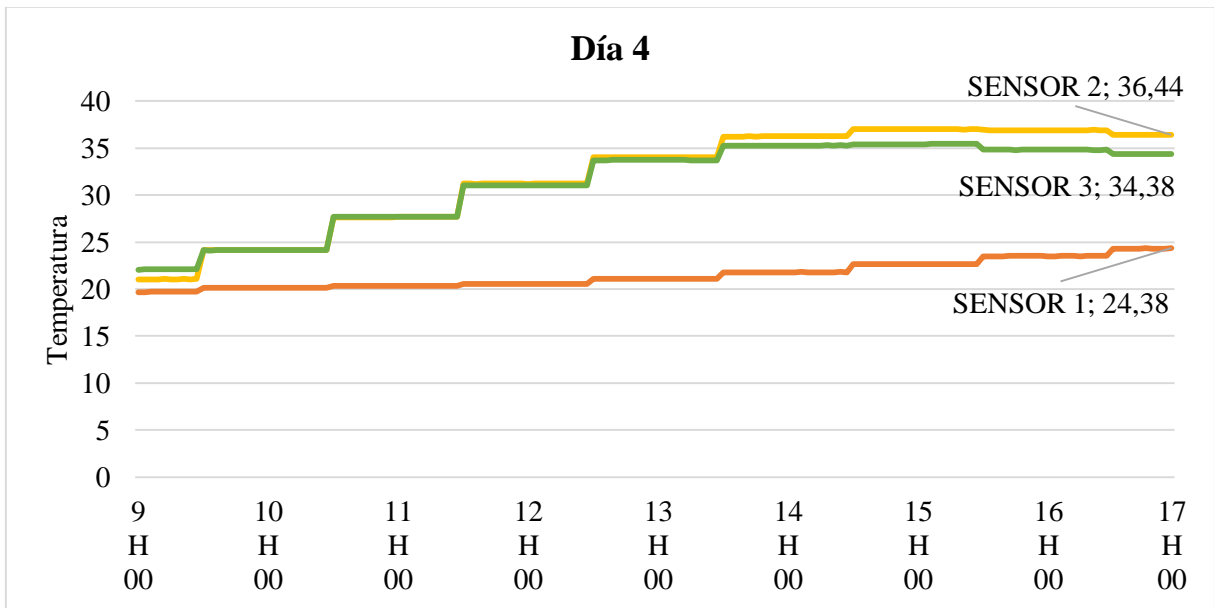


Figura 17-3: Temperaturas alcanzadas en el calentador solar 13 de mayo del 2016

Fuente: CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS FACULTAD DE CIENCIAS, ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

Realizado por: Quirola, M. 2016

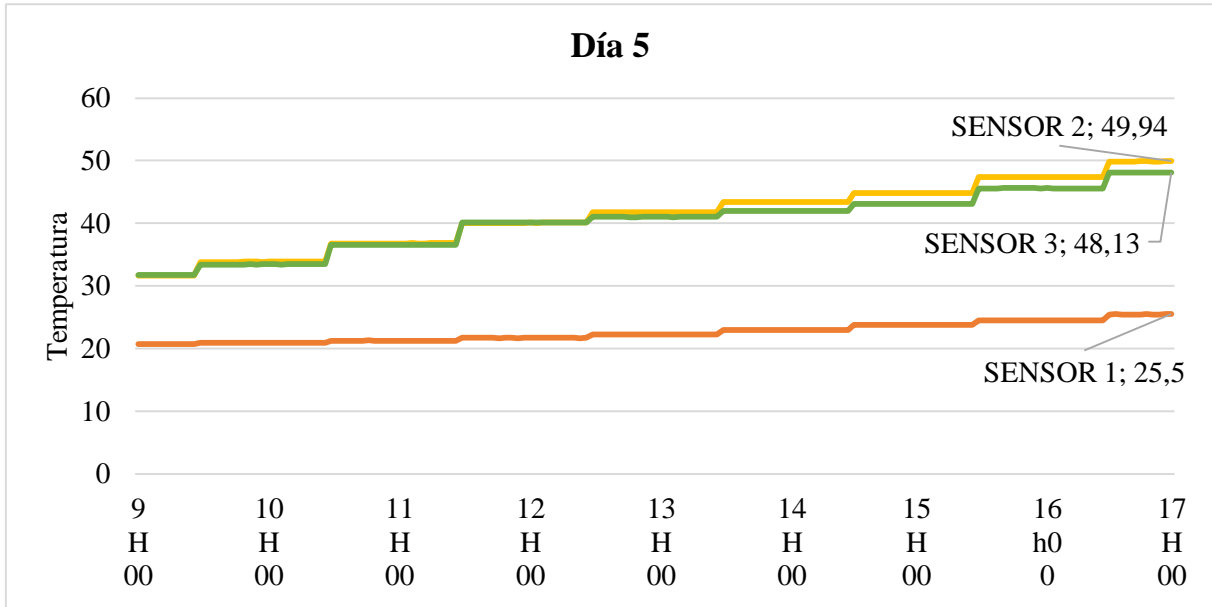


Figura 18-3: Temperaturas alcanzadas en el calentador solar 18 de mayo del 2016

Fuente: CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS FACULTAD DE CIENCIAS, ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

Realizado por: Quirola, M. 2016

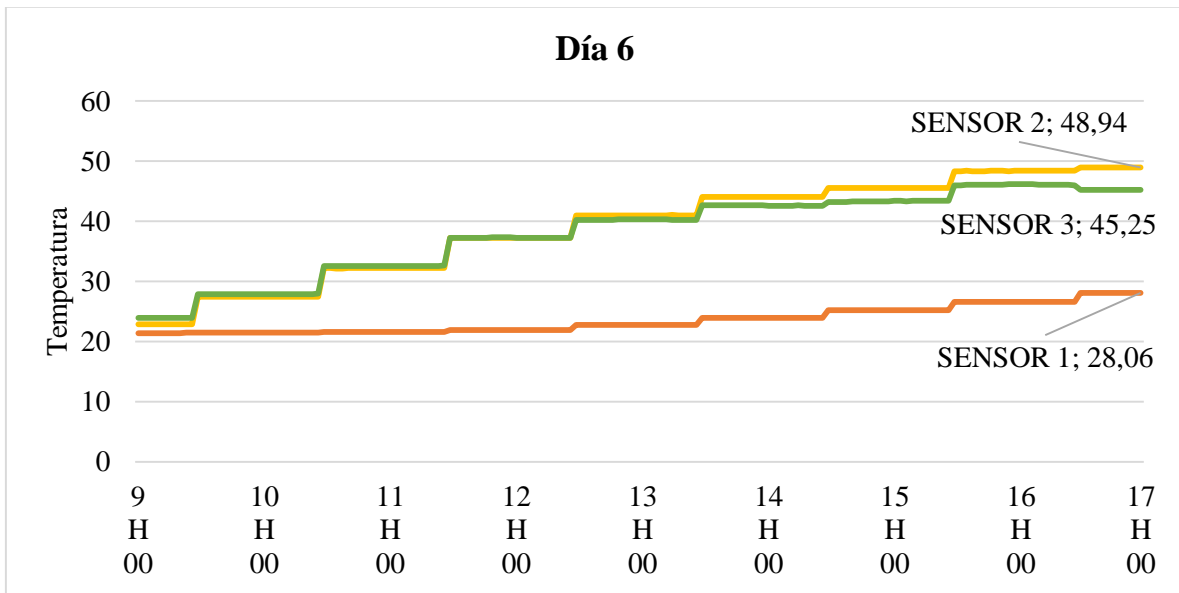


Figura 19-3: Temperaturas alcanzadas en el calentador solar 1 de junio del 2016

Fuente: CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS FACULTAD DE CIENCIAS, ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

Realizado por: Quirola, M. 2016

Tabla 6-3: Resultados de las temperaturas alcanzadas por el dispositivo termosolar en 8 horas

DÍA	9 DE MAYO			11 DE MAYO			12 DE MAYO			13 DE MAYO			18 DE MAYO			1 DE JUNIO		
HORA	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
09h00	26,8	29,6	30	20,5	23,2	24	18,5	20,38	22,9	19,7	21	22,06	20,7	31,6	31,8	21,38	22,88	23,9
	26,8	29,6	30	20,4	23,1	24	18,5	20,38	22,9	19,7	21	22,13	20,7	31,7	31,8	21,38	22,88	23,9
	26,8	29,7	30	20,1	23,1	24	18,5	20,38	22,9	19,8	21	22,13	20,7	31,7	31,8	21,38	22,88	23,9
	26,8	29,7	30	20,3	23,2	24	18,5	20,38	22,9	19,8	21	22,13	20,8	31,7	31,8	21,38	22,88	23,9
	26,9	29,8	30	21,9	23,2	23	18,5	20,38	22,9	19,8	21	22,13	20,8	31,7	31,8	21,38	22,88	23,9
	26,9	29,8	30	20,6	23,2	24	18,5	20,38	22,9	19,8	21	22,13	20,8	31,7	31,8	21,38	22,88	23,9
	26,9	29,8	30	20,6	23,2	24	18,5	20,38	22,9	19,8	21	22,13	20,8	31,7	31,8	21,38	22,88	23,9
	26,9	29,8	30	22,2	23,3	24	18,5	20,38	22,9	19,8	21	22,13	20,8	31,7	31,8	21,38	22,88	23,9
	26,9	29,8	30	21,1	23,3	23	18,5	20,38	22,9	19,8	21	22,13	20,8	31,7	31,8	21,44	22,88	23,9
	26,9	29,9	30	21,5	23,3	23	18,5	20,38	22,9	19,8	21	22,13	20,8	31,7	31,8	21,44	22,88	23,9
	26,9	29,9	30	19,8	25,8	23	18,2	23,25	27,1	20,1	24	24,13	20,9	33,8	33,4	21,44	27,38	27,9
	26,9	30	30	20	25,8	23	18,2	23,19	27,1	20,1	24	24,06	20,9	33,8	33,4	21,44	27,38	27,9
	27	30,7	30	20	25,8	23	18,2	23,19	27,1	20,1	24	24,13	20,9	33,8	33,4	21,44	27,38	27,9
	27	30,8	30	19,9	25,8	23	18,2	23,25	27,1	20,1	24	24,13	20,9	33,8	33,4	21,44	27,38	27,9
	27	30,8	30	19,9	25,8	23	18,2	23,25	27,1	20,1	24	24,13	20,9	33,8	33,4	21,44	27,38	27,9
	27	30,9	30	19,9	25,8	23	18,2	23,25	27,1	20,1	24	24,13	20,9	33,8	33,4	21,44	27,38	27,9
	27	30,9	31	19,8	25,8	23	18,2	23,25	27,1	20,1	24	24,13	20,9	33,8	33,4	21,44	27,38	27,9
	27	31	31	19,8	25,8	23	18,2	23,25	27,1	20,1	24	24,13	20,9	33,9	33,4	21,44	27,38	27,9
27	31,1	31	19,8	25,8	23	18,2	23,25	27,1	20,1	24	24,13	20,9	33,9	33,5	21,44	27,38	27,9	
27	31,2	31	19,8	25,8	23	18,2	23,25	27,1	20,1	24	24,13	20,9	33,9	33,4	21,44	27,38	27,9	
10H00	27	31,2	31	19,9	25,8	23	18,2	23,25	27,1	20,1	24	24,13	20,9	33,8	33,5	21,44	27,38	27,9
	27	31,3	31	19,8	25,8	23	18,2	23,25	27,1	20,1	24	24,13	20,9	33,9	33,5	21,44	27,44	27,9
	27	31,3	31	19,7	25,8	23	18,2	23,25	27,1	20,1	24	24,13	20,9	33,9	33,5	21,44	27,38	27,9
	27	31,4	31	19,7	25,8	23	18,2	23,25	27,1	20,1	24	24,13	20,9	33,9	33,4	21,44	27,44	27,9
	27	31,5	31	19,6	25,8	23	18,2	23,25	27,1	20,1	24	24,13	20,9	33,9	33,5	21,44	27,44	27,9
	27	31,6	31	19,6	25,8	23	18,2	23,25	27,1	20,1	24	24,13	20,9	33,9	33,5	21,44	27,44	27,9
	27	31,8	31	19,6	25,8	23	18,2	23,25	27,1	20,1	24	24,13	20,9	33,9	33,5	21,44	27,44	27,9
	27	31,8	32	19,5	25,8	23	18,2	23,25	27,1	20,1	24	24,13	20,9	33,9	33,5	21,44	27,44	27,9
	27	31,9	32	19,5	25,9	23	18,2	23,25	27,1	20,1	24	24,13	20,9	33,9	33,5	21,44	27,44	27,9
	27	32	32	19,6	26	23	18,2	23,25	27,1	20,1	24	24,13	20,9	33,9	33,5	21,44	27,44	27,9
	27	32,1	32	20,6	31,6	24	18,1	27,25	29,9	20,3	28	27,69	20,9	33,9	33,5	21,44	27,44	27,9
	27	32,1	32	20,7	31,6	24	18,1	27,25	29,9	20,3	28	27,69	21,3	36,8	36,6	21,56	32,19	32,5
	27	32,3	32	20,7	31,6	24	18,1	27,25	29,9	20,3	28	27,69	21,3	36,8	36,6	21,56	32,19	32,5
	27	32,4	32	20,7	31,6	24	18,1	27,25	29,8	20,3	28	27,69	21,3	36,8	36,6	21,56	32,13	32,5

A continuación...

	27	33,1	33	20,6	31,6	24	18,1	27,25	29,9	20,3	28	27,69	21,3	36,8	36,6	21,56	32,13	32,5
	27	33,7	34	20,5	31,6	24	18,1	27,25	29,8	20,3	28	27,69	21,3	36,8	36,6	21,56	32,19	32,5
	27	33,8	34	20,5	31,6	24	18,1	27,25	29,8	20,3	28	27,69	21,3	36,8	36,6	21,56	32,19	32,5
	27	33,9	34	20,5	31,6	24	18,1	27,25	29,8	20,3	28	27,69	21,3	36,8	36,6	21,56	32,19	32,5
	27	34,2	34	20,5	31,6	24	18,1	27,25	29,8	20,3	28	27,69	21,3	36,8	36,6	21,56	32,19	32,5
	27	34,3	34	20,6	31,6	24	18,1	27,25	29,8	20,3	28	27,69	21,3	36,8	36,6	21,56	32,19	32,5
11H00	27	34,3	34	20,5	31,6	24	18,1	27,25	29,8	20,3	28	27,69	21,3	36,8	36,6	21,56	32,19	32,5
	27	34,3	34	20,5	31,6	24	18,1	27,25	29,8	20,3	28	27,69	21,3	36,8	36,6	21,56	32,19	32,6
	27	34,4	34	20,5	31,6	24	18,1	27,25	29,8	20,3	28	27,69	21,3	36,8	36,6	21,56	32,19	32,6
	27	34,5	34	20,4	31,7	24	18,1	27,25	29,8	20,3	28	27,69	21,3	36,8	36,6	21,56	32,19	32,6
	27	34,6	35	20,3	31,7	24	18,1	27,25	29,8	20,3	28	27,69	21,3	36,9	36,6	21,56	32,19	32,6
	27	34,7	35	20,3	31,7	24	18,1	27,25	29,8	20,3	28	27,69	21,3	36,8	36,6	21,56	32,19	32,6
	27	34,8	35	20,4	31,7	24	18,1	27,25	29,8	20,3	28	27,69	21,3	36,8	36,6	21,56	32,19	32,6
	27,1	34,9	35	20,7	31,8	24	18,1	27,25	29,8	20,3	28	27,69	21,3	36,9	36,6	21,56	32,19	32,6
	27	35	35	21,1	32	24	18,1	27,25	29,8	20,3	28	27,69	21,3	36,9	36,6	21,56	32,19	32,6
	27,1	35,1	35	21,2	32,1	24	18,1	27,25	29,8	20,3	28	27,69	21,3	36,9	36,6	21,56	32,19	32,6
	27,1	35,1	35	20,3	33,9	24	18,1	29,56	32,1	20,6	31	31,06	21,3	36,9	36,6	21,56	32,19	32,6
	27,1	35,3	35	20,1	33,9	24	18,1	29,56	32,1	20,6	31	31,06	21,3	36,9	36,6	21,56	32,25	32,6
	27,1	35,3	35	20,1	33,9	24	18,1	29,56	32,1	20,6	31	31,06	21,8	40,1	40,1	21,94	37,25	37,3
	27,1	35,4	35	20	33,9	24	18,1	29,56	32,1	20,6	31	31,06	21,8	40,1	40,2	21,94	37,25	37,3
	27,1	36,6	36	20	33,9	24	18,1	29,56	32,1	20,6	31	31,06	21,8	40,1	40,1	21,94	37,19	37,3
	27,1	36,6	37	20,1	33,9	24	18,1	29,56	32,1	20,6	31	31,06	21,8	40,1	40,1	21,94	37,25	37,3
	27,1	36,8	37	20,1	33,9	24	18,1	29,56	32,1	20,6	31	31,06	21,8	40,1	40,2	21,94	37,25	37,3
	27,1	36,8	37	20,1	33,9	24	18,1	29,56	32,1	20,6	31	31,06	21,8	40,1	40,1	21,94	37,19	37,3
	27,1	36,9	37	20,1	33,9	24	18,1	29,56	32,1	20,6	31	31,06	21,7	40,1	40,1	21,94	37,19	37,3
	27,1	37	37	20,1	33,9	24	18,1	29,56	32,1	20,6	31	31,06	21,8	40,1	40,1	21,94	37,19	37,3
12H00	27,1	37,4	37	20,1	34	24	18,1	29,56	32,1	20,6	31	31	21,8	40,1	40,2	21,94	37,25	37,3
	27,1	37,4	37	20	33,9	24	18,1	29,56	32,1	20,6	31	31,06	21,7	40,1	40,2	21,94	37,25	37,3
	27,1	37,6	38	20	33,9	24	18,1	29,63	32,1	20,6	31	31	21,8	40,1	40,2	21,94	37,19	37,3
	27,1	37,6	38	20	33,9	24	18,1	29,63	32,1	20,6	31	31	21,8	40,1	40,2	21,94	37,19	37,3
	27,1	37,7	38	20,1	33,9	24	18,1	29,63	32,1	20,6	31	31	21,8	40,1	40,2	21,94	37,19	37,3
	27,1	37,8	38	20,1	34	24	18,1	29,63	32,1	20,6	31	31	21,8	40,1	40,2	21,94	37,25	37,3
	27,2	37,9	38	20,1	34	24	18,1	29,63	32,1	20,6	31	31	21,8	40,1	40,2	21,94	37,25	37,2
	27,2	38	38	20	34	24	18,1	29,63	32,1	20,6	31	31	21,8	40,1	40,2	21,94	37,25	37,2
	27,2	38,1	38	20	34	24	18,1	29,63	32,1	20,6	31	31	21,8	40,1	40,2	21,94	37,25	37,2
	27,2	38,3	38	20	34	24	18,1	29,63	32,1	20,6	31	31	21,8	40,1	40,2	21,94	37,25	37,2
	27,2	38,4	38	19,9	34,6	24	18,3	33,81	36,8	21,1	34	33,69	21,8	40,1	40,2	21,94	37,25	37,2
	27,2	38,4	38	19,8	34,6	24	18,3	33,81	36,8	21,1	34	33,69	21,7	40,1	40,2	21,94	37,25	37,2

A continuación...

	27,2	38,6	38	19,7	34,6	24	18,3	33,81	36,8	21,1	34	33,69	21,8	40,1	40,2	21,94	37,25	37,2
	27,3	38,6	38	19,7	34,6	24	18,3	33,81	36,8	21,1	34	33,75	22,3	41,8	41,1	22,75	41	40,2
	27,3	38,8	39	19,7	34,6	24	18,3	33,81	36,8	21,1	34	33,75	22,3	41,8	41,1	22,75	41	40,2
	27,4	40,3	40	19,7	34,6	24	18,3	33,81	36,8	21,1	34	33,75	22,3	41,8	41,1	22,75	41	40,2
	27,4	40,3	40	19,7	34,6	24	18,3	33,81	36,8	21,1	34	33,75	22,3	41,8	41,1	22,75	41	40,2
	27,4	40,4	40	19,8	34,6	24	18,3	33,81	36,8	21,1	34	33,75	22,3	41,8	41,1	22,75	41	40,3
	27,4	40,4	40	19,8	34,6	24	18,3	33,81	36,8	21,1	34	33,75	22,3	41,8	41,1	22,75	41	40,3
	27,4	40,5	40	19,7	34,6	24	18,3	33,81	36,8	21,1	34	33,75	22,3	41,8	41	22,75	41	40,3
13H00	27,4	40,6	40	19,7	34,5	24	18,3	33,81	36,8	21,1	34	33,75	22,3	41,8	41	22,75	41	40,3
	27,4	40,6	40	19,7	34,5	24	18,3	33,81	36,8	21,1	34	33,75	22,3	41,8	41,1	22,75	41	40,3
	27,4	40,6	40	19,7	34,5	24	18,3	33,88	36,8	21,1	34	33,75	22,3	41,8	41,1	22,75	41	40,3
	27,4	40,7	40	20,5	34,5	24	18,3	33,88	36,8	21,1	34	33,75	22,3	41,8	41,1	22,75	41	40,3
	27,5	40,8	40	20,1	34,5	24	18,3	33,88	36,8	21,1	34	33,75	22,3	41,8	41,1	22,75	41	40,3
	27,5	40,8	40	20,1	34,5	24	18,3	33,88	36,8	21,1	34	33,69	22,3	41,8	41,1	22,75	41	40,3
	27,5	40,8	40	20,1	34,6	24	18,3	33,88	36,8	21,1	34	33,69	22,3	41,8	41	22,75	41	40,3
	27,5	40,9	40	20	34,5	24	18,3	33,88	36,8	21,1	34	33,69	22,3	41,8	41,1	22,75	41	40,3
	27,5	40,9	40	20	34,5	24	18,3	33,88	36,8	21,1	34	33,69	22,3	41,8	41,1	22,75	41	40,3
	27,6	40,9	40	20,1	34,5	24	18,3	33,88	36,8	21,1	34	33,69	22,3	41,8	41,1	22,75	41,06	40,3
	27,6	40,9	40	20,3	36,1	25	18,7	36,94	39,3	21,8	36	35,25	22,3	41,8	41,1	22,75	41	40,3
	27,6	41	40	20,3	36	25	18,7	36,94	39,3	21,8	36	35,25	22,3	41,8	41,1	22,75	41	40,3
	27,6	41	40	20,1	36	25	18,7	36,94	39,3	21,8	36	35,25	22,3	41,8	41,1	22,75	41	40,3
	27,6	41,1	40	20,1	36	25	18,7	36,94	39,3	21,8	36	35,25	22,3	41,8	41,1	22,75	41	40,3
	27,8	41,2	40	20,1	36	25	18,7	36,94	39,3	21,8	36	35,25	22,9	43,4	42	23,88	44	42,6
	27,9	41,2	40	20,1	36	25	18,7	36,94	39,3	21,8	36	35,25	23	43,4	42	23,88	44	42,6
	27,9	41,2	40	20	36	25	18,7	36,94	39,3	21,8	36	35,25	23	43,4	42	23,88	44	42,7
	27,9	41,2	40	20	36	25	18,7	36,94	39,3	21,8	36	35,25	23	43,4	42	23,88	44	42,7
27,9	41,2	40	19,9	36	25	18,7	36,94	39,3	21,8	36	35,25	22,9	43,4	42	23,88	44	42,7	
27,9	41,2	40	19,9	36	25	18,7	36,94	39,3	21,8	36	35,25	22,9	43,4	42	23,88	44	42,7	
14H00	27,9	41,3	40	19,9	36	25	18,7	36,94	39,4	21,8	36	35,25	23	43,4	42	23,88	44	42,7
	27,9	41,3	40	19,9	36	25	18,7	36,94	39,4	21,8	36	35,25	23	43,4	42	23,88	44	42,7
	28	41,3	40	19,9	36	25	18,7	36,94	39,4	21,8	36	35,25	22,9	43,4	42	23,88	44	42,7
	28	41,3	40	19,9	36	25	18,7	36,94	39,4	21,8	36	35,25	23	43,4	42	23,88	44	42,6
	28	41,3	40	19,8	36	25	18,7	36,94	39,4	21,8	36	35,25	22,9	43,4	42	23,88	44	42,6
	28,1	41,3	40	19,9	36	25	18,7	36,94	39,4	21,8	36	35,25	23	43,4	42	23,88	44	42,6
	28,1	41,3	40	19,8	36	25	18,7	36,94	39,4	21,8	36	35,31	23	43,4	42	23,88	44	42,6
	28,1	41,4	40	19,7	36	25	18,7	36,94	39,4	21,8	36	35,25	23	43,4	42	23,88	44	42,6
	28,1	41,4	40	19,8	36	25	18,7	36,94	39,4	21,8	36	35,31	23	43,4	42	23,88	44	42,6
28,1	41,4	40	19,9	36,1	25	18,7	36,94	39,4	21,8	36	35,25	22,9	43,4	42	23,88	44	42,6	

A continuación...

	28,1	41,5	41	20,6	38,8	26	19,1	40,56	43	22,6	37	35,38	23	43,4	42	23,88	44	42,6
	28,1	41,6	41	20,5	38,8	26	19,1	40,56	43	22,6	37	35,38	23	43,4	42	23,88	44	42,6
	28,2	41,6	41	20,5	38,8	26	19,1	40,56	43	22,6	37	35,38	23	43,4	42	23,88	44	42,6
	28,2	41,6	41	20,5	38,8	27	19,1	40,56	43	22,6	37	35,38	23	43,4	42	23,88	44	42,6
	28,5	42,3	41	20,5	38,9	30	19,1	40,56	43,1	22,6	37	35,38	22,9	43,4	42	23,88	44	42,6
	28,5	42,4	42	20,5	38,9	27	19,1	40,56	43,1	22,6	37	35,38	23,8	44,8	43,1	25,19	45,5	43,3
	28,6	42,4	42	20,4	38,9	29	19,1	40,56	43,1	22,6	37	35,38	23,8	44,8	43,1	25,19	45,5	43,3
	28,6	42,4	42	20,5	38,9	27	19,1	40,56	43,1	22,6	37	35,38	23,8	44,8	43,1	25,19	45,5	43,3
	28,6	42,5	41	20,6	39	28	19,1	40,5	43,1	22,6	37	35,38	23,8	44,8	43,1	25,19	45,5	43,3
	28,6	42,5	41	20,6	39	28	19,1	40,56	43,1	22,6	37	35,38	23,8	44,8	43,1	25,19	45,5	43,3
15H00	28,6	42,5	42	20,6	39	27	19,1	40,56	43,1	22,6	37	35,38	23,8	44,8	43,1	25,19	45,5	43,3
	28,6	42,6	42	20,7	39	27	19,1	40,56	43,1	22,6	37	35,38	23,8	44,8	43,1	25,19	45,5	43,3
	28,6	42,6	42	20,8	39	27	19,1	40,56	43,1	22,6	37	35,44	23,8	44,8	43,1	25,19	45,5	43,3
	28,7	42,6	42	20,8	39	27	19,1	40,56	43,1	22,6	37	35,44	23,8	44,8	43,1	25,19	45,5	43,3
	28,7	42,6	42	20,8	39	27	19,1	40,56	43,1	22,6	37	35,44	23,8	44,8	43,1	25,19	45,5	43,3
	28,7	42,6	42	20,7	39	27	19,1	40,56	43,1	22,6	37	35,44	23,8	44,8	43,1	25,19	45,5	43,3
	28,8	42,7	42	20,6	39	27	19,1	40,56	43,1	22,6	37	35,44	23,8	44,8	43,1	25,19	45,5	43,4
	28,8	42,7	42	20,5	39	27	19,1	40,56	43,1	22,6	37	35,44	23,8	44,8	43,1	25,19	45,5	43,4
	28,8	42,8	42	20,6	39	27	19,1	40,56	43,1	22,6	37	35,44	23,8	44,8	43,1	25,19	45,5	43,3
	28,8	42,8	42	20,6	39	27	19,1	40,56	43,1	22,6	37	35,44	23,8	44,8	43,1	25,19	45,5	43,4
	28,8	42,8	42	20,7	39,9	27	19,6	43,75	45,5	23,5	37	34,81	23,8	44,8	43,1	25,19	45,5	43,4
	28,8	42,8	42	20,7	39,9	27	19,6	43,81	45,5	23,5	37	34,81	23,8	44,8	43,1	25,19	45,5	43,4
	28,9	42,9	42	20,7	39,9	27	19,6	43,81	45,5	23,5	37	34,81	23,8	44,8	43,1	25,19	45,5	43,4
	28,9	42,9	42	20,7	39,9	27	19,6	43,81	45,5	23,5	37	34,81	23,8	44,8	43,1	25,19	45,5	43,4
	29,2	43,4	42	20,7	39,9	27	19,6	43,75	45,5	23,6	37	34,81	23,8	44,8	43,1	25,19	45,5	43,4
	29,3	43,5	42	20,7	39,9	27	19,6	43,81	45,5	23,6	37	34,75	24,6	47,4	45,6	25,19	45,5	43,4
	29,3	43,5	42	20,7	39,8	27	19,6	43,81	45,5	23,6	37	34,81	24,6	47,4	45,6	26,63	48,31	46
	29,3	43,5	42	20,7	39,8	27	19,6	43,81	45,5	23,6	37	34,81	24,6	47,4	45,6	26,63	48,31	46
29,3	43,5	42	20,7	39,8	27	19,6	43,81	45,5	23,6	37	34,81	24,6	47,4	45,6	26,63	48,38	46,1	
29,3	43,5	42	20,6	39,8	27	19,6	43,81	45,5	23,6	37	34,81	24,6	47,4	45,6	26,63	48,31	46,1	
16H00	29,4	43,5	42	20,6	39,8	27	19,6	43,81	45,4	23,5	37	34,81	24,6	47,4	45,6	26,63	48,31	46,1
	29,4	43,5	42	20,7	39,8	27	19,6	43,81	45,4	23,5	37	34,81	24,6	47,4	45,6	26,63	48,31	46,1
	29,4	43,6	42	20,7	39,8	27	19,6	43,81	45,4	23,6	37	34,81	24,6	47,4	45,6	26,63	48,38	46,1
	29,4	43,6	42	20,6	39,8	27	19,6	43,81	45,4	23,6	37	34,81	24,6	47,4	45,6	26,63	48,38	46,1
	29,4	43,6	42	20,6	39,8	27	19,6	43,81	45,4	23,6	37	34,81	24,6	47,4	45,6	26,63	48,38	46,1
	29,4	43,6	42	20,6	39,8	27	19,6	43,81	45,4	23,5	37	34,81	24,6	47,4	45,6	26,63	48,31	46,1
	29,5	43,6	42	20,6	39,8	27	19,6	43,81	45,4	23,6	37	34,81	24,6	47,4	45,6	26,63	48,38	46,1
29,5	43,6	42	20,7	39,8	27	19,6	43,81	45,4	23,6	37	34,75	24,6	47,4	45,6	26,63	48,38	46,1	

A continuación...

29,5	43,6	42	20,6	39,8	27	19,6	43,81	45,4	23,6	37	34,75	24,6	47,4	45,6	26,63	48,38	46,1
29,6	43,6	42	20,6	39,8	27	19,6	43,81	45,4	23,6	37	34,81	24,6	47,4	45,6	26,63	48,38	46,1
29,6	43,6	42	20,8	39,2	28	20,2	45,56	46,9	24,3	36	34,38	24,6	47,4	45,6	26,63	48,38	46,1
29,6	43,6	42	20,8	39,2	28	20,2	45,56	46,9	24,3	36	34,38	24,6	47,4	45,6	26,63	48,38	46,1
29,6	43,6	42	20,9	39,2	28	20,2	45,56	46,9	24,3	36	34,38	24,6	47,4	45,6	26,63	48,38	46,1
29,6	43,6	42	20,9	39,2	28	20,2	45,56	46,9	24,3	36	34,38	24,6	47,4	45,6	26,63	48,38	46,1
29,9	43,5	42	20,9	39,2	28	20,2	45,56	46,9	24,3	36	34,38	24,6	47,4	45,6	26,63	48,38	46,1
29,9	43,5	42	20,9	39,2	28	20,2	45,56	46,9	24,4	36	34,38	24,6	47,4	45,6	26,63	48,38	46,1
30	43,5	42	20,9	39,2	28	20,2	45,56	46,9	24,3	36	34,38	25,4	49,9	48,1	26,63	48,38	46
30	43,5	42	20,9	39,2	28	20,2	45,56	46,9	24,3	36	34,38	25,5	49,9	48,1	28,06	48,94	45,2
30,1	43,5	41	20,9	39,2	28	20,2	45,56	46,9	24,3	36	34,38	25,4	49,9	48,1	28,06	48,94	45,2
30,1	43,6	41	21	39,2	28	20,2	45,56	46,9	24,4	36	34,38	25,4	49,9	48,1	28,06	48,94	45,2

Fuente: CENTRO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS FACULTAD DE CIENCIAS, ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

Realizado por: Quirola, M. 2016

3.1.3. Conducta meteorológica nubosidad del Ecuador (1990-2012)

Mediante los reportes de las estaciones meteorológicas del INAMI sobre la nubosidad, se pudo conocer su comportamiento, pues a mayor nubosidad la insolación es reducida. En el análisis se determina que el promedio mínimo es de 4 octas y el máximo de 7 de octas en la bóveda celeste, por lo que se puede predecir que la eficiencia térmica del dispositivo solar no es la óptima para lograr una adecuada desinfección del agua contaminada con microorganismos patógenos.

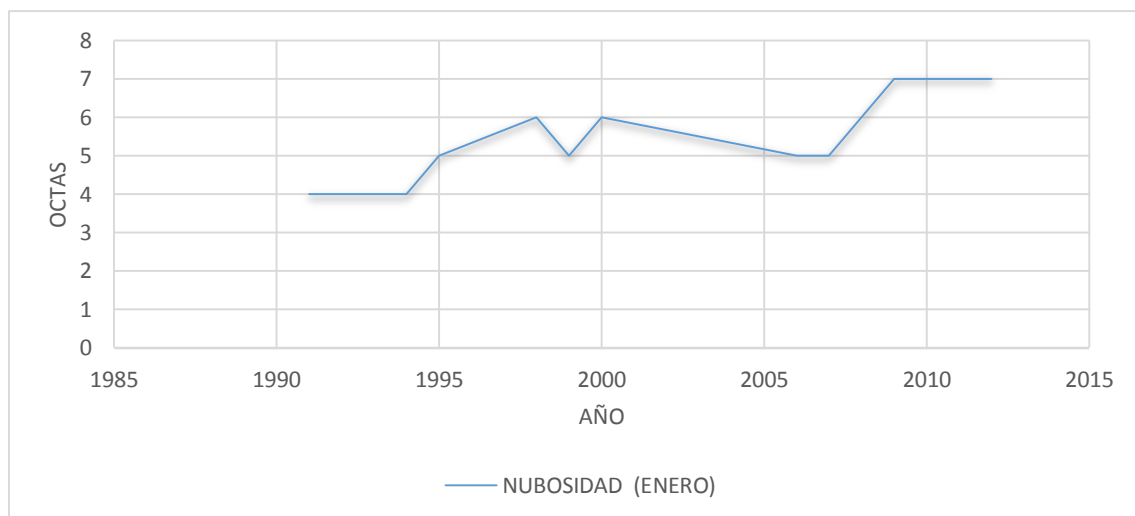


Figura 20-3: Gráfico de Nubosidad ENERO

Fuente: INAMI

Realizado por: Quirola, M. 2016

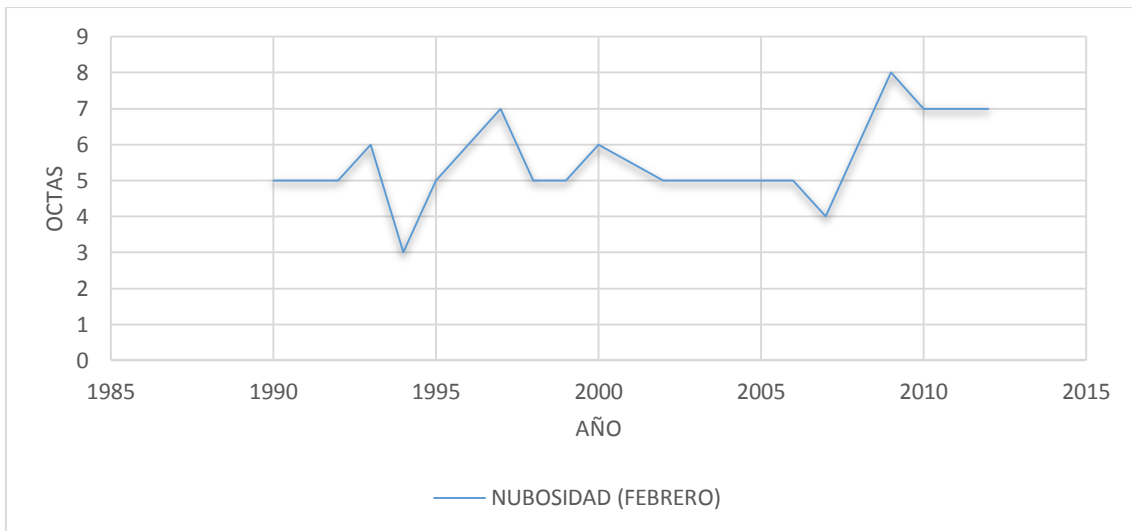


Figura 21-3: Gráfico de Nubosidad FEBRERO

Fuente: INAMI

Realizado por: Quirola, M. 2016

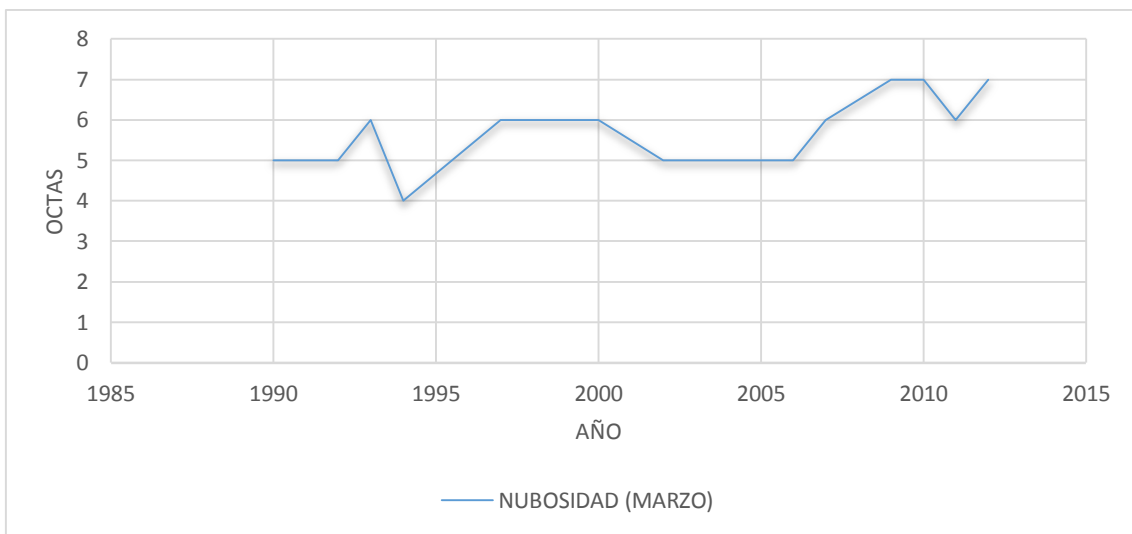


Figura 22-3: Gráfico de Nubosidad MARZO

Fuente: INAMI

Realizado por: Quirola, M. 2016

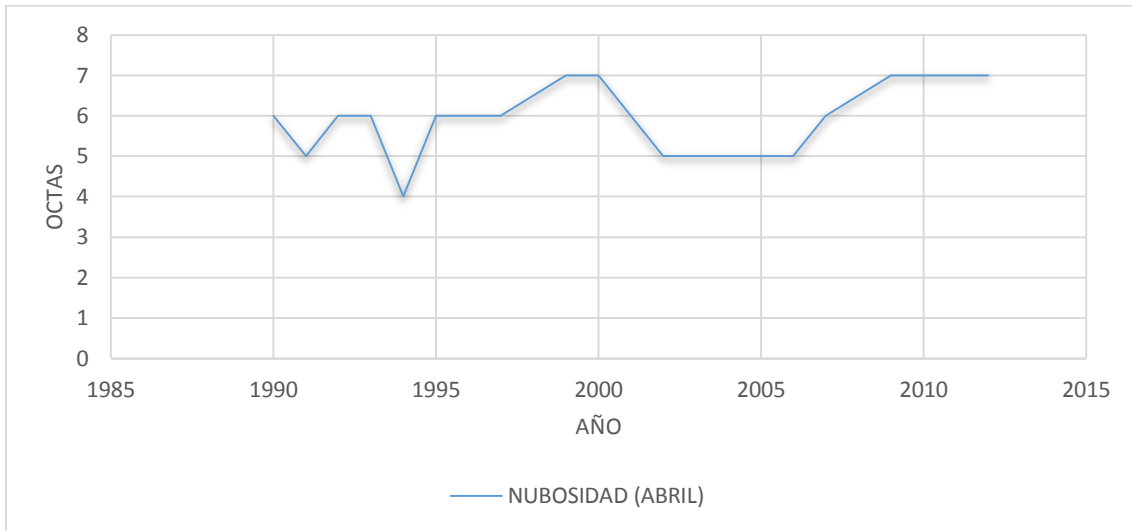


Figura 23-3: Gráfico de Nubosidad ABRIL

Fuente: INAMI

Realizado por: Quirola, M. 2016

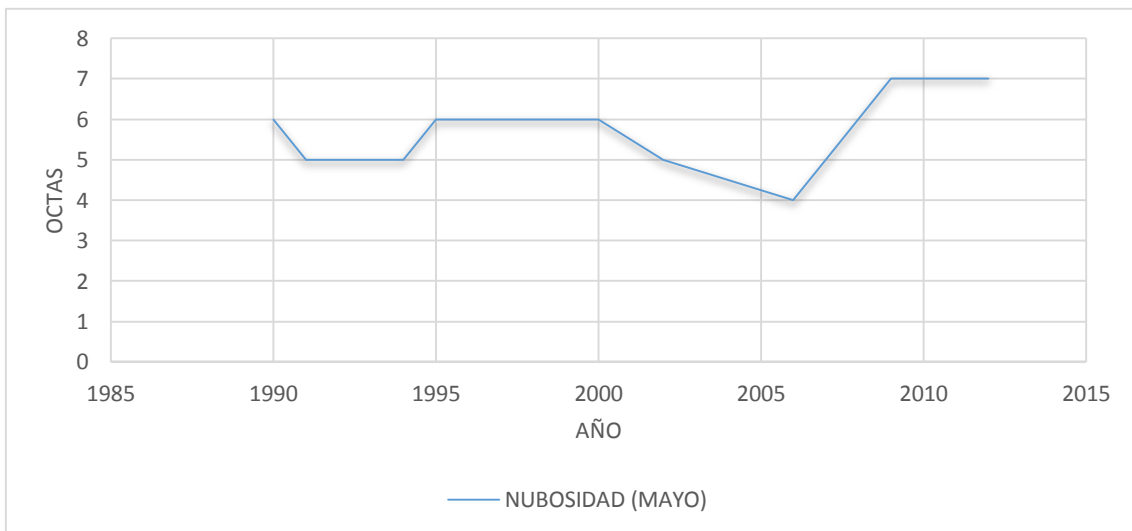


Figura 24-3: Gráfico de Nubosidad MAYO

Fuente: INAMI

Realizado por: Quirola, M. 2016

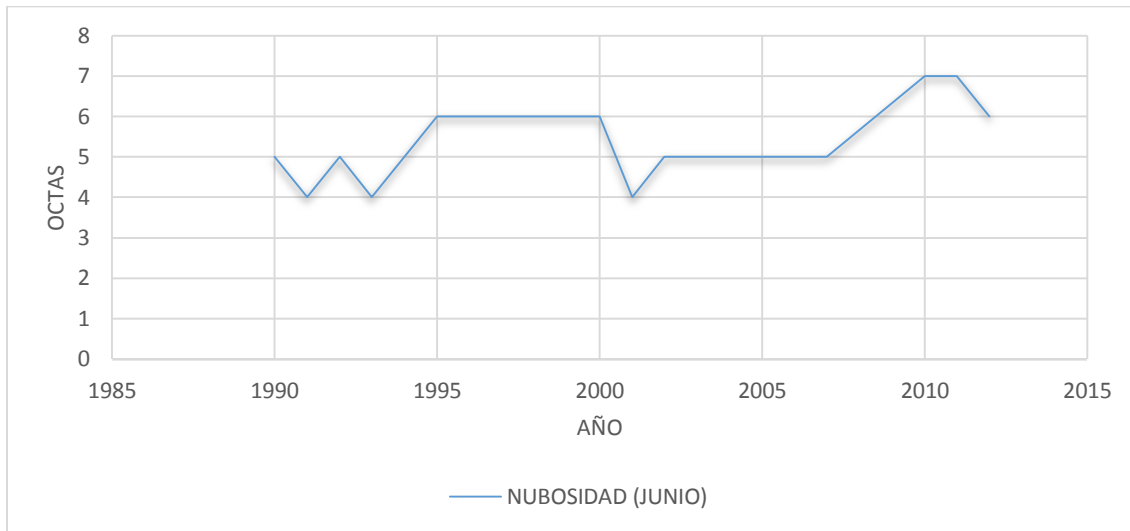


Figura 25-3: Gráfico de Nubosidad JUNIO

Fuente: INAMI

Realizado por: Quirola, M. 2016

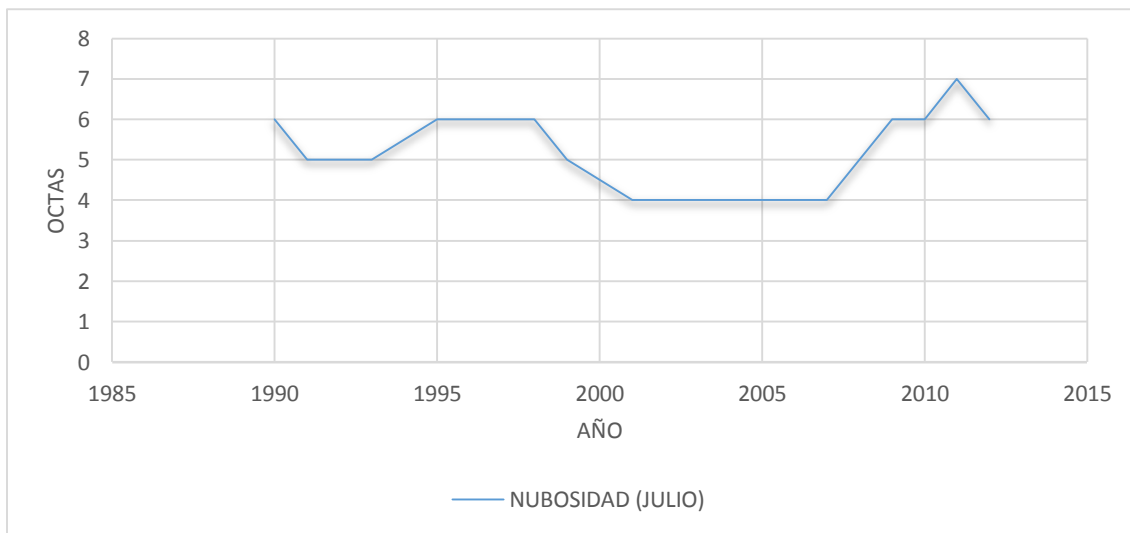


Figura 26-3: Gráfico de Nubosidad JULIO

Fuente: INAMI

Realizado por: Quirola, M. 2016

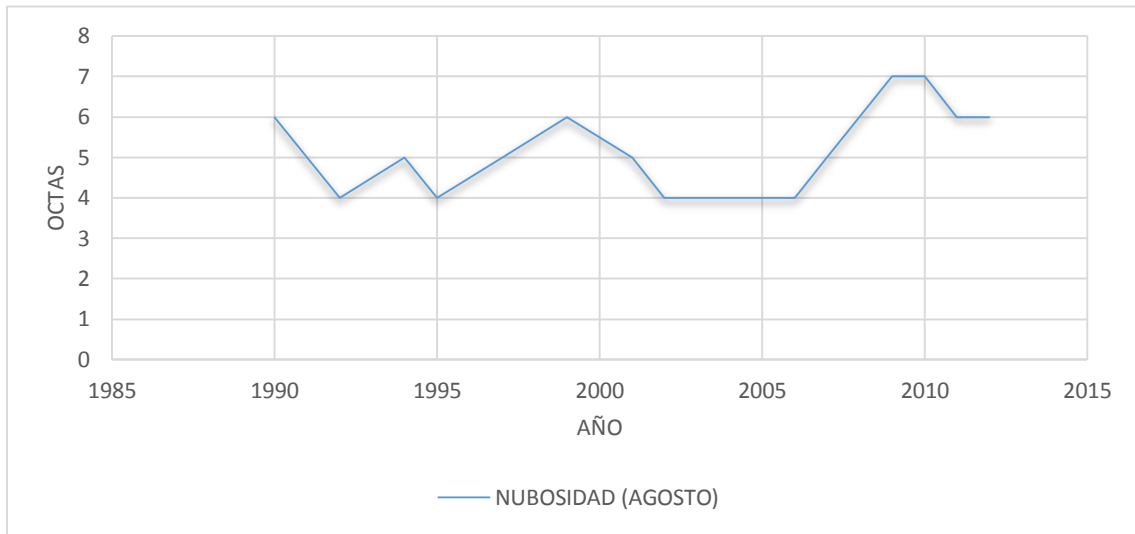


Figura 27-3: Gráfico de Nubosidad AGOSTO

Fuente: INAMI

Realizado por: Quirola, M. 2016

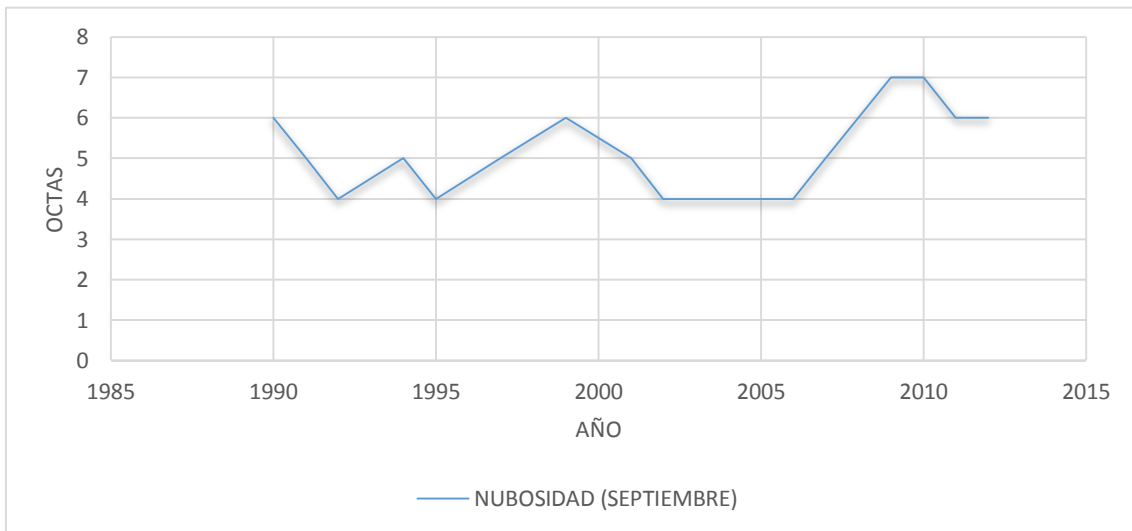


Figura 28-3: Gráfico de Nubosidad SEPTIEMBRE

Fuente: INAMI

Realizado por: Quirola, M. 2016

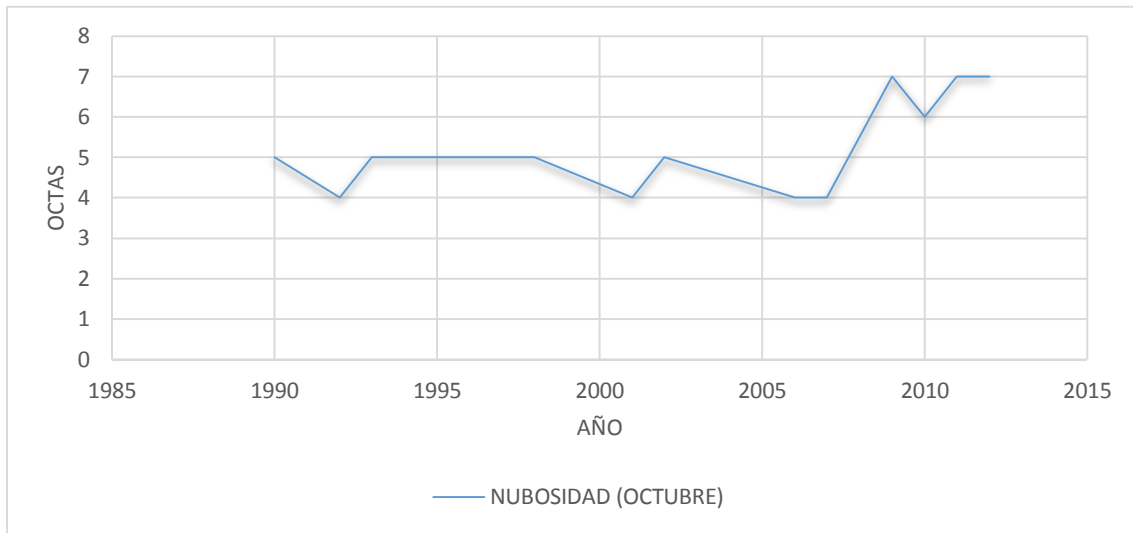


Figura 29-3: Gráfico de Nubosidad OCTUBRE

Fuente: INAMI

Realizado por: Quirola, M. 2016

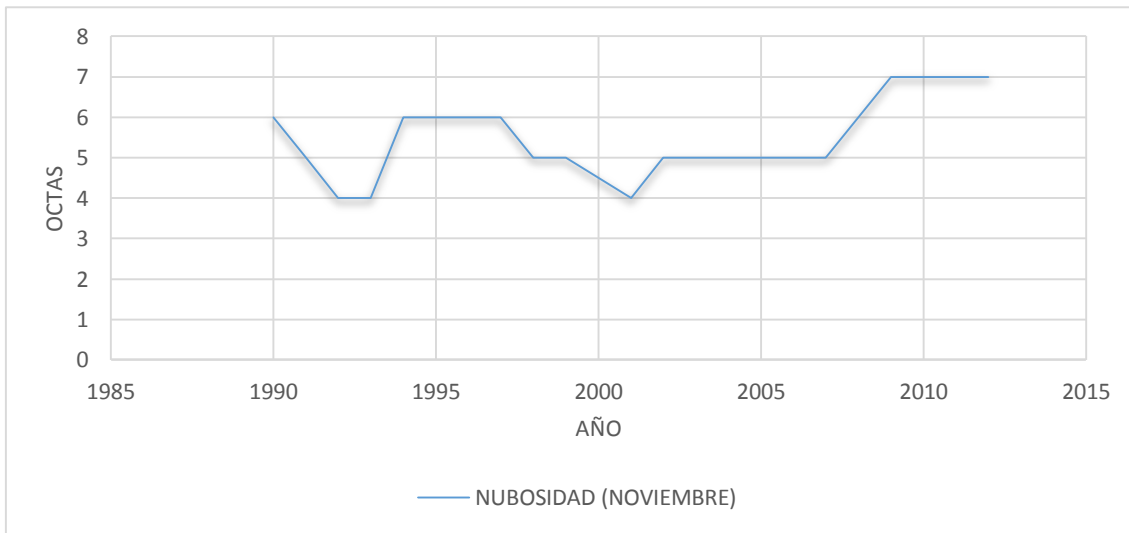


Figura 30-3: Gráfico de Nubosidad NOVIEMBRE

Fuente: INAMI

Realizado por: Quirola, M. 2016

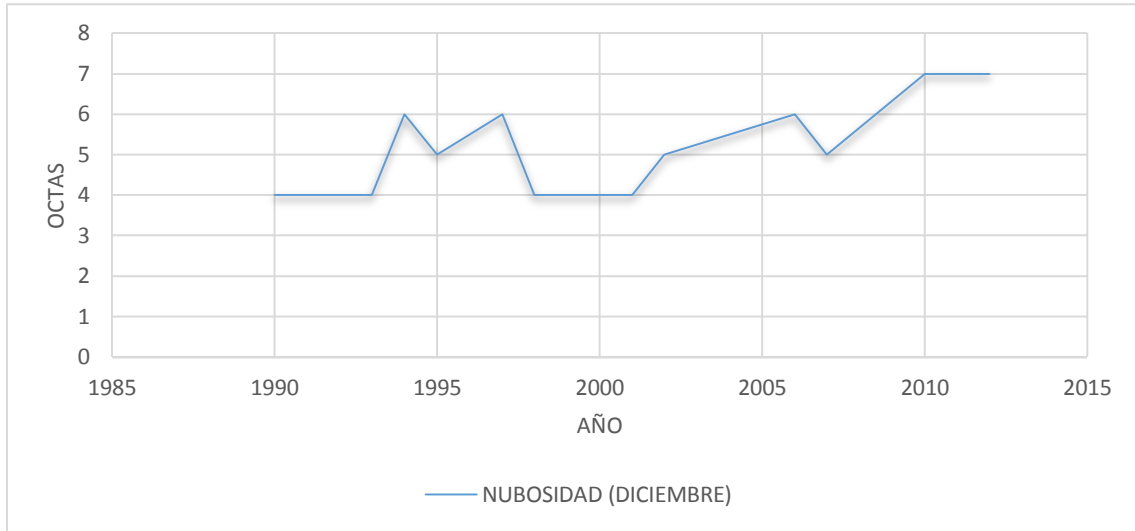


Figura 31-3: Gráfico de Nubosidad DICIEMBRE

Fuente: INAMI

Realizado por: Quirola, M. 2016

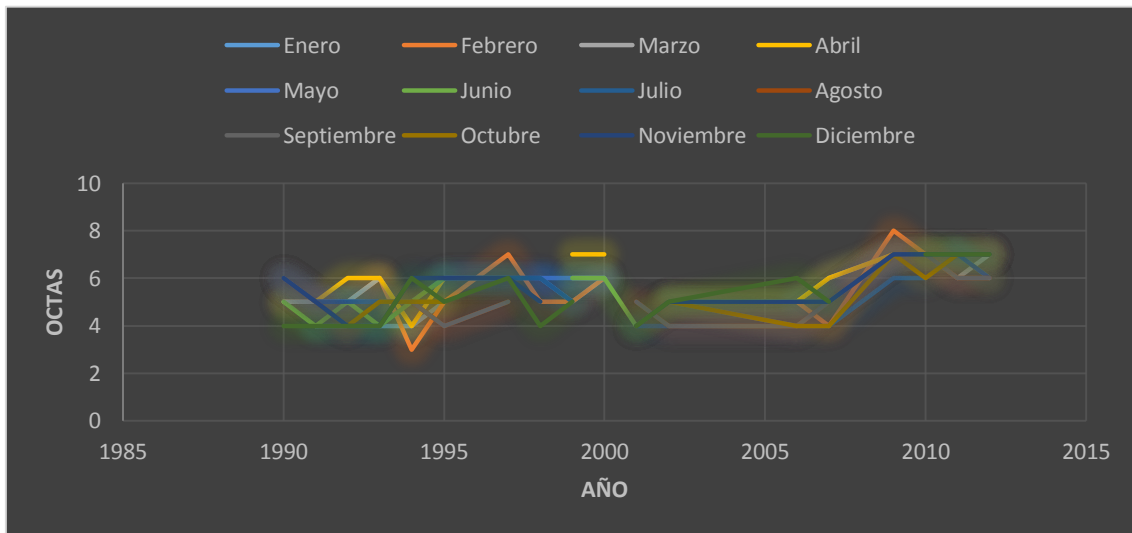


Figura 32-3: Gráfico de Nubosidad de los años 1990 hasta el 2012, estaciones meteorológicas Cebadas, Guaslán y Riobamba Politécnica

Fuente: INAMI

Realizado por: Quirola, M. 2016

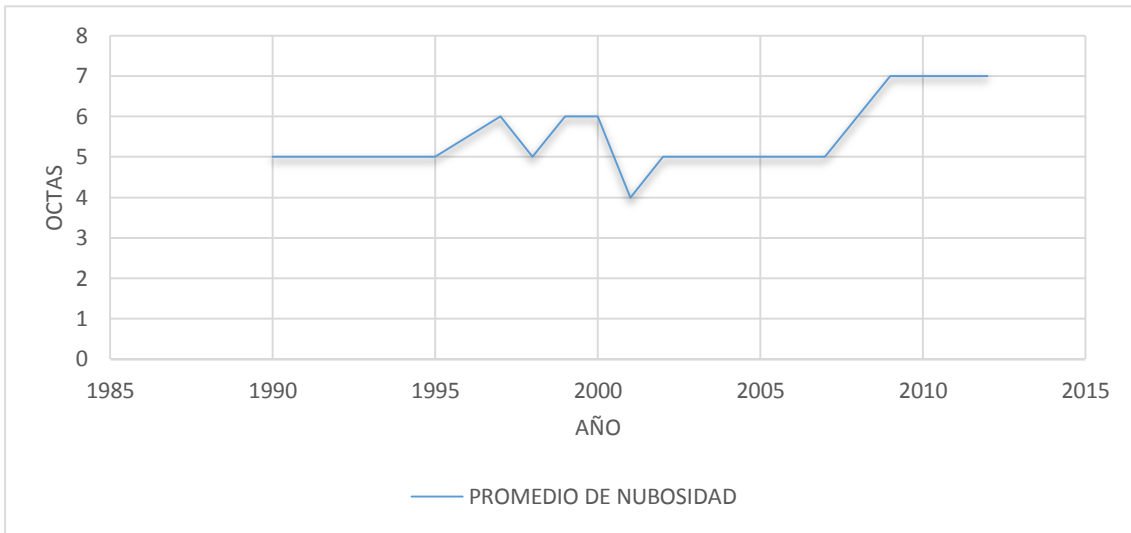


Figura 33-3: Gráfico del Promedio de Nubosidad de los años 1990 hasta el 2012, estaciones meteorológicas Cebadas, Guaslán y Riobamba Politécnica

Fuente: INAMI

Realizado por: Quirola, M. 2016

3.1.4. Resultados del análisis microbiológico de coliformes totales en el agua

Tabla 7-3: Reporte de los análisis microbiológicos

<i>Código de la muestra</i>	<i>Hora de recolección</i>	<i>Temperatura del agua</i>	<i>UFC (24 horas)</i>	<i>UFC (48 horas)</i>
<i>Cód. 1</i>	<i>10h40</i>	<i>55°C</i>	0	0
<i>Cód. 2</i>	<i>11h00</i>	<i>28°C</i>	6	6
<i>Cód. 3</i>	<i>11h15</i>	<i>31°C</i>	6	9
<i>Cód. 4</i>	<i>11h30</i>	<i>33°C</i>	1	3
<i>Cód. 5</i>	<i>11h45</i>	<i>33°C</i>	>10	>10
<i>Cód. 6</i>	<i>12h00</i>	<i>30°C</i>	6	>10
<i>Cód. 7</i>	<i>13h00</i>	<i>36°C</i>	1	1
<i>Cód. 8 (Testigo)</i>	<i>13h10</i>	-	6	8

Realizado por: Quirola, M. 2016

Los resultados de los análisis microbiológicos demostraron la reducción total de coliformes totales al alcanzar una temperatura de 55°C después de estar el agua en reposo varias horas; para constatar el tiempo que llevara desinfectar 0,2 m³ a partir de la muestra de agua de Cód. 2 hasta la muestra Cód. 7 se tomaron a una temperatura inicial del agua de 28°C hasta alcanzar una temperatura de 36°C en un lapso de 2 horas y una nubosidad de 4 octas. El reporte del crecimiento microbiológico es de 48 horas. En las muestras 5 y 6 presenta un número mayor a 10 UFC y 6 UFC a temperaturas de 33°C y 30°C respectivamente, esta irregularidad se asume que es debido a una alta concentración de coliformes totales en el flujo de agua obtenida debido que son muestras intermedias del tanque de recepción en donde el agua no es homogenizada. El crecimiento en los dos días es mínimo, pero en la muestra Cód. 7 se refleja una inhibición de crecimiento al haber alcanzado una temperatura de 36 °C manteniéndose con 1 UFC. Para fines de observación se tomó una muestra de riego para ver la cantidad de coliformes totales presentes el cual nos dio como resultado 6 UFC.

3.2. Tiempo de desinfección del agua dentro del dispositivo termosolar usando lámparas de UV-C germicida

Tabla 8-3: Tiempo de exposición del agua a luz UV-C mediante la dosis de inactivación según el tipo de microorganismo

Microorganismo	Dosis de inactivación(Ws/m^2)	Tiempo de exposición (s)
<i>Coliformes totales</i>	0,82	0,05
<i>E. coli</i>	0,66	0,04
<i>Nemátodos</i>	450	26

Realizado por: Quirola, M. 2016

Las lámparas utilizadas en el diseño del sistema de desinfección de agua son del tipo UV-C germicida con una longitud de onda de 253.7 nm y una potencia de 40 W, se determinó el tiempo de exposición del agua según la dosis de inactivación para cada microorganismo y el área del tanque donde estarán instaladas, para la desinfección de Coliformes Totales y *E. coli* la exposición es inmediata, también se analizó la posibilidad de uso en parásitos como los nematodos dándonos un tiempo de 26 s pero la dosis de exposición es mayor que las bacterias debido que son organismos más complejos.

3.3. Dimensionamiento del sistema de desinfección para agua de consumo humano, basado en energía termosolar y luz UV de fuente fotovoltaica.

Tabla 9-3: Dotaciones de agua según el nivel de servicio

<i>Nivel de servicio</i>	<i>Nº de habitantes promedio</i>	<i>Clima frío (L/hab*día)</i>	<i>Clima cálido (L/hab*día)</i>
<i>lla</i>	1500	60	85

Fuente: (Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN, 1997)

Realizado por: Quirola, M. 2016

Tabla 10-3: Estimación de consumo diario de las lámparas de UV-C

<i>Unidades Carga</i>	<i>Potencia Unitaria (W)</i>	<i>Horas de funcionamiento al día</i>	<i>Total de energía necesaria (Wh/día)</i>	<i>Total de energía necesaria * margen de seguridad del 20% (Wh/día)</i>
2 Lámparas UV-C (AC)	40	0,64	51,2	61,4

Realizado por: Quirola, M. 2016

Tabla 11-3: Cálculos de dimensionamiento del sistema fotovoltaico

DIMENSIÓN	NOMENCLATURA	UNIDADES	RESULTADO
Caudal medio	Q_m	m ³ /s	2,08*10 ⁻⁴
Caudal máximo diario	Q_{MD}	m ³ /s	2,06*10 ⁻⁴
Volumen de agua diario	V	m ³	17,79
Tiempo de desinfección del agua para una población 500 – 1000 habitantes	t_{DA}	h	0,64
Consumos medios diarios de energía necesaria	L_{md}	kWh/día	0,0718
Irradiación global máximo promedio (mapas)	-	kWh/m ² /día	5,748
Tamaño del panel fotovoltaico	Δ_r	Wp	15
Horas de sol pico critica	HPS_{crit}	h	6,5
Potencia del módulo fotovoltaico	P_{MPP} *	W	15,1
Números de paneles fotovoltaicos	N_T	-	1

*Nota: Depende de la ficha técnica de fábrica del módulo en el mercado

Realizado por: Quirola, M. 2016

El sistema se diseñó en combinación con la energía termosolar y fotovoltaica como fuente para las lámparas de UV-C, siendo el dispositivo termosolar un medio de seguridad en caso de presentarse algún caso emergente. El plano de diseño se describe en sus dimensiones en el ANEXO F. Para el dimensionamiento se utilizó como datos la insolación solar global del Ecuador por meses para así determinar la cantidad de consumo diario de las lámparas, esto basándonos en el tiempo de

desinfección para Coliformes Totales y el cálculo del caudal máximo diario usado en las zonas rurales para un número de habitantes mayor a 1000. El sistema fotovoltaico usara un módulo o célula fotovoltaica de 15 (Wp), un regulador de 6 A y 50 Wp y una batería de almacenamiento de energía de 7Ah y 12V con capacidad de 20 horas autosustentables todo esto dependiendo de los cálculos realizados y presentados en la anterior tabla.

CONCLUSIONES

- Mediante la evaluación del dispositivo termosolar, de los análisis microbiológicos y de la nubosidad como condición meteorológica; se determina que a una eficiencia térmica del 46% el equipo desinfecta un volumen de agua de $0,2 \text{ m}^3$ en un lapso mayor de 8 horas para alcanzar la temperatura máxima óptima de desinfección que fue de 55°C , además este debe mantenerse en reposo a esta temperatura al menos una hora. Basado en el Cuadro N° 3-1, también se enfatiza en la nubosidad de la región que varía entre 4-7 octas, lo que influencia en la cantidad de insolación y energía térmica del dispositivo. Los resultados del análisis microbiológico de coliformes totales como indicador de contaminación microbiana representados en la Tabla 9-3 demostraron que el dispositivo al alcanzar la temperatura óptima de desinfección reporta cero UFC mientras que a temperaturas de entre $28\text{-}36^\circ\text{C}$ se obtuvo un mínimo de 3 UFC y un máximo mayor a 10 UFC. La desventaja de este método es el tiempo que se tomaría en desinfectar una gran cantidad de volumen diario de $2,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ para las zonas rurales que requieren su uso inmediato; este es efectivo a nivel doméstico.
- Mediante la dosis de inactivación de microorganismos en agua con radiación ultravioleta (UV) representada en la Tabla 2-1, según la información obtenida por revisión bibliográfica y por las características de las lámparas que se usaron se determinó que el tiempo de exposición de un volumen de $0,2 \text{ m}^3$ de agua requiere mínimo de 1 segundo para el grupo coliformes y 26 segundos para nemátodos, siendo este método el más efectivo para aplicarse en las zonas rurales debido a que toma un tiempo mínimo para lograr la desinfección.
- Mediante los cálculos obtenidos se concluye que para el diseño del sistema de desinfección a un volumen mínimo de $0,2 \text{ m}^3$ basta la aplicación de la energía térmica para lograr la desinfección, sin embargo, este presenta como desventaja el tiempo requerido para alcanzar una temperatura máxima. El diseño está proyectado para zonas rurales en el cual su caudal máximo diario (población promedio de 1500 habitantes) es de $2,06 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ siendo imposible lograr la desinfección mediante la energía térmica, por lo que se aplicó como método de desinfección las lámparas de UV auto sustentadas por la energía fotovoltaica. El tiempo que tomaría desinfectar un volumen de 18 m^3 sería de 39 minutos aproximadamente,

para casos emergentes se puede combinar conjuntamente los métodos: con la energía térmica y la energía fotovoltaica, para así lograr una óptima desinfección. Mediante la evaluación de los mapas de insolación global para generar energía se diseña el sistema fotovoltaico para un consumo diario de 71,8 Wh/día con un panel fotovoltaico de tamaño de 15 Wp. Según los cálculos se buscó en el mercado el tipo de sistema fotovoltaico acorde a las necesidades de las lámparas de UV-C.

RECOMENDACIONES

- El sistema de desinfección para agua de consumo humano, basado en energía termosolar y luz UV de fuente fotovoltaica es aplicable para agua que solo requiera como método de tratamiento la desinfección.
- Se deberá evaluar la zona de instalación en calidad microbiológica del agua, condiciones meteorológicas e insolación solar, debido que el sistema está diseñado solo para tratar agua que solo requiera desinfección.
- Después del tratamiento del agua en el sistema, esta se deberá almacenar en un tanque estéril y al que se le deberá dar mantenimiento continuamente para evitar cualquier otro tipo de contaminación.
- Las lámparas de UV tienen una vida útil de 10000 horas por lo que una vez culminada su función se deberá reemplazar y darles una adecuada disposición final la cual consta en neutralizar las sustancias tóxicas y recuperar los materiales como el mercurio, vidrio y aluminio mediante procesos de alta tecnología y control.

BIBLIOGRAFÍA

1. **ARIZA, Carlos y LEON, Luis.** Diseño y construcción de un modelo para la experimentación en refrigeración adsorbtiva usando el par sílica gel-agua y como fuente de energía la radiación solar. [En línea] 01 de 01 de 2008. [Citado el: 01 de 06 de 2016.] <http://docplayer.es/10017324-Carlos-augusto-ariza-santoyo-luis-humberto-leon-carvajal.html>.
2. **BÉRRIZ PÉREZ, Luis.** Calentador solar de tubos al vacío. [En línea] 19 de 11 de 2015. [Citado el: 01 de 05 de 2016.] <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia39/HTML/articulo02.htm>.
3. **CAJAMARCA, Eduardo y CONTRERAS, Luis Alberto.** [PDF]Universidad de Cuenca. [En línea] 04 de 06 de 2011. [Citado el: 13 de 04 de 2016.] <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2450/1/tq1094.pdf>.
4. **CALIAGUA.** CALIAGUA "Gestión de datos de calidad del agua de consumo doméstico de la Provincia de Chimborazo". [En línea] 01 de 01 de 2013. [Citado el: 12 de 07 de 2016.] http://inventariodhps.unach.edu.ec/caliaguadhps/estadisticas_agua/grafica_parametro.php.
5. **CASTRO ARAYA, Manuel.** Manual de fabricación sistema solar . [En línea] macingenieria ingenieros consultores, 1 de 1 de 2012. [Citado el: 1 de 2 de 2017.] <http://micalentadorsolar.com/pdf/macingenie>.
6. **CASTRILLÓN, Javier Ernesto y HINCAPIÉ, Diego Andrés.** Potabilizar agua con energía solar, una alternativa para las comunidades más alejadas de los centros urbanos. [En línea] 2012. [Citado el: 15 de 10 de 2015.] <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4521459>.
7. **CONSTRUMÁTICA.** Energía Solar. [En línea] 17 de 06 de 2008. [Citado el: 31 de 03 de 2016.] http://www.construmatica.com/construpedia/Energ%C3%ADa_Solar.
8. **CORPORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN ENERGÉTICA.** Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica. [En línea] 01 de 08 de 2008. [Citado el: 22 de 07 de 2016.] www.energia.org.ec. 028462.
9. **DECREN WATER CONSULT.** Desinfección Ultravioleta. [En línea] 21 de 02 de 2008. [Citado el: 17 de 06 de 2016.] <http://www.dwc-water.com/es/impressum/index.html>.

10. **DÍAZ DÍAZ, Francisco y SERRANO, Liliana.** Desinfección de agua con luz ultravioleta. [En línea] 19 de 11 de 2015. [Citado el: 01 de 02 de 2016.] <http://www.agualatinoamerica.com/docs/PDF/3-4-02diaz.pdf>.
11. **DOMINGO, Agustin Martin.** Apunte de Transmisión del calor. [En línea] Universidad Politécnica de Madrid Departamento de Física e instalaciones E.T.S. Arquitectura de Madrid, 1 de 05 de 2011. [Citado el: 1 de 2 de 2017.] <http://oa.upm.es/6935/1/amd-apuntes-transmision-calor.pdf>.
12. **ENERAGEN ASOCIACIÓN DE AGENCIA ESPAÑOLAS DE GESTIÓN DE LA ENERGÍA.** Energía solar Térmica y fotovoltaica. [En línea] 01 de 04 de 2008. [Citado el: 09 de 08 de 2016.] http://www.pamplona.es/pdf/guia_energia_solar.pdf.
13. **ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA).** Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. Desinfección con luz ultravioleta. [En línea] 17 de 10 de 2015. [Citado el: 30 de 01 de 2016.] http://water.epa.gov/aboutow/owm/upload/2004_07_07_septics_cs-99-064.pdf.
14. **EUROPA SUNFIELDS.** Manual de cálculo de sistemas fotovoltaicos aislados/autónomos – Parte II. [En línea] 01 de 01 de 2007. [Citado el: 01 de 02 de 2017.] <https://www.sfe-solar.com/suministros-fotovoltaica-aislada-autonoma/manual-de-calculo-sistemas-fotovoltaicos-aislados-autonomos-parte-ii/>.
15. **GOBIERNO DE CANARIAS DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA Y ENERGIA.** Guía técnica de aplicación para instalaciones de energías renovables instalaciones fotovoltaicas . [En línea] 10 de 02 de 2009. [Citado el: 26 de 04 de 2016.] http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49914e4ed9045/1234263307_GuiaFotovoltaicaGobCan.pdf
16. **GOMÉZ, José Alfredo.** “Proceso de purificación del agua para consumo humano”. [En línea] 01 de 09 de 2011. [Citado el: 12 de 04 de 2016.] <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/30514/1/GomezBernal.pdf>.
17. **GROOVYSTRESS.** Esterilizado mediante luz UV-C. [En línea] 28 de 11 de 2009. [Citado el: 17 de 06 de 2016.] <http://www.cannabiscave.net/foros/showthread.php/116865-Esterilizado-mediante-luz-UV-C>

18. **GUERRA, Luis, GÓMEZ, Daysi y SARMIENTO, Antonio.** Desinfección del agua con luz ultravioleta y energía solar fotovoltaica. [En línea] 01 de 06 de 2001. [Citado el: 08 de 09 de 2015.] <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tratamiento666.pdf>.

19. **GUEVARA VASQUEZ, Sixto.** Teoría para el diseño de calentadores solares de agua. [En línea] Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Organización Mundial de la Salud , 1 de 1 de 2003. [Citado el: 1 de 02 de 2017.] <http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/miscela/iteoriacalienta.pdf>.

20. **HANWHA FIND MORE ABOUT OUR SOLAR ENERGY SOLUTIONS.** Cálculo del número de paneles - Energía Solar Fotovoltaica . [En línea] 01 de 01 de 2009. [Citado el: 01 de 11 de 2016.] <http://www.electricidad-gratuita.com/dimensionamiento-fotovoltaico%203.html>.

21. **INSTITUTO DE INVESTIGACIONES QUÍMICAS Y AMBIENTALES DE BARCELONA.** Cloración del agua potable y efectos sobre la salud: revisión de estudios epidemiológicos. [En línea] 16 de 03 de 2001. [Citado el: 08 de 11 de 2015.] <http://www.elsevier.es/es-revista-medicina-clinica-2-articulo-cloracion-del-agua-potable-efectos-13015515>.

22. **INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN INEN.** CPE INEN 005-9-2: Código Ecuatoriano de la construcción.

23. **JIMÉNEZ PATIÑO, Juan Carlos y LLIVICHUSCA CHACHA, Hernán Patricio.** Diseño, implementación y monitoreo de calentadores híbridos con energía solar - glp y energía solar - calentadores eléctricos para la obtención de agua caliente sanitaria. [En línea] Universidad Politécnica Salesiana, 1 de 10 de 2014. [Citado el: 1 de 2 de 2017.] <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8964/1/UPS-CT005241.pdf>.

24. **JUTGLAR, Lluís.** "Energía Solar" *Energía Solar*. 2004. Barcelona., pág. 7. [Citado el: 2 de 3 de 2016.]
<https://books.google.com.ec/books?id=l0qPPTGMRUYC&printsec=frontcover&dq=energía+solar&hl=es419&sa=X&ved=0ahUKEwisruekaPLAhXDXyYKHbViAUUQ6AEIHjAB#v=onepage&q=energía%20solar&f=false>

25. **LARREA MURREL, Jeny Adina. et al.** "Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas", *CENIC*, Vol. 44, 3 (2013), (La Habana)pp. 1-4. [Citado el: 06 de 09 de 2016.] <http://revista.cnic.edu.cu/revistaCB/articulos/bacterias-indicadoras-decontaminaci%C3%B3n-fecal-en-la-evaluaci%C3%B3n-de-la-calidad-de-las-aguas>.

26. **MARCANO, Jorge Luis.** Medidor de temperatura con termopar. [En línea] 19 de 5 de 2008. [Citado el: 1 de 2 de 2017.] <http://iindustrial.obolog.es/medidor-temperatura-termopar-86703>.
27. **MIÑARRO, Joaquín Recio.** La energía solar. [En línea] [Citado el: 02 de 03 de 2016.] http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/solar.htm.
28. **PORTERO, Sendra.** [PDF] Radiación ultravioleta. [En línea] 26 de 09 de 2006. [Citado el: 30 de 03 de 2016.] <http://www.sld.cu/galerias/pdf/sitios/rehabilitacion-fis/ultravioleta-morrillo.pdf>.
29. **RED IBEROAMERICANA DE POTABILIZACIÓN Y DEPURACIÓN DEL AGUA.** Riesgo de enfermedades transmitidas por el agua en zonas rurales. [En línea] 05 de 10 de 2015. [Citado el: 15 de 01 de 2016.] <http://bvs.per.paho.org/bvsacd/cd57/riesgo.pdf>.
30. **REYES, S.** [PDF] Tema 2. Radiación solar. [En línea] 28 de 04 de 2006. [Citado el: 03 de 03 de 2016.] <http://www.uco.es/~fa11olur/Docureno/Radiacion.pdf>.
31. **REYES, S.** [PDF] Radiación - Cicese. [En línea] 15 de 06 de 2009. [Citado el: 25 de 03 de 2016.] <http://usuario.cicese.mx/~sreyes/LIBRO%20METEOROLOGIA/Meteo2.pdf>.
32. **RODRÍGUEZ, Manuel J. et al.** Subproductos de la desinfección del agua potable: formación, aspectos sanitarios y reglamentación. [En línea] 01 de 11 de 2007. [Citado el: 11 de 12 de 2015.] http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S0378-18442007001100007&script=sci_arttext.
33. **ROJAS, María Neftalí y ORTA DE VELÁSQUEZ, Teresa.** Avances en la desinfección de aguas residuales para eliminar huevos de helmintos y otros microorganismos. [En línea] 26 de 08 de 2014. [Citado el: 17 de 6 de 2016.] https://www.researchgate.net/publication/265050472_Avances_en_los_tratamientos_de_desinfeccion_de_aguas_residuales_para_eliminar_huevos_de_helmintos_y_otros_microorganismos
34. **SILVA, J. et al.** Determinación de microorganismos indicadores de calidad sanitaria. Coliformes totales, coliformes fecales y aerobios mesófilos en agua potable envasada y distribuida en San Diego, estado Carabobo, Venezuela. [En línea] 01 de 2004. [Citado el: 19 de 01 de 2016.] http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S1315-25562004000100008&script=sci_arttext.

35. **SUNFIELDS.** Manual de cálculo de instalaciones fotovoltaicas Aisladas Autónomas. [En línea] 30 de 03 de 2016. [Citado el: 01 de 05 de 2016.] <http://www.sfe-solar.com/suministros-fotovoltaica-aislada-autonoma/manual-calculo/>.
36. **TULSMA LIBRO VI ANEXO I** *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua* .
37. **TWENERGY.** Energía solar- Twenergy. [En línea] [Citado el: 02 de 03 de 2016.] <http://twenergy.com/energia/energia-solar>.
38. **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA.** "Tecnología en la UABC". *Tecnología en la UABC*,(2006), (México), págs. 94-98.
39. **VELASCO, Gerardo F. y CABRERA, Edgar.** Generación solar fotovoltaica dentro del esquema de generación distribuida para la provincia de Imbabura. [En línea] 22 de 06 de 2015. [Citado el: 30 de 03 de 2016.] <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9350/1/P72.pdf>.
40. **WORDPRESS** Ciencia Energía solar térmica. [En línea] 14 de 01 de 2013. [Citado el: 28 de 06 de 2016.] <https://laelectricidad.wordpress.com/tag/captacion-de-la-energia-solar/>.
41. **WRIGHT, H. B. y CAIRNS, W. L.** Desinfeccion de agua por medio de luz ultravioleta. [En línea] 13 de 01 de 2013. [Citado el: 15 de 12 de 2015.] <http://www.ingenieroambiental.com/2info/ultravio.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A Dispositivo termosolar y lámparas de UV-C germicida



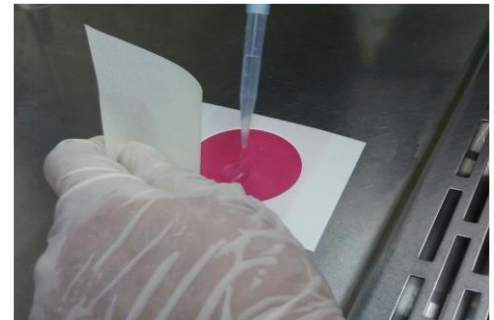
Bombilla de 40 vatios UV para Danner Pondmaster sumergible ultravioleta Clarificador # 02940

UV de cátodo caliente germicidas Bombillas UV (UV-C), son de baja presión lámparas de vapor de mercurio que son la herramienta más eficaz para eliminar microorganismos como virus, bacterias, moho y hongos en el aire y las impurezas en el agua.

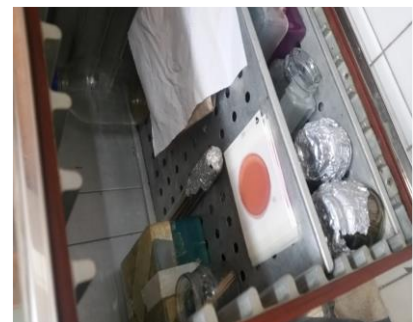
ANEXO B Análisis microbiológico de coliformes totales en el agua



Esterilización de Materiales

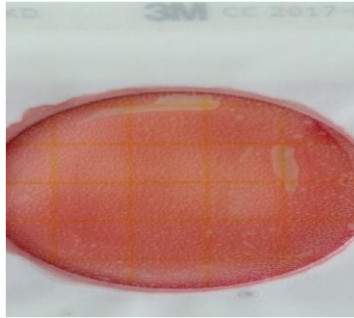
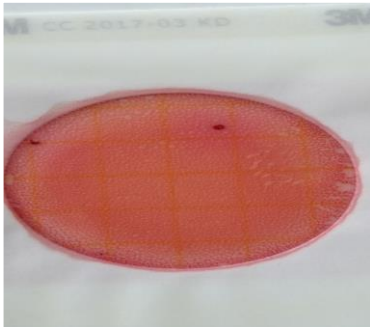


Siembra

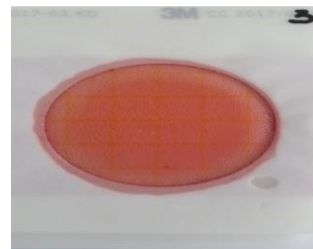
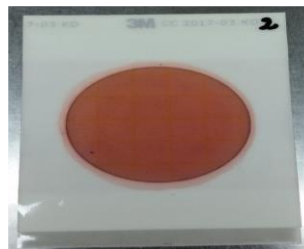


Incubación

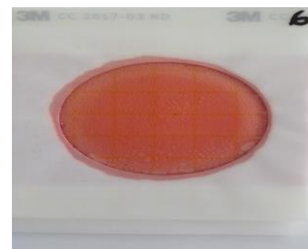
ANEXO C Resultados de los análisis microbiológicos en las PLACAS PETRIFILM 3M



Previo Tratamiento
(Análisis Inicial del agua)



Post Tratamiento
Termosolar



ANEXO D Calidad del agua en zonas rurales “CALIAGUA DHP”

http://inventariodhps.unach.edu.ec/caliaguadhps/estadisticas_agua/grafica_parametro.php

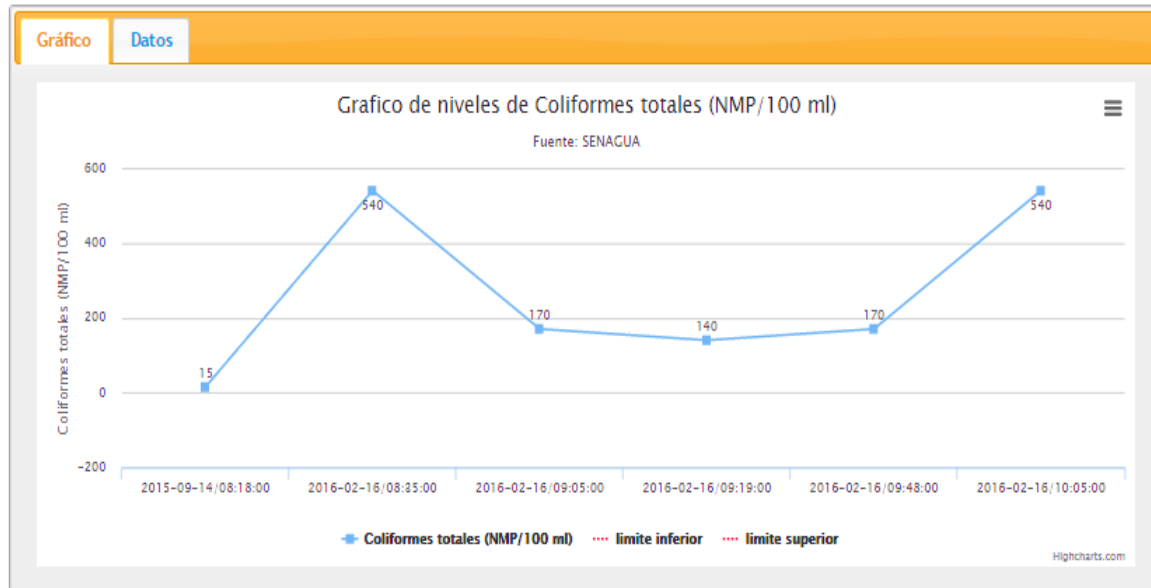
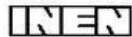


Gráfico Datos

JUNTA DE AGUA GUASLÁN

Sitio de toma de muestra	Fecha/hora de recolección	Coliformes totales (NMP/100 ml)
LLAVE INTERNA DE SUBCENTRO DE SALUD	2015-09-14 / 08:18:00	15
TANQUE QUE RECEPTA EL AGUA DE 6 VERTIENTES	2016-02-16 / 08:35:00	540
TANQUE QUE RECEPTA LA FUENTE 1	2016-02-16 / 09:05:00	170
TANQUE QUE RECEPTA EL AGUA DE LA FUENTE 2 (SECTOR	2016-02-16 / 09:19:00	140
LLAVE DE COCINA DE DOMICILIO (SECTOR 6)	2016-02-16 / 09:48:00	170
TANQUE DE ALMACENAMIENTO	2016-02-16 / 10:05:00	540

**ANEXO E CPE INEN 005-9-2 CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN. (C.E.C)
DISEÑO DE INSTALACIONES SANITARIAS: CÓDIGO DE PRÁCTICA PARA EL DISEÑO
DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DISPOSICIÓN DE
EXCRETAS Y RESIDUOS LÍQUIDOS EN EL ÁREA RURAL**



INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN

Quito - Ecuador

CÓDIGO DE PRACTICA ECUATORIANO

**CPE INEN 5
Parte 9-1:1992**

CÓDIGO ECUATORIANO DE LA CONSTRUCCIÓN. C.E.C.

**NORMAS PARA ESTUDIO Y DISEÑO DE SISTEMAS DE
AGUA POTABLE Y DISPOSICIÓN DE AGUAS RESIDUALES
PARA POBLACIONES MAYORES A 1000 HABITANTES**

Primera Edición

ECUADORIAN BUILDING CODE. PLUMBING DESIGN. DESIGN OF RUNNING WATER SUPPLY SYSTEMS, EXCRETA
AND LIQUID RESIDUES FOR POPULATION OVER 1000 INHABITANTS.

First Edition

DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, calidad del agua, agua potable, aguas servidas, abastecimiento agua potable,
disposición de excretas y residuos líquidos en área rural.

CO: 01.09-603
CDU: 628.1
CIU: 4200-5000
ICS: 13.060.20-13.060.30

TABLA 3. Compuestos tóxicos indeseables

SUSTANCIAS	CONCENTRACIÓN MÁXIMA ACEPTABLE, mg/l
Compuestos fenólicos	0,002
Arsénico	0,05
Cadmio	0,01
Cromo hexavalente	0,05
Cianuros	0,2
Plomo	0,05
Selenio	0,01
Radionúclidos (actividad Beta total)	1 Bq/l

TABLA 4. Compuestos químicos indicadores de contaminación

SUSTANCIAS	CONCENTRACIÓN MÁXIMA ACEPTABLE, mg/l
Demanda bioquímica de oxígeno	6
Demanda química de oxígeno	10
Nitrógeno total (excluido NO ³⁻)	1
Amoníaco	0,5
Extracto de columna carbón	
Cloroformo (*)	0,5
Grasas y aceites	0,01
Contaminantes orgánicos	1

(*) Cualquier cantidad superior a 0,2 mg/l indicará la necesidad de determinaciones analíticas más precisas sobre la fuente y el origen.

5.2.3 Calidad bacteriológica

TABLA 5. Calidad bacteriológica

CLASIFICACIÓN	NMP/100 ml DE BACTERIAS COLIFORMES (*)
a) Exige solo tratamiento de desinfección	0 – 50
b) Exige métodos convencionales de tratamiento	50 – 5 000
c) Contaminación intensa que obliga a tratamientos más activos	5 000 – 50 000
d) Contaminación muy intensa que hace inaceptable el agua a menos que se recurra a tratamientos especiales. Estas fuentes se utilizarán solo en casos extremos	más de 50 000

(*) Cuando se observe que más del 40% de las bacterias coliformes representadas por el índice NMP pertenecen al grupo coliforme fecal, habrá que incluir la fuente de agua en la categoría próxima superior respecto al tratamiento necesario.

(Continúa)

3.64 Acuíferos artesianos. Acuíferos confinados entre dos capas impermeables, en los cuales el agua está a una presión mayor que la atmosférica. Son homogéneos cuando la permeabilidad del acuífero es uniforme a través del espesor del acuífero.

3.65 Acuíferos libres. Acuíferos en los cuales el nivel superior del manto de agua está sujeto a la presión atmosférica.

3.66 Empaque de grava. Capa de grava cuidadosamente graduada alrededor de la rejilla de un pozo profundo.

3.67 Estabilizador. Capa de material granular, cuya granulometría no es rigurosamente seleccionada, utilizada para impedir el derrumbamiento de las paredes de un pozo.

4. DISPOSICIONES GENERALES

4.1 Bases para el Diseño de un Sistema de Agua Potable

4.1.1 Clasificación de los sistemas de agua potable.

4.1.1.1 Los sistemas de abastecimiento deberán proyectarse considerando:

- que los recursos hídricos destinados al consumo humano tienen la primera prioridad;
- la preservación y utilización múltiple de los recursos hídricos;
- la cooperación y coordinación con los distintos organismos usuarios del agua.
- Las posibles expansiones consideradas en los planes regionales y nacionales de desarrollo en lo referente a expansión urbanística administrativa e industrial de las ciudades y poblaciones a servir con el proyecto.

4.1.1.2 Los sistemas de abastecimiento de agua potable se dividen en las categorías indicadas en la tabla V.1, en función de la confiabilidad del abastecimiento.

4.1.1.3 En la planificación del abastecimiento de agua a complejos industriales se debe hacer el balance del uso del agua en el interior del complejo, considerando la posibilidad de disminuir el caudal de captación y la protección de la fuente de abastecimiento de la contaminación con las aguas residuales. Para procesos de enfriamiento y condensación de productos industriales y del agua misma, así como para el enfriamiento de los equipos, debe considerarse como regla general sistemas de recirculación con enfriamiento por aire o agua.

Bajo estas consideraciones es aconsejable planificar y diseñar simultáneamente los sistemas de agua potable y alcantarillado.

En los sistemas de abastecimiento directo a las industrias se debe considerar los usos sucesivos del agua recirculante, así como también la reutilización de aguas servidas no contaminadas y la consiguiente desinfección y limpieza, si es necesario.

El abastecimiento directo para procesos industriales de enfriamiento, se permitirá cuando exista la debida justificación y el acuerdo de la Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento Básico, SAPYSB y el Consejo Nacional de Recursos Hídricos, CNRH.

4.1.14 En la planificación de sistemas de abastecimiento de agua potable, se debe considerar la utilización de obras de conducción ya construidas, previa la debida justificación técnica, económica y la calificación sanitaria de dichas obras.

(Continúa)

4.1.15 El dimensionamiento de las diferentes obras de los sistemas de abastecimiento de agua debe hacerse para condiciones normales de funcionamiento, tales como: vulnerabilidad frente a fenómenos naturales del sector y además de la operación regular de las unidades.

4.1.1.6 En los proyectos de abastecimiento de agua para consumo humano y fabricación de productos comestibles, es obligatorio el estudio y la definición de las zonas de protección sanitaria.

4.1.1.7 El agua para consumo humano debe cumplir con las normas de calidad, prescritas en la cuarta parte de las presentes normas.

TABLA 1. Categorías de los sistemas de agua potable

CARACTERÍSTICAS DE LOS USUARIOS	EN FUNCIÓN DE LA CONFIABILIDAD DE ABASTECIMIENTO
Centros poblados con más de 50000 habitantes, en donde se permite disminuir el suministro de agua hasta en un 30 % durante máximo 3 días en el año. A esta categoría también pertenecen los complejos petroquímicos, metalúrgicos y refinerías de petróleo.	I
Ciudades de hasta 50000 habitantes, en donde se permite disminuir el suministro de agua hasta en un 30 % durante un mes y la suspensión del servicio en un tiempo máximo de 5 horas en un día por año. En esta categoría también se encuentran las industrias livianas y las agroindustrias.	II
Pequeños complejos industriales, agroindustriales y poblaciones de hasta 5000 habitantes, en donde se permite disminuir el suministro de agua hasta en un 30 % durante un mes y la suspensión del servicio en un tiempo máximo de 24 horas en el año.	III

4.1.2 Período de diseño

4.1.2.1 Los sistemas de abastecimiento de agua potable deben garantizar la rentabilidad de todas las obras del sistema durante el período de diseño escogido.

4.1.2.2 Se debe estudiar la posibilidad de construcción por etapas de las obras de conducción, redes y estructuras; así como también prever el posible desarrollo del sistema y sus obras principales, por sobre la productividad inicialmente estimada.

En general se considera que las obras de fácil ampliación deben tener períodos de diseño más cortos, mientras que las obras de gran envergadura o aquellas que sean de difícil ampliación, deben tener períodos de diseño más largos.

4.1.2.3 En ningún caso se proyectarán obras definitivas con períodos menores que 15 años.

4.1.2.4 El diseño de obras definitivas podrá prever la construcción por etapas, las mismas que no serán más de tres.

(Continúa)

4.1.2.5 El período de diseño de obras de emergencia se escogerá tomando en cuenta la duración de ésta, es decir, considerando el lapso previsto para que la obra definitiva entre en operación.

4.1.2.6 La vida útil de las diferentes partes que constituyen un sistema, se establece en la tabla V.2.

4.1.2.7 Para obras de ampliación, el periodo de diseño se escogerá dependiendo del caso.

TABLA 2. Vida útil sugerida para los elementos de un sistema de agua potable

COMPONENTE	VIDA ÚTIL (AÑOS)
Diques grandes y túneles	50 a 100
Obras de captación	25 a 50
Pozos	10 a 25
Conducciones de hierro dúctil	40 a 50
Conducciones de asbesto cemento o PVC	20 a 30
Planta de tratamiento	30 a 40
Tanques de almacenamiento	30 a 40
Tuberías principales y secundarias de la red:	
De hierro dúctil	40 a 50
De asbesto cemento o PVC	20 a 25
Otros materiales	Variables de acuerdo especificaciones del fabricante

4.1.2.8 Todas las soluciones técnicas adoptadas en el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable, deben sustentarse en la comparación de los distintos indicadores técnicos-económicos de las variantes analizadas. Se debe evaluar costos de construcción, gastos anuales de operación, costos por metro cúbico por día de agua tratada, costo del tratamiento de un metro cúbico de agua, plazos y etapas de construcción, etc.

4.1.2.9 La variante óptima será aquella que tenga los menores gastos, considerando los costos de inversión, los gastos de operación del sistema y los gastos empleados en la protección sanitaria de las fuentes de abastecimiento.

4.1.2.10 Los materiales para el diseño de redes y sistemas de conducción y distribución se deben adoptar de acuerdo con las normas indicadas en el numeral 5.7.85 de estas normas.

Las piezas de unión y acople deben elegirse de acuerdo a las indicaciones dadas en el numeral 5.7.84 de estas normas.

4.1.3 Estimación de la población futura

4.1.3.1 Para el cálculo de la población futura se harán las proyecciones de crecimiento utilizando por lo menos tres métodos conocidos (proyección aritmética, geométrica, incrementos diferenciales, comparativo, etc.) que permitan establecer comparaciones que orienten el criterio del proyectista. La población futura se escogerá finalmente tomando en consideración, aspectos económicos, geopolíticos y sociales que influyan en los movimientos demográficos.

(Continúa)

4.1.3.2 En todo caso, debe contarse con la información del Instituto Nacional de Estadística y Censos, de la SAPYSB (encuestas sanitarias) y con recuento que el proyectista realizará al momento de ejecutar el estudio. El alcance de este recuento se fijará de común acuerdo con la SAPYSB.

4.1.4 Dotaciones y coeficientes de variación

4.1.4.1 Dotación:

La producción de agua para satisfacer las necesidades de la población y otros requerimientos, se fijará en base a estudios de las condiciones particulares de cada población, considerando:

- las condiciones climáticas del sitio;
- las dotaciones fijadas para los distintos sectores de la ciudad, considerando las necesidades de los distintos servicios públicos;
- las necesidades de agua potable para la industria;
- los volúmenes para la protección contra incendios;
- las dotaciones para lavado de mercados, camales, plazas, calles, piletas, etc.;
- las dotaciones para riego de jardines;
- otras necesidades, incluyendo aquellas destinadas a la limpieza de sistemas de alcantarillado, etc.

4.1.4.2 A falta de datos, y para estudios de factibilidad, se podrán utilizar las dotaciones indicadas en la tabla 3.

TABLA 3. Dotaciones recomendadas

POBLACIÓN (habitantes)	CLIMA	DOTACIÓN MEDIA FUTURA (l/hab/día)
Hasta 5000	Frío	120 – 150
	Templado	130 – 160
	Cálido	170 – 200
5000 a 50000	Frío	180 – 200
	Templado	190 – 220
	Cálido	200 – 230
Más de 50000	Frío	> 200
	Templado	> 220
	Cálido	> 230

Para la selección de la dotación se debe hacer, al menos, una investigación cualitativa de los hábitos de consumo, usos del agua y una aproximación del costo de los servicios y disponibilidades hídricas en las fuentes.

Para poblaciones menores a 5 000 habitantes, se debe tomar la dotación mínima fijada.

4.1.5 Variaciones de Consumo

4.1.5.1 El consumo medio anual diario (en m³/s), se debe calcular por la fórmula:

(Continúa)

$Q_{med} = q N / (1\ 000 \times 86\ 400)$
 q = dotación tomada de la tabla V.3 en l/hab/día
 N = número de habitantes.

El requerimiento máximo correspondiente al mayor consumo diario, se debe calcular por la fórmula:

$$Q_{max.día} = K_{max.día} \times Q_{med}$$

El coeficiente de variación del consumo máximo diario deben establecerse en base a estudios en sistemas existentes, y aplicar por analogía al proyecto en estudio. En caso contrario se recomienda utilizar los siguientes valores:

$$K_{max.día} = 1,3 - 1,5$$

El coeficiente de variación del consumo máximo horario debe establecerse en base a estudios en sistemas existentes, y aplicar por analogía al proyecto en estudio. En caso contrario se recomienda utilizar los siguientes valores:

$$K_{max.hor} = (2 \text{ a } 2,3) Q_{med}$$

4.1.5.2 Las dotaciones de agua para procesos industriales y agroindustriales debe establecerse en base a suficientes datos tecnológicos.

4.1.5.3 Las dotaciones de agua contra incendios, así como el número de incendios simultáneos debe adoptarse según las indicaciones de la tabla 4:

TABLA 4. Dotación de agua contra incendios

NUMERO DE HABITANTES (en miles)	NUMERO DE INCENDIOS SIMULTÁNEOS	DOTACIÓN POR INCENDIO (l/s)
5	1	10
10	1	10
25	2	10
50	2	20
100	2	25
200	3	25
500	3	25
1000	3	25
2000	3	25

4.1.6 Caudales de diseño

4.1.6.1 Para el diseño de las diferentes partes de un sistema de abastecimiento de agua potable, se usarán los caudales que constan en la tabla 5.

(Continúa)

TABLA 5. Caudales de diseño para los elementos de un sistema de agua potable

ELEMENTO	CAUDAL
Captación de aguas superficiales	Máximo diario + 20 %
Captación de aguas subterráneas	Máximo diario + 5 %
Conducción de aguas superficiales	Máximo diario + 10 %
Conducción de aguas subterráneas	Máximo diario + 5 %
Red de distribución	Máximo horario + incendio
Planta de tratamiento	Máximo diario + 10 %

4.1.7 Volúmenes de almacenamiento

4.1.7.1 Volumen de regulación. En caso de haber datos sobre las variaciones horarias del consumo el proyectista deberá determinar el volumen necesario para la regulación a base del respectivo análisis. En caso contrario, se pueden usar los siguientes valores:

- Para poblaciones menores a 5 000 habitantes, se tomará para el volumen de regulación el 30% del volumen consumido en un día, considerando la demanda media diaria al final del período de diseño.
- Para poblaciones mayores de 5 000 habitantes, se tomará para el volumen de regulación el 25% del volumen consumido en un día, considerando la demanda media diaria al final del período de diseño.

4.1.7.2 Volumen de protección contra incendios. Se utilizarán los siguientes valores:

- Para poblaciones de hasta 3 000 habitantes futuros en la costa y 5 000 en la sierra, no se considera almacenamiento para incendios.
- Para poblaciones de hasta 20 000 habitantes futuros se aplicará la fórmula $V_i = 50 \sqrt{p}$, en m^3 .
- Para poblaciones de más de 20 000 habitantes futuros se aplicará la fórmula $V_i = 100 \sqrt{p}$, en m^3 .

En estas fórmulas:

p = población en miles de habitantes

V_i = volumen para protección contra incendios, en m^3

4.1.7.3 Volumen de emergencia. Para poblaciones mayores de 5000 habitantes, se tomará el 25% del volumen de regulación como volumen para cubrir situaciones de emergencia. Para comunidades con menos de 5 000 habitantes no se calculará ningún volumen para emergencias.

4.1.7.4 Volumen en la planta de tratamiento. El volumen de agua para atender las necesidades propias de la planta de tratamiento debe calcularse considerando el número de filtros que se lavan simultáneamente. Así mismo, se debe determinar, los volúmenes necesarios para contacto del cloro con el agua, considerando los tiempos necesarios para estas operaciones y para consumo interno en la planta.

4.1.7.5 Volumen total. El volumen total de almacenamiento se obtendrá al sumar los volúmenes de regulación, emergencia, el volumen para incendios y el volumen de la planta de tratamiento.

(Continúa)

4.2 Estudio de fuentes de agua para proyectos de abastecimiento de agua potable

4.2.1 Las fuentes de abastecimiento para consumo humano se dividen en dos grupos:

- Aguas superficiales de ríos, lagos y embalses.
- Aguas subterráneas de pozos, manantiales y galerías filtrantes.

4.2.2 La elección de las fuentes de abastecimiento para consumo humano debe realizarse en base a la comparación técnico - económica de alternativas y al análisis detallado de los recursos hídricos de la zona.

Las fuentes de abastecimiento deben satisfacer las siguientes exigencias:

- Garantizar la obtención de los caudales necesarios, considerando el crecimiento de la demanda hasta el final del período de diseño;
- Garantizar el abastecimiento ininterrumpido del agua a los usuarios;
- Entregar agua en cantidad suficiente para satisfacer las necesidades de los usuarios, y en la calidad deseada, obtenida mediante procesos de potabilización sencillos y económicos;
- Garantizar la posibilidad de abastecimiento con el mínimo gasto de recursos económicos;
- Disponer de un potencial hídrico, de modo que la captación del caudal de diseño no altere el sistema ecológico.

4.2.3 En la elección de un río como fuente de abastecimiento es necesario considerar la variación temporal de los caudales, a fin de determinar la cantidad de agua que puede ser extraída en los períodos de máximo estiaje. No se puede considerar como fuente de abastecimiento a los ríos intermitentes, si no se planifican en ellos embalses de regulación.

4.2.4 La elección de la fuente de abastecimiento debe ser justificada por los resultados de los estudios topográficos, hidrológicos, hidrogeológicos, sanitarios y otras investigaciones cuya profundidad y alcance se debe establecer en función del grado de conocimiento que se tenga de la zona y el nivel de estudio requerido.

4.2.5 En sistemas de abastecimiento de agua potable se pueden utilizar fuentes con diferentes características hidrológicas e hidrogeológicas.

4.2.6 La evaluación de la calidad del agua de fuentes superficiales debe hacerse para los diferentes períodos del año, considerando las grandes variaciones de calidad y contenido de contaminantes.

4.2.7 La evaluación de la calidad del agua de los ríos debe hacerse para diferentes períodos del año, considerando que en crecientes:

- El agua es más turbia;
- Por lo general la alcalinidad es menor;
- El contenido de sólidos suspendidos es mayor;
- La contaminación bacteriana aumenta; y,
- El color y el olor del agua son más elevados que en el resto del año.

4.2.8 Los caudales medios mensuales o medios diarios, provenientes de fuentes superficiales deben tener una garantía de abastecimiento ininterrumpido según los valores dados en la tabla V.6

(Continúa)

TABLA 6. Caudales medios mensuales para fuentes de aguas superficiales

CATEGORÍA DEL USUARIO	GARANTÍA DE ABASTECIMIENTO DE CAUDALES MEDIO MENSUALES PARA FUENTES DE AGUAS SUPERFICIALES, %
I	95
II	90
III	85

4.2.9 La valoración de los recursos hídricos para su utilización como fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano, y la elección de la zona de emplazamiento de un posible embalse debe considerar los siguientes aspectos:

- Régimen de caudales naturales y balance hídrico de la fuente, con un pronóstico de 15 a 20 años;
- Exigencias sobre la calidad del agua requerida por los usuarios;
- Características relativas a la cantidad y tipo de los sedimentos y basuras, su régimen, desplazamiento de acumulaciones de fondo y estabilidad de las orillas;
- Eventualidad de que la fuente se seque, se produzcan avalanchas, flujos de lodo y/o lahares (especialmente en los ríos de montaña próximos a volcanes), y otras catástrofes que puedan ocurrir en la cuenca de drenaje;
- Evaluación de las características de las crecientes (forma, picos máximos, volúmenes y duración) para distintos periodos de retorno;
- Variación de la temperatura del agua en los distintos meses del año y a diferentes profundidades;
- Reservas y condiciones de recarga de las aguas subterráneas, y valoración de la posibilidad de su destrucción como resultado de cambios naturales, construcción de embalses, obras de drenaje, extracción artificial, etc.
- Calidad y temperatura de las aguas subterráneas;
- Posibilidades de recarga artificial de acuíferos y formación de reservas de aguas subterráneas;
- Exigencias sanitarias;
- Valoración técnico-económica de las condiciones de utilización de las distintas fuentes de abastecimiento.

4.2.10 En la evaluación de los recursos hídricos considerados como fuentes de abastecimiento de agua potable se debe tomar en cuenta los usos existentes aguas abajo del sitio de captación, garantizando los caudales de extracción en los diferentes periodos del año para consumo humano, usos industriales, agrícolas y otros tipos de usos, así como también las exigencias de caudales ecológicos mínimos, necesarios para la protección de la fuente.

(Continúa)

4.2.11 En caso de que los recursos hídricos sobrantes sean insuficientes para satisfacer las necesidades aguas abajo del sitio de captación, es necesario planificar embalses de regulación anual o multi anual, así como también obras de trasvase de una cuenca con mayores recursos a otra.

4.2.12 En el abastecimiento de agua para consumo humano se debe procurar la máxima utilización de aguas subterráneas que satisfagan las exigencias higiénico sanitarias requeridas.

4.2.13 No se debe permitir la utilización de aguas subterráneas de buena calidad potable para usos diferentes al de consumo humano. En las zonas donde las aguas superficiales son deficitarias y existen suficientes reservas de aguas subterráneas de buena calidad, su uso, con fines agrícolas, deberá ser autorizado siempre y cuando se garantice la preservación de las reservas y la calidad del agua

4.2.14 Cuando las reservas naturales de aguas subterráneas sean deficitarias se debe contemplar la posibilidad de incrementarlas mediante la construcción de obras especiales destinadas a la recarga de los acuíferos.

4.2.15 Está permitido el uso de aguas subterráneas mineralizadas para consumo humano, siempre y cuando su potabilización sea técnica y económicamente justificada.

4.2.16 Para usos industriales y consumo humano está permitido el uso de aguas termales, siempre y cuando éstas satisfagan las exigencias sanitarias contempladas en estas normas y que la temperatura del agua destinada al consumo humano no sobrepase los 24°C a 26°C.

4.2.17 La evaluación económica de fuentes alternativas de abastecimiento debe realizarse contemplando todos los costos de las obras de captación y conducción y los costos del tratamiento del agua.

4.2.18 La determinación de los volúmenes de almacenamiento en los embalses debe hacerse contemplando el balance de caudales afluentes y efluentes, así como también las pérdidas por evaporación y filtración desde el embalse.

4.2.19 En el diseño de embalses se debe considerar lo siguiente:

- La ubicación del embalse debe hacerse en el mejor lugar desde el punto de vista de la calidad del agua;
- La variación de los niveles del agua;
- La magnitud de las áreas que quedarán sumergidas y de las que se inundarían en condiciones de crecientes extraordinarias;
- La posible reconfiguración de las orillas y de deslizamientos en el embalse;
- Las variaciones del régimen de las aguas subterráneas luego de su llenado;
- El régimen de temperatura del agua a diferentes profundidades;
- La altura de las olas producidas por el viento;
- La variación de las características químicas del agua;
- Características geológico - geotécnicas del embalse;
- Los procesos de colmatación y cambios en la turbiedad del agua;
- Los procesos de contaminación del agua cuando se arrojan al embalse aguas servidas;
- Los cambios biológicos que pueden producirse en el embalse (formación de plancton, incrustaciones, algas y otros tipos de flora y fauna acuáticas);
- Cambios sanitarios.
- La sismicidad de la región.

(Continúa)

ANEXO F Plano del sistema de desinfección para agua de consumo humano, basado en energía termosolar y luz UV de fuente fotovoltaica

ANEXO G Mapas de insolación global del Ecuador

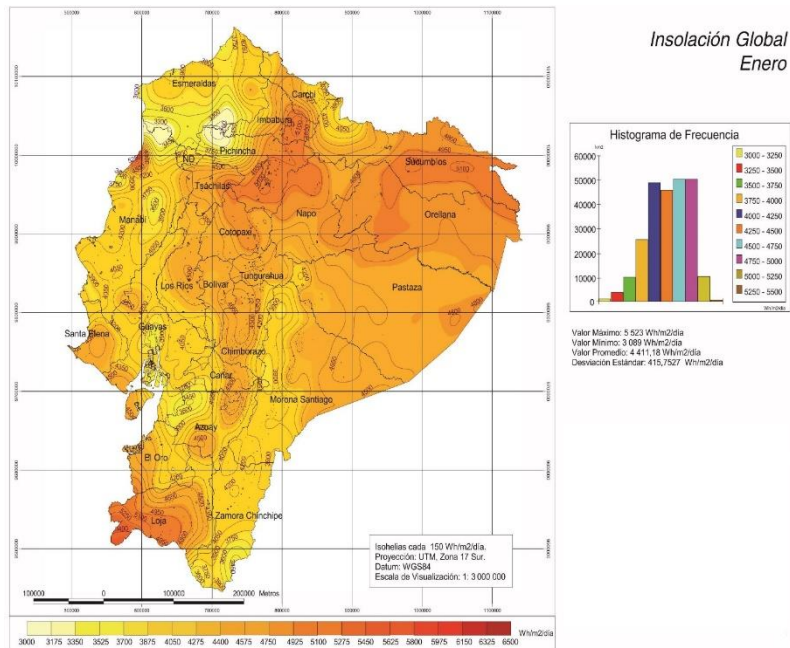


Figura 34-A: Mapa de Insolación Global Enero

Fuente: (Corporación para la investigación energética, 2008)

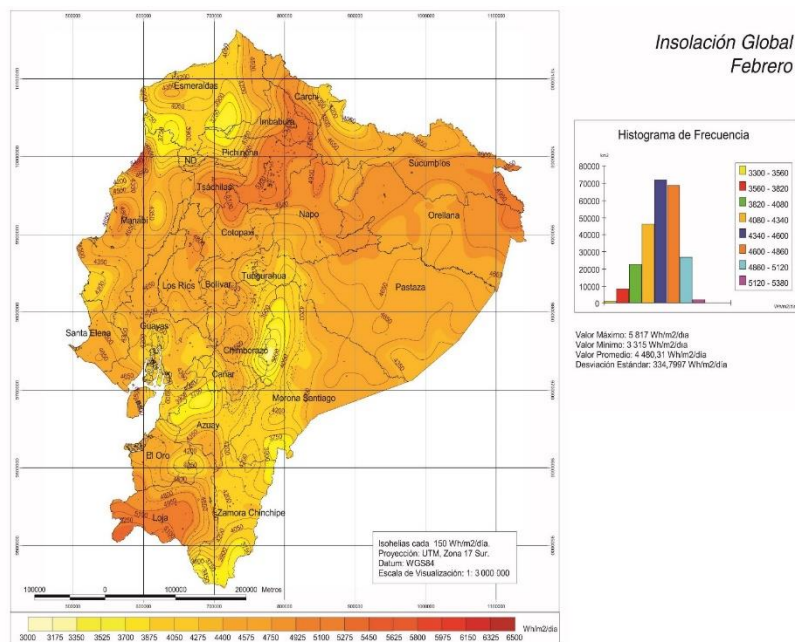


Figura 35-A: Mapa de Insolación Global Febrero

Fuente: (Corporación para la investigación energética, 2008)

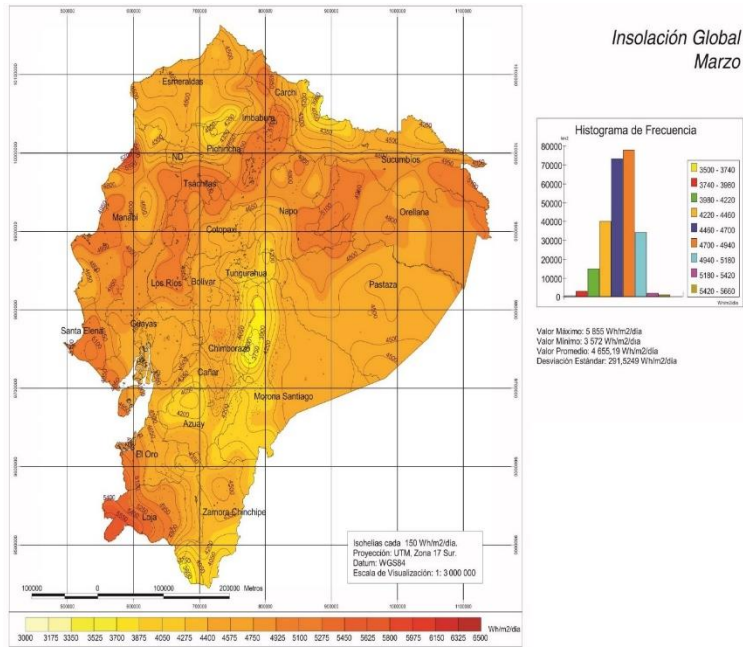


Figura 36-A: Mapa de Insolación Global Marzo
 Fuente: (Corporación para la investigación energética, 2008)

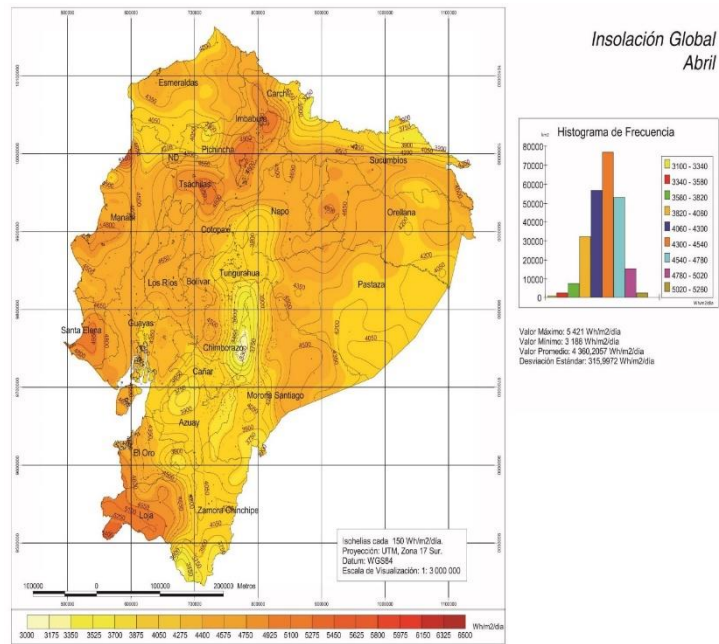


Figura 37-A: Mapa de Insolación Global Abril
 Fuente: (Corporación para la investigación energética, 2008)

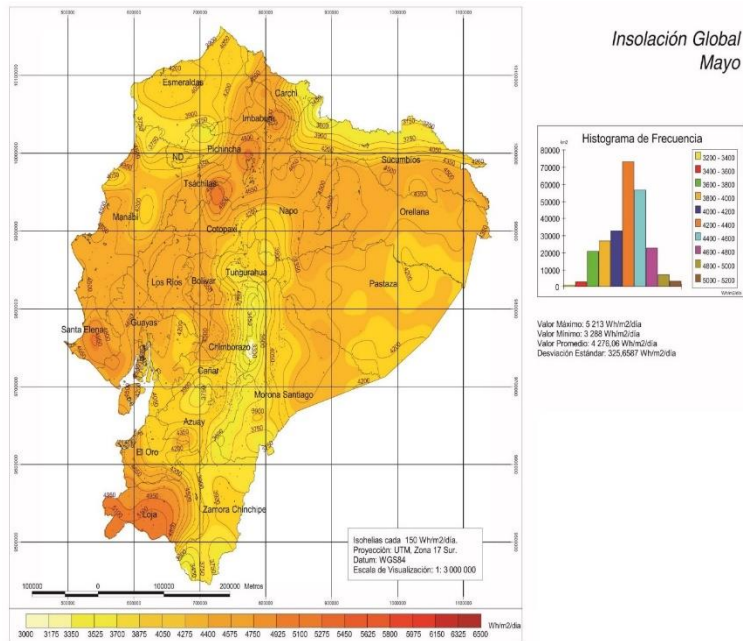


Figura 38-A: Mapa de Insolación Global Mayo
Fuente: (Corporación para la investigación energética, 2008)

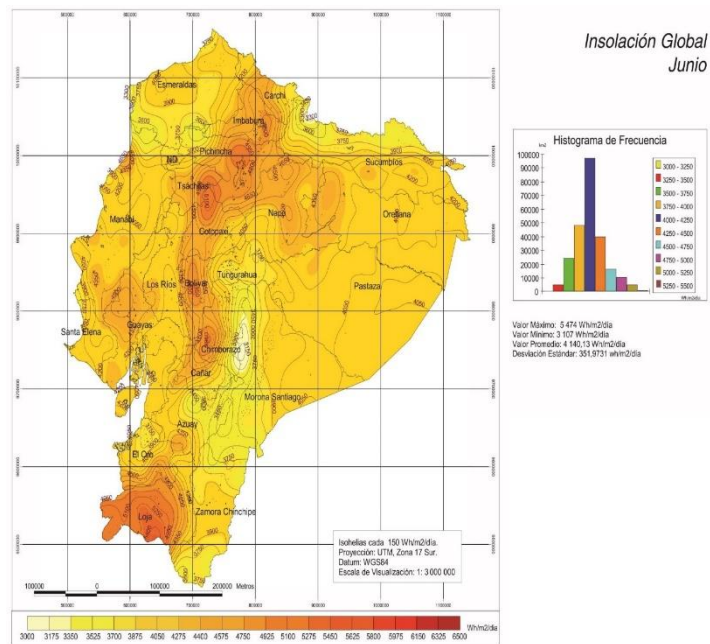


Figura 39-A: Mapa de Insolación Global Junio
Fuente: (Corporación para la investigación energética, 2008)

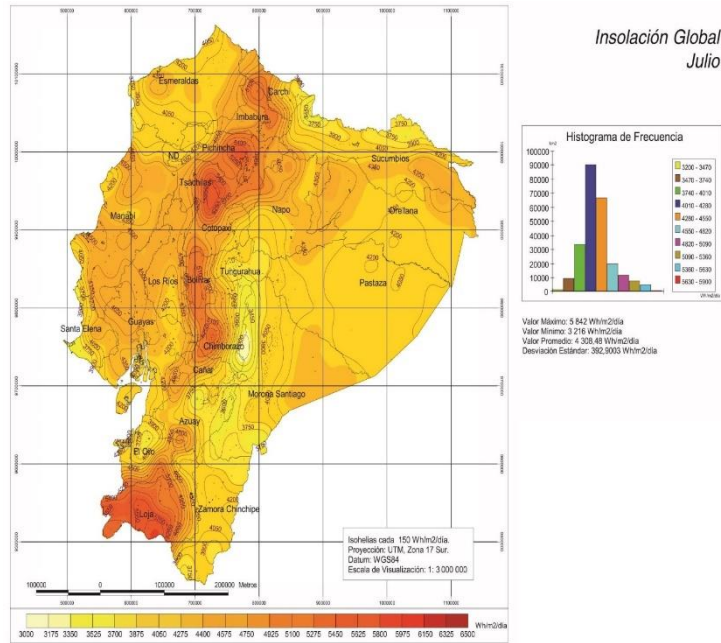


Figura 40-A: Mapa de Insolación Global Julio
Fuente: (Corporación para la investigación energética, 2008)

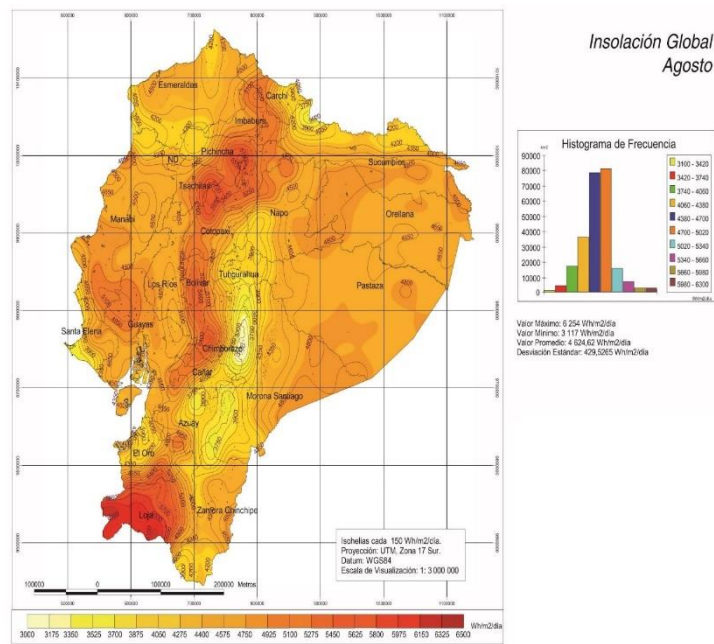


Figura 41-A: Mapa de Insolación Global Agosto
Fuente: (Corporación para la investigación energética, 2008)

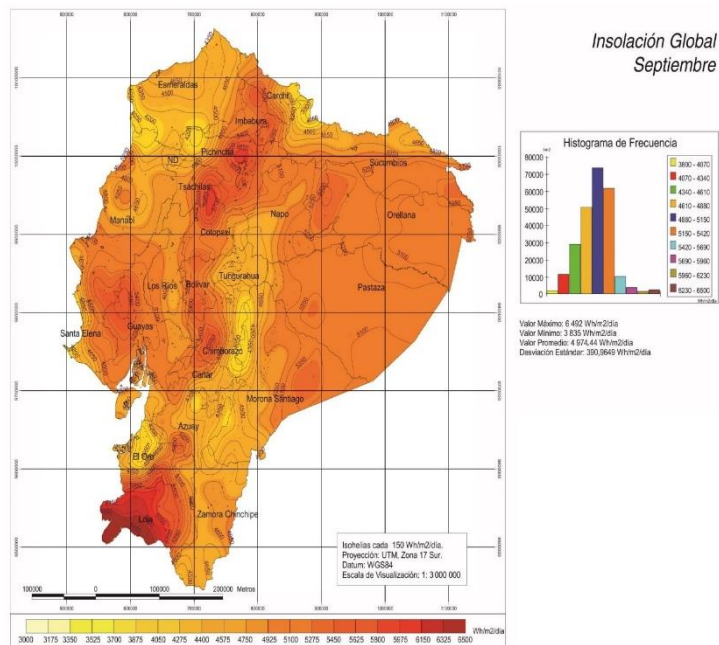


Figura 42-A: Mapa de Insolación Global Septiembre
Fuente: (Corporación para la investigación energética, 2008)

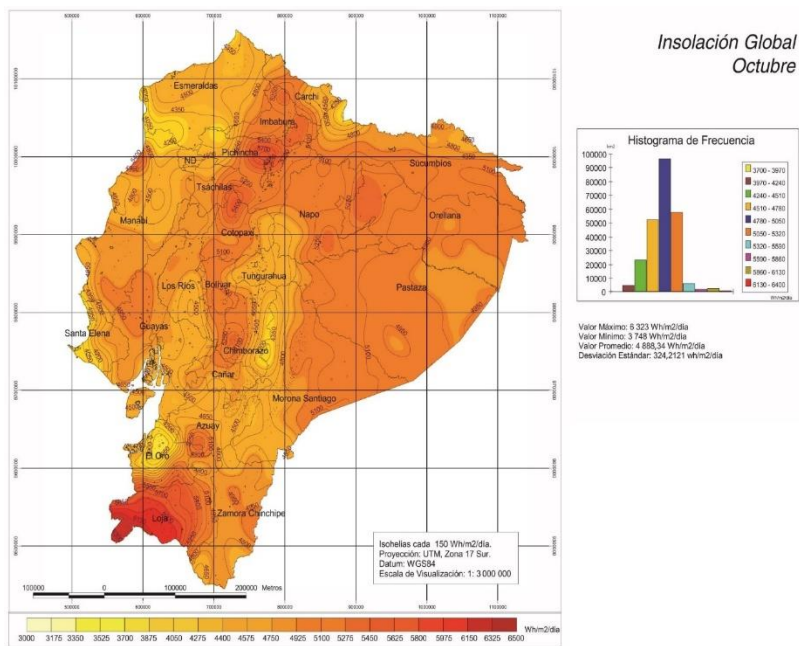


Figura 43-A: Mapa de Insolación Global Octubre
Fuente: (Corporación para la investigación energética, 2008)

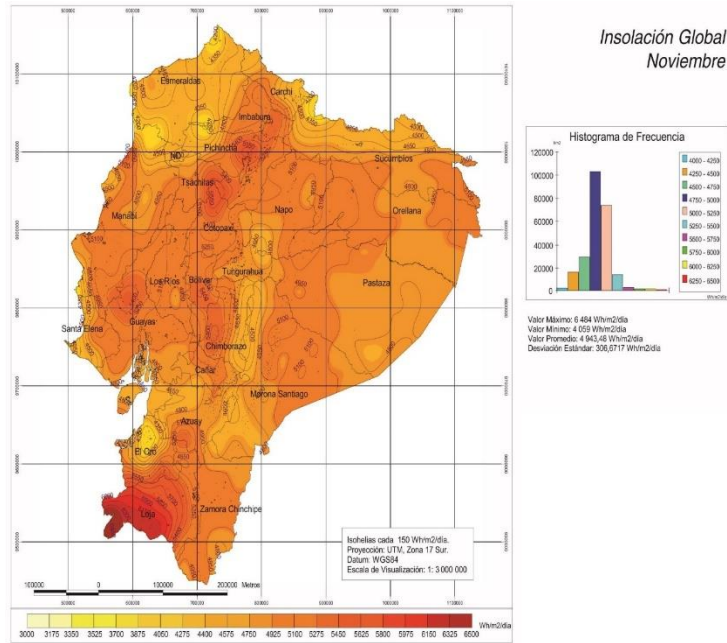


Figura 44-A: Mapa de Insolación Global Noviembre
 Fuente: (Corporación para la investigación energética, 2008)

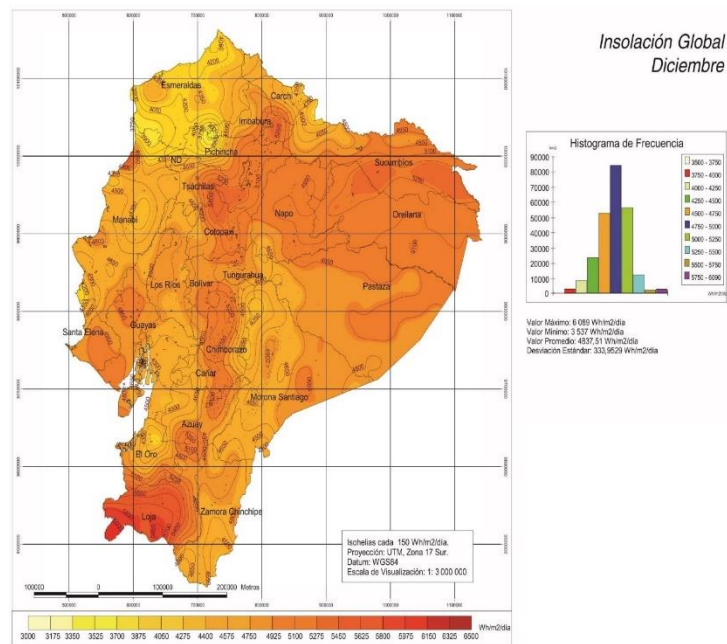


Figura 45-A: Mapa de Insolación Global Diciembre
 Fuente: (Corporación para la investigación energética, 2008)

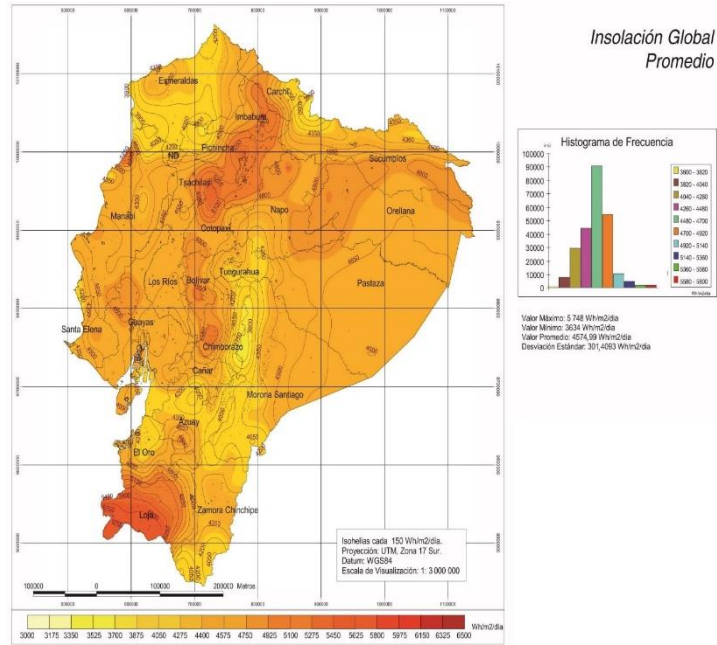


Figura 46-A: Mapa de Insolación Global Promedio
Fuente: (Corporación para la investigación energética, 2008)