



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROYECTO FASE I

**PROTOTIPO DE MEJORA DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN EN PILETAS
PARA EL CULTIVO DE TILAPIA USANDO ENERGÍA GEOTÉRMICA**

UNITEC SPS

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
INGENIERÍA EN ENERGÍA**

PRESENTADO POR:

DULIO ANDRÉ GUARDADO COELLO

21641115

ASESOR: PH.D. HÉCTOR FERNANDO VILLATORO

DEDICATORIA Y AGRADECIMIENTOS

Primero que todo quiero ser agradecido con Dios por que sin él nada hubiera sido posible y me tiene hoy aquí cruzando la última parte de una de las etapas más bonitas pero tediosas y estresantes de la vida.

A mis abuelos porque siempre han estado ahí cuando yo los necesité, a mi abuela Ana que desde pequeño siempre estuvo en cada paso de mi educación, llevándome a tutorías y siendo mi representante en cada uno de mis logros. A mi abuelo Carlos que al día de hoy no se encuentra físicamente con nosotros, pero va conmigo en mente y alma y ha sido un ejemplo de superación y trabajo duro para forjarme cómo persona con los valores que me inculco.

A mis padres que siempre me apoyaron y brindaron todo para que yo tuviera la mejor educación posible dentro de muy buenas instituciones.

A mis hermanos, tíos y primos que siempre me brindaron su apoyo incondicional y estuvieron cerca de mí en los momentos más difíciles de la vida.

A mis hermanos de vida Daniel Rodríguez, Luis Alvarado, Joshua Reyes y Larry Enamorado, desde el colegio armamos un grupo que se ha ido forjando a través del tiempo y hemos crecido cada uno en un ámbito diferente pero siempre logramos las maneras de complementarnos, les agradezco por cada pizca de ánimo que me brindaron.

A mis hermanos de experiencias Carlos Guevara, Keven Hernández, Gabriel Cruz y Pablo Arguijo que a pesar de bromas, malos momentos y muy buenos recuerdos siempre me impulsaron a sacar lo mejor de mí para poder estar hoy aquí.

A Keren Pérez que ha estado conmigo en los peores momentos de mi vida, a pesar de todo lo que paso o pueda llegar a suceder siempre fue una gran persona conmigo y le agradezco porque muchas veces me vio caer, pero estuvo ahí para sacudir el polvo y darme un impulso.

Al Ingeniero Ostin Solís que fue un gran catedrático y un gran asesor temático durante este proyecto.

A todos los ingenieros que demostraron la talla cómo catedráticos y me forjaron en cada una de las áreas importantes de la carrera.

La grandeza nace de pequeños comienzos.

-Sir. Francis Drake

Resumen

La acuicultura es una actividad que se basa en el cultivo de especies acuáticas, vegetales y animales vivos. Para este tipo de cultivos se deben de mantener parámetros de temperaturas dentro de rangos determinados para cada especie. Actualmente este control de temperatura se hace directamente con la energía del sol. Esta investigación trata de proponer un esquema diferente utilizando Energía Geotérmica para poder mantener las temperaturas en las piletas de una manera estable para evitar variaciones extremas en las temperaturas de las piletas por las temperaturas cambiantes del clima durante el día. En esta investigación se analizarán dos escenarios donde se usará el control de las temperaturas en sistemas actuales de regulación y luego el control de las temperaturas usando el diseño de un nuevo sistema con aplicación de energía geotérmica. Estos escenarios basados en sistemas actuales de regulación de temperatura para el rubro de la acuicultura en Honduras. Luego se diseñará el nuevo sistema de climatización de regulación de temperaturas aplicando el uso de energía geotérmica. Así haciendo la recolección de los diferentes parámetros de diseño con los que debe de contar la aplicación con Energía Geotérmica para poder diseñar un sistema adecuado. Se espera que el control de las temperaturas con un sistema a base de energía geotérmica no tenga tantas oscilaciones en las temperaturas del agua de las piletas del cultivo y así poder erradicar los cambios abruptos en las temperaturas. Se espera que la investigación pueda ser utilizada como referencia para trabajos relacionados con el tema de aplicaciones geotérmicas en el mundo de la acuicultura. En esta investigación se planteando casos de estudio para la implementación del sistema geotérmico, donde el primer caso de estudio utiliza el calor directo del agua para poder hacer el intercambio de las temperaturas para las piletas de cultivo. El segundo caso de estudio utiliza agua de recurso a temperaturas más bajas donde luego mediante el uso de bombas de calor es elevado a las temperaturas que se desean para hacer su aplicación en el sistema. En esta

investigación tenemos un enfoque cuantitativo. El proyecto de investigación será cuantitativo ya que se busca la identificación de beneficios a la producción de cultivos de tilapia mediante el nuevo diseño de climatización para regulación de temperatura de las piletas de cría de tilapia mediante el uso de Energía Geotérmica de Baja Entalpía. Dentro de los resultados de esta investigación se listan las características que debe de cumplir el sistema de climatización nuevo, las características que deben de cumplir los acuíferos y los tipos de terrenos, caudales y diámetros de las tuberías a utilizarse. Beneficios que podría traer la implementación de aplicaciones con energía geotérmica, gráficos del comportamiento de las temperaturas en periodos de tiempo estimados. Análisis del comportamiento de las temperaturas en función del tiempo comparando los resultados del dimensionamiento del sistema con Energía Geotérmica. Esta investigación pretende ser una referencia para dar a conocer los parámetros necesarios para aplicaciones de energía geotérmica y aplicarlos en climas y regiones del país con los datos necesarios de los cultivos de tilapia.

Palabras Claves:

Energía Geotérmica, acuíferos, Sistema de Climatización, Temperaturas, aplicaciones.

Abstract

Aquaculture is an activity that is based on the cultivation of aquatic species, plants and live animals. For this type of crops, temperature parameters must be maintained within certain ranges for each of the species. Currently this temperature control is done directly with the energy of the sun. This research tries to propose a different scheme using Geothermal Energy to be able to maintain the temperatures in the pools in a stable way to avoid extreme variations in the temperatures of the pools due to the changing temperatures of the climate during the day. This research will analyze two scenarios where temperature control will be used in current temperature regulation systems and then temperature control using the design of a new system with geothermal energy application. These scenarios are based on current temperature regulation systems for aquaculture in Honduras. Then the new climatization system for temperature regulation will be designed applying the use of geothermal energy. It is expected that the control of temperatures with a system based on geothermal energy will not have so many oscillations in the water temperatures of the pools and thus be able to eradicate abrupt changes in temperatures. It is expected that this research can be used as a reference work for geothermal applications in the world of aquaculture. In this research, two case studies are proposed for the implementation of the geothermal system, where the first case study uses the direct heat of the water to be able to exchange temperatures for the growing pools. The second case study uses resource water at lower temperatures where then by using heat pumps it is raised to the temperatures that are desired to make its application in the system. In this research we have a quantitative approach. The research project will be quantitative since it seeks the identification of benefits to the production of tilapia crops through the new design of air conditioning for temperature regulation of tilapia breeding pools through the use of Low-Enthalpy Geothermal Energy. Within the results of this research, the results must include the characteristics that must meet the

climatization system, the characteristics that must meet the aquifers and the types of land, flows and diameters of the pipes to be used. Benefits that could bring the implementation of applications with geothermal energy, graphs of the behavior of temperatures in estimated periods of time. Analysis of the behavior of temperatures in function of time, comparing the results of the sizing of the system with Geothermal Energy to the actual climatization systems in the country. This research aims to be a reference to publicize the parameters necessary for geothermal energy applications and apply them in climates and regions of the country with the necessary data of tilapia crops.

Keywords:

Low-Enthalpy Geothermal Energy, aquifers, applications, Temperatures, Climatization System.

Índice de Contenido

I. INTRODUCCIÓN	2
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA	5
2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	9
2.3 JUSTIFICACIÓN	11
2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN	11
2.5 OBJETIVOS	12
2.5.1 OBJETIVO GENERAL	12
2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
III. MARCO TEÓRICO	13
3.1 IMPORTANCIA DE LA ACUICULTURA A NIVEL MUNDIAL	13
3.2 ACUICULTURA EN HONDURAS	14
3.2.1 Financiamiento de la acuicultura por parte de Honduras	14
3.2.2 Evolución del financiamiento del rubro acuícola	14
3.2.3 PIB (Producto Interno Bruto) Pesquero	15
3.2.4 Desafíos actuales de la producción de tilapia a nivel nacional	16
3.2.5 Sistemas Actuales de Climatización de Piletas de Cultivo de Peces en Honduras 16	
3.3 CLIMA DE HONDURAS	18
3.3.1 Temperatura en Honduras	20
3.4 GEOTERMIA DE BAJA ENTALPÍA	22
3.4.1 ¿Qué es la Geotermia?	22
3.4.2 Geotermia de baja entalpía	23
3.4.3 Clasificación de Geotermia	23
3.4.4 Yacimientos o Acuíferos Geotérmicos	24
3.4.5 Características hidráulicas de los acuíferos	25
3.5 POTENCIAL GEOTÉRMICO EN HONDURAS	26
3.5 PÉRDIDAS POR INTERCAMBIO DE CALOR EN PILETAS	27
3.5.1 Pérdidas por Evaporación	27

3.5.2	Pérdidas por Convección.....	29
3.5.3	Pérdidas por Radiación	29
3.5.4	Pérdidas por Conducción	30
3.5.5	Masa Térmica de agua de piletas de cultivo de Tilapia.....	31
3.5.6	Requisitos de Flujo de demanda para piletas de cultivo de Tilapia	31
3.5.7	Requisitos de Flujo de demanda de agua fría para piletas de cultivo de Tilapia.....	32
IV.	METODOLOGIA.....	47
4.1	ENFOQUE.....	47
4.2	VARIABLES DE INVESTIGACION.....	47
4.2.1	Variables Dependientes	48
4.2.2	Variables Independientes	48
4.3	HIPÓTESIS	51
4.3.1	Hipótesis de la Investigación.....	51
4.3.2	Hipótesis nula	51
4.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS.....	52
4.5	METODOLOGIA DE ESTUDIO.....	52
4.5.1	Análisis de acuíferos y terrenos	52
4.5.2	Intercambiador de calor.....	53
4.5.3	Análisis termodinámico para temperaturas en piletas.....	53
4.5.3.1	Análisis de Temperaturas en Función del Tiempo	55
4.5.4	Diseño del sistema de climatización.....	56
4.5.5	Funcionamiento a lo largo del año	56
4.5.6	Caso de Estudio.....	57
4.6	PILETAS DE CULTIVO EN FINCA SANTIAGO.....	58
4.7	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	59
V.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	60
5.1	CARACTERÍSTICAS QUE DEBEN DE CUMPLIR LOS POZOS	60
5.1.2	Tipos de terrenos.....	61
5.3	TEMPERATURAS ESTABLECIDAS PARA PILETAS DE TILAPIA.....	61
5.3.1	Intercambiador de Calor de Placas.....	62
5.3.2	Pérdidas por Evaporación	63

5.3.3 Pérdidas por Convección	64
5.3.4 Pérdidas por Radiación	64
5.3.5 Pérdidas por Conducción	65
5.3.6 Pérdidas Totales del sistema	66
5.3.7 Masa Térmica	66
5.3.8 Requerimientos de Flujo [Q]	69
5.3.9 Tuberías en función de los caudales necesarios.....	70
5.4 DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN CON ENERGÍA GEOTÉRMICA	74
5.4.1 Sistema de Regulación haciendo uso de Bomba de Calor Geotérmica.....	74
5.4.2 Sistema de Regulación haciendo uso de bomba sumergible.....	75
5.4.3 Sistema Geotérmico de Captación Abierta	77
5.5 CÁLCULO DE PRODUCCIÓN CON SISTEMA ACTUAL	78
5.5.1 Densidad del Cultivo	78
5.5.2 Tasa de Mortalidad del cultivo.....	79
5.5.3 Alimentación de cultivo de 5-6 meses.....	80
5.5.4 Egresos de producción de 5-6 meses.....	81
5.5.5 Ingresos de producción de 5-6 meses	82
5.6 ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN DE TILAPIA CON NUEVO SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN	84
5.6.1 Densidad del Cultivo	84
5.6.2 Tasa de Mortalidad del Cultivo con Nuevo sistema de Climatización.....	84
5.6.3 Alimentación de cultivo de 5-6 meses con Nuevo sistema de Climatización.....	85
5.6.4 Egresos de Producción de 5-6 meses con Nuevo sistema de Climatización.....	85
5.6.5 Ingresos de producción de 5-6 meses con Nuevo sistema de Climatización ...	86
5.7 SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN CONVENCIONAL VERSUS SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN NUEVO.....	87
5.7.1 Funcionamiento anual del sistema de climatización nuevo	88
5.8 COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA CONVENCIONAL VERSUS COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN NUEVO	89
5.8.1. Sistema Convencional de regulación de temperaturas.....	89
5.8.2 Sistema de Climatización con Energía Geotérmica	90
5.8.3 Gráficas de Temperatura en función del Tiempo	91

5.9 BENEFICIOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL NUEVO SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DE TILAPIA EN HONDURAS	94
VI. CONCLUSIONES.....	95
VII. RECOMENDACIONES.....	98
BIBLIOGRAFIA.....	99
ANEXOS.....	103

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Sistemas actuales para climatización de piletas de cultivo de Tilapia	18
Ilustración 2. Mapa de Temperaturas Promedio Anuales de Honduras	22
Ilustración 3.Capacidad Operativa Instalada por País	22
Ilustración 4.Diagrama de variable de Investigación	49
Ilustración 5. Ubicación "Finca Santiago"	58
Ilustración 6.Tamaño de Piletas en Finca Santiago	59
Ilustración 7. Cronograma de Actividades	59
Ilustración 8. Parámetros de Secciones (Velocidad, Diámetro, Caudal)	70
Ilustración 9. Sistema de Regulación de Temperatura usando Bomba de Calor Geotérmica.	75
Ilustración 10. Sistema de Regulación de Temperatura usando Bomba Sumergible	76
Ilustración 11. Sistema de Captación Abierta para regulación de temperatura en Piletas de cultivo de Tilapia	77
Ilustración 12. Temperatura en función del tiempo para el Sistema Convencional de regulación de temperatura en piletas de cultivo de tilapia	91
Ilustración 13. Temperatura en función del tiempo para Nuevo sistema de Climatización para regulación de temperaturas en piletas de cultivo de tilapia	93

Índice de Tablas

Tabla 1.Periodo de Crecimiento y temperaturas de especies acuáticas	7
Tabla 2. Temperatura del suelo y sus aplicaciones	23
Tabla 3.Tecnología para Extracción de Energía Geotérmica	24
Tabla 4.Clasificación de acuíferos en Función de sus características	26
Tabla 5. Pérdidas por evaporación en pileta de 25X12.2 metros	63
Tabla 6. Pérdidas por evaporación en pileta de 21.4X9.1 metros	63
Tabla 7. Pérdidas por Convección en pileta de 25X12.2 metros	64
Tabla 8. Pérdidas por Convección en pileta de 21.4X9.1 metros	64
Tabla 9. Pérdidas por Radiación en pileta de 25X12.2 metros	64
Tabla 10. Pérdidas por Radiación en pileta de 21.4X9.1 metros	65
Tabla 11.Pérdidas por Conducción en pileta de 25X12.2 metros	65
Tabla 12.Pérdidas por Conducción en pileta de 21.4X9.1 metros	65
Tabla 13. Pérdidas de calor totales de Sistema en Piletas de 25X12.2 metros	66
Tabla 14. Pérdidas de calor totales de Sistema en Piletas de 21.4X9.1 metros	66
Tabla 15. Caudales Utilizados en Piletas	71
Tabla 16. Relación Diámetro Tubería - Caudal	71
Tabla 17. Conversión de Datos de caudal y diámetro.	73
Tabla 18. Datos de Densidad de Cultivo en Piletas de Finca Santiago	78

Tabla 19. Tasa de Mortalidad aplicada a cantidad de tilapias en Piletas de Finca Santiago.	80
Tabla 20. Total de Alimentos por cultivo.	81
Tabla 21. Gastos realizados del Sistema Actual de cosecha de tilapia.	82
Tabla 22. Ingresos de Cosecha de Finca Santiago.	83
Tabla 23. Ganancia Total de Finca Santiago.	83
Tabla 24. Tasa de Mortalidad con Sistema de Climatización Nuevo.	84
Tabla 25. Gastos con nuevo sistema de desarrollo de tilapia.	85
Tabla 26. Ingresos de Cultivo de Finca Santiago con Nuevo Sistema de Climatización.	86
Tabla 27. Ganancias Totales con Nuevo sistema de Climatización.	86
Tabla 28. Diferencia entre el Sistema Convencional versus Sistema Nuevo.	87

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Cálculo de Pérdidas por Evaporación.	28
Ecuación 2. Cálculo de Pérdidas por Convección.	29
Ecuación 3. Cálculo de pérdidas de calor por Radiación.	30
Ecuación 4. Cálculo de pérdidas de calor por conducción.	30
Ecuación 5. Requerimientos de Flujo de Demanda de recurso.	32
Ecuación 6. Caudal de requerimiento para enfriamiento en piletas de cultivo de Tilapia.	32
Ecuación 7. Cálculo para masa térmica Pileta de 25x12.2 metros.	67
Ecuación 8. Cálculo para masa térmica Pileta de 25x12.2 metros.	67
Ecuación 9. Diferencia de calor para suplir pileta de 25x12.2 metros.	68
Ecuación 10. Cálculo de Caída en la Temperatura de la Pileta de 25x12.2 metros.	68
Ecuación 10. Cálculo de Caída en la Temperatura de la Pileta de 21x9.1 metros.	68
Ecuación 12. Cálculo de Caudal.	72

Índice de Anexos

Anexo 1.Datos de Temperatura por hora para sistema convencional de climatización para regulación de temperatura en piletas de cultivo.	103
Anexo 2.Datos para cálculo de temperaturas en sistema de climatización nuevo para regulación de temperatura en piletas de cultivo. (lunes)	104
Anexo 3.Datos para cálculo de temperaturas en sistema de climatización nuevo para regulación de temperatura en piletas de cultivo. (lunes)	105
Anexo 4.Datos para cálculo de temperaturas en sistema de climatización nuevo para regulación de temperatura en piletas de cultivo. (martes).....	106
Anexo 5.Datos para cálculo de temperaturas en sistema de climatización nuevo para regulación de temperatura en piletas de cultivo. (martes).....	107
Anexo 6. Datos para cálculo de temperaturas en sistema de climatización nuevo para regulación de temperatura en piletas de cultivo. (miércoles)	108
Anexo 7.Datos para cálculo de temperaturas en sistema de climatización nuevo para regulación de temperatura en piletas de cultivo. (miércoles)	109
Anexo 8.Datos para cálculo de temperaturas en sistema de climatización nuevo para regulación de temperatura en piletas de cultivo. (jueves).....	110
Anexo 9. Datos para cálculo de temperaturas en sistema de climatización nuevo para regulación de temperatura en piletas de cultivo. (jueves).....	111
Anexo 10.Datos para cálculo de temperaturas en sistema de climatización nuevo para regulación de temperatura en piletas de cultivo. (viernes)	112
Anexo 11.Datos para cálculo de temperaturas en sistema de climatización nuevo para regulación de temperatura en piletas de cultivo. (viernes)	113

LISTA DE ACRÓNIMOS

- **FAO** – Food and Agriculture Organization of the United Nations / Organization de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura
- **PIB** – Producto Interno Bruto
- **IPCC** - Intergovernmental Panel on Climate Change / Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático
- **IHCIT** – Instituto Hondureño de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras

I. INTRODUCCIÓN

Desde el principio de los tiempos el ser humano ha tenido la necesidad de buscar alimento. La pesca es una forma primitiva de buscar alimento, pero con el pasar del tiempo se crearon sistemas de producción de peces, ésta es considerada una práctica antigua y las referencias datan de aproximadamente 4,000 años en China y 3,500 en Mesopotamia (Gobierno de Argentina, s.f.). La FAO define la acuicultura como la explotación de organismos acuáticos, incluyendo peces, moluscos, crustáceos y plantas acuáticas. Los sistemas de cultivos de especies acuáticas han ido cambiando y se han ido implementando tecnologías para la mejora en el desarrollo de los cultivos.

Actualmente los cambios en el clima han provocado que los sistemas de regulación de temperatura que se utilizan actualmente no sean capaces de mantener los parámetros de temperatura necesarios para que las especies puedan sobrevivir. Los peces son criaturas susceptibles a los cambios de temperatura y esto afecta su metabolismo de una manera considerable. Expertos en el tema de la acuicultura han optado por el uso de nuevas tecnologías que son más controlables para la climatización de los cultivos.

La energía geotérmica es una de las energías renovables que más se han explotado para el rubro de la acuicultura. Muchas de las aplicaciones en países desarrollados han mostrado resultados favorables hacia la economía y la especie en producción, países como China, Estados Unidos, Japón, Israel han aplicado sistemas basados en energía geotérmica de baja entalpía y esto ha logrado un alza en la producción de especies de cualquier tipo logrando mantener las temperaturas estables para la subsistencia de la especie. Desde los años noventa se estudian los casos en los que se podría aplicar la energía geotérmica para propósitos diferentes a la generación de energía. Según estudios realizados por (Barbier & Fanelli, 1977) las temperaturas menores a 180 grados Celsius se han utilizado para diferentes rubros que conocemos más actualizados hoy en día, uno de

esos es la aplicación al rubro agrícola, data que se utilizan temperaturas entre 20 a 30 grados Celsius. Sin embargo, se utilizarán temperaturas que van desde más de 30 grados hasta los 90 grados Celsius para la aplicación de este proyecto.

En Estados Unidos se han creado en sistemas de boletines con actualizaciones sobre aplicaciones realizadas en diferentes estados del país. El Instituto Tecnológico de Oregón en Estados Unidos maneja los boletines de actualización que detallan las aplicaciones en los estados correspondientes. Los expertos (Lund, Bloomquist, L.Boyd, & Renner, 2005) afirman que en 11 estados se encuentran aplicaciones geotermales hechas directamente con el agua del recurso ya que vienen de arroyos que desvían el agua desde su fuente principal hasta los pozos utilizados para las piletas de cultivo. En esta investigación se hará el uso de pozo que se encuentran por debajo del suelo, por lo tanto, el sol no influirá en las temperaturas del agua.

Un estudio realizado por (Yarosh, Nichols, Hirst, Michel, & Yee, 1972) habla sobre el uso de energía desperdiciada usada por las centrales de generación de energía geotérmica donde se podría desviar ese excedente y poder ser usado para aplicaciones industriales cercanas a las plantas de generación o lugares residenciales o sitios agrícolas con fines de aumentar las producciones de cultivos y la creación de invernaderos para el uso de mejoras en los cultivos y menor emisión de gases.

Para esta investigación se utilizó como fuente principal el libro elaborado por (Johnson, 1981) titulado "Geothermal Energy: Utilization and technology" libro que data de diferentes aplicaciones y su evolución a lo largo de los años mostrando datos de proyectos que han sido realizados por el Instituto Tecnológico de Oregón en Estados Unidos, cuyo Instituto tiene una división encargada a la investigación y aplicación de proyectos relacionados con la energía geotérmica, esta división del Instituto es conocido como "GEO-Heat Center" y está compuesto por expertos en temas como generación de

energía mediante geotermia, aplicaciones industriales, agrícolas, acuícolas, calefacción de distritos entre los ejemplos más recalables.

La presente investigación analiza la implementación de un sistema de mejora de climatización para la regulación de piletas de cultivo de tilapia haciendo uso de energía geotérmica en Honduras. La investigación se realizó mediante comparación y aplicación de diversas aplicaciones de energía geotérmica en el rubro de la acuicultura y cría de especies. Se tomaron en cuenta los factores climáticos de la región que se utilizó como caso de estudio y se utilizaron datos técnicos por parte de los acuicultores en el país. Haciendo uso de diversas herramientas se obtuvieron los parámetros necesarios para mantener las piletas a una temperatura de 25 grados Celsius mediante el uso de recursos geotérmicos. Dichos resultados mostrados en manera de gráficos para demostrar el comportamiento de las temperaturas en función del tiempo con el sistema actual y compararlas con el sistema que se desea implementar.

La presente investigación está dividida en los siguientes capítulos:

El capítulo II tiene como objetivo el planteamiento del problema y las diferentes preguntas de investigación que serán respondidas a lo largo del documento, también se dividen los objetivos generales y específicos para lograr una recolección de datos más específica. El capítulo III contiene información que desglosa detallada para lograr los objetivos anteriormente dados, información sobre las técnicas a usarse y parámetros a cumplir para el logro de la investigación, El capítulo IV contiene la metodología y detalla el proceso llevado a cabo para responder las preguntas de investigación mediante la descripción e ilustración del lugar donde se realizó la investigación, así como el análisis termodinámico realizado para lograr la comparación y análisis de las temperaturas en los sistemas mencionados.

El capítulo V contiene los resultados obtenidos de los diferentes cálculos realizados para obtener los análisis necesarios en base a los parámetros que debe de cumplir el

nuevo sistema de climatización para que mantenga las temperaturas a niveles estables. Estos comparados con los sistemas actuales de climatización utilizados en Honduras y como se diferencian entre sí. El capítulo VI contiene las conclusiones, limitaciones y recomendaciones de la investigación.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 PRECEDENTES DEL PROBLEMA

“La acuicultura es una actividad que está basada en la cría de especies acuáticas, vegetales y animales. Es una forma de producir alimentos, materias primas para uso industrial y farmacéutico” (Caballero, 2019). A lo largo de la historia el hombre ha ido evolucionando y con esto ha ido evolucionando las maneras en las que se ha buscado la manera de alimentarse, la pesca ha formado una gran parte de esta evolución y de la dieta de ser humano desde sus inicios. Aportando así nutrientes y proteínas para su desarrollo físico y mental. En el año 1758 se descubrió la manera de una fecundación artificial de huevos por Stephen Ludvig Jacobi, quien era un investigador muy avanzado para su época, sin embargo, estos hallazgos quedaron en el olvido.

Hasta que, en 1842, dos pescadores obtuvieron respuestas muy satisfactorias usando los conocimientos brindados por el hallazgo de Jacobi. Este descubrimiento hizo que la academia de ciencias de París profundizara el hallazgo y se creó el primer centro de investigación de acuicultura conocido como el Instituto de Huninge (Wikipedia, 2018).

Desde hace mucho tiempo se ha usado lo que es la acuicultura en muchas civilizaciones alrededor del mundo. El tiempo y el clima de la región son lo que más afectan a todo tipo de cultivos a lo largo de sus procesos de producción. La acuicultura o acuicultura ha sido uno de estos rubros que ha sido afectados por variantes ambientales a lo largo de los años y más ahora que han surgido cambios ambientales que son bastantes radicales hablando del ámbito del rubro de la acuicultura.

El IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) afirma que “La acumulación de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero en nuestra atmósfera está modificando diversas características del clima, los océanos, el litoral y los ecosistemas de agua dulce que afectan a la pesca y la acuicultura. La temperatura del aire y de la superficie del mar, las precipitaciones, el nivel del mar, la acidez del océano, el comportamiento de los vientos y la intensidad de los ciclones tropicales están cambiando. Sin embargo, el impacto del cambio climático en los ecosistemas acuáticos, pesquerías y acuicultura no se conoce bien” (IPCC, 2007).

“Las temperaturas de la superficie del planeta aumentan a gran ritmo. En los últimos 100 años, la temperatura media global ha aumentado 0.76 °C (Grado Celsius). 11 de los 12 años más calurosos desde 1850 se concentran entre 1995 y 2006. En España ese calentamiento ha sido de 1.5 °C. En el Ártico, hasta 5 °C. Este aumento de la temperatura media de la Tierra es el calentamiento global. [...] ese aumento de temperatura media es suficiente para que el clima cambie de forma acelerada y profunda” (Aragon).

En este trabajo de investigación nos enfocaremos en el proceso por el cual se hace la regulación de la temperatura en las piletas de cría de tilapias. Expertos como el PhD. Claude E. Boyd afirman que “La temperatura del agua ejerce importantes limitaciones en la producción acuícola, y la temperatura del agua en la mayoría de los sistemas de cultivo está bajo el control del clima. Las especies para cultivo en cualquier lugar en particular deben seleccionarse de modo que el rango de tolerancia de temperatura de la especie elegida esté en armonía con el clima local y los rangos normales de temperatura del agua.” (Boyd P. C., 2020)

Se tiene definido que hay una gran variedad de especies acuáticas que pueden ser cultivadas y que cada una necesita de un clima o rango temperatura específico. “Las especies para cultivo en cualquier lugar en particular deben seleccionarse de modo que el rango de tolerancia de temperatura de la especie elegida esté en armonía con el clima local y los rangos normales de temperatura del agua. El momento de las operaciones de siembra y cosecha debe estar dentro de un período de temperatura del agua adecuada, y esto puede limitar la duración del cultivo posible.” (Boyd P. C., 2020)

Hay especies de aguas frías, especies de aguas cálidas y especies tropicales. En esta Investigación nos centraremos en una especie que se da en lo que son los ambientes tropicales, así como lo es el clima de Honduras. Aun así, dentro de lo que son las especies tropicales se da que los rangos de tolerancia de temperatura son bastante cambiantes y es el tema por abarcar en este trabajo de investigación. En este caso tomaremos en cuenta la cría de tilapia en el sector Industrial de Honduras. Para lo cual se muestra una tabla del periodo que tardan en crecer y las temperaturas aceptadas para la cría de la especie.

Tabla 1. Periodo de Crecimiento y temperaturas de especies acuáticas

Especies	Tiempo de Crecimiento [Meses]	Temperatura [°C]
Peces Tropicales	2 - 3	23 - 27
Bagre	4 - 6	27 - 29
Trucha	4 - 6	13 - 18
Langostinos	6 - 9	27 - 30
Tilapia	6 - 9	22 - 30

Fuente: Geothermal Energy: Utilization and technology.

A lo largo de mucho tiempo se ha ido desarrollando el rubro de la acuicultura en Honduras. Según la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) "La acuicultura de agua dulce se inicia en Honduras en 1936 cuando junto con introducir desde Guatemala los primeros especímenes para el cultivo, se inicia la construcción de la primera estación de piscicultura. Su objetivo fue mejorar el nivel nutricional de la población rural. Después otros programas de colaboración se fueron desarrollando, hasta lograr la transferencia de la tecnología necesaria para realizar esta actividad con éxito en el país" (Castellón, 2005).

Sin embargo, a lo largo de los años se ha ido intensificado lo que es la creación de estaciones para la cría y cultivo de especies acuáticas a lo largo del territorio nacional haciendo que esté vaya incrementando en un aproximado de 2,500 proyectos de cultivo de peces censado en un estudio realizado por el Departamento de Pesca y Acuicultura hasta el 2016 (FAO). A lo largo de los años la situación ha ido cambiado debido al cambio climático en el aumento de la temperatura que ha sufrido el planeta por los diferentes rubros que han aportado su grano de contaminación en sus procesos. Esto ha causado que los métodos vayan evolucionando para poder elevar su eficiencia para el desarrollo de dichas actividades.

"Los Sistemas de cultivo pueden ser de diferentes tipos, atendiendo a la densidad de siembra, o sea cantidad de peces por superficie y el alimento a utilizar, determinando el tamaño del lugar de destino" (El Productor, 2017). Estos sistemas van desde extensivos, semi-extensivos e intensivos. Con la tilapia en este caso se ha dado el problema que se realiza en pequeños estanques en el interior del país y con producciones muy limitadas y sin la aplicación de una tecnología apropiada para lo que es su desarrollo. Esto dando cómo explicación que los sistemas actuales realmente no explotan el potencial que tiene este rubro.

En trabajo de investigación se ha tomado la decisión de implementar sistemas nuevos de climatización para la mejora del rubro que han dado una nueva cara a lo que es el desarrollo de las de tilapia alrededor del mundo, dando una nueva cara a lo que es el rubro en la perspectiva de eficiencia y desarrollo del producto tanto dándole los requerimientos óptimos a las crías para que tengan un mejor desarrollo y una elevación en la economía de los propietarios de dichos proyectos de cultivo.

En este caso se hará uso de la Energía Geotérmica de baja entalpía la cual ha demostrado un alto grado de desarrollo en varios países que han implementado su uso dentro de los cultivos. "Hasta 22 países en el mundo usan Energía Geotérmica en su sector alimentario para el cultivo de peces y marisco. Los líderes son Estados Unidos, China, Islandia, Italia e Israel, de nuevo según datos de la FAO. Tilapia, salmón o gambas son tres de las muchas especies que el sector alimentario cultiva gracias a la Energía Geotérmica. Otros países menos desarrollados, cómo Argelia, lo están incentivando y no solo se cultivan peces" (Enérgya VM, 2019).

2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La producción de Tilapia ha disminuido su crecimiento a nivel nacional por diversas fallas cómo la dependencia del sol y mal manejo de temas de tecnologías nuevas en los sistemas de climatización actuales por diversos factores cómo los cambios de clima recurrentes o las temperaturas cambiantes por los fenómenos tropicales en las zonas, que se ve afectado por la contaminación a nivel mundial. Todo esto resumido que a nivel nacional se ha visto bastante comprometida el desarrollo de estanques de cultivo por falta de nuevas tecnologías que han sido desarrolladas por varios países de primer mundo.

La regulación de temperatura de los estanques está ligada solamente con la energía emitida por el sol, dando a resaltar que es una energía que no es constante por lo tanto tiene diferentes factores que no permiten que el crecimiento y las condiciones de los cultivos acuáticos sean los más eficientes y mantenerlos entre temperaturas que van desde los 22 grados a 30 grados Celsius.

Según estudios por entes internacionales como GEO-Heat y el Gobierno de Islandia y realizados por diferentes expertos en la temática del desarrollo de los peces derivados de la obtención de temperaturas óptimas pueden incrementar su producción en una cantidad de tiempo menor a la habitual con mejores resultados que con depender solamente del sol para regular temperaturas. Un claro ejemplo de este tema en particular es un proyecto ubicado en Klamath, Oregon. Donde se ha desarrollado la tecnología y ha dado bastantes frutos en el proceso de cría de especies tropicales así mismo disminuyendo la tasa de mortalidad de las crías y los efectos negativos que estos procesos dan al medio ambiente.

Según W.C Johnson "Cuando la temperatura del agua es más baja que los valores óptimos adecuados, los peces pierden la habilidad de poder alimentarse porque su metabolismo es muy básico y se ve afectado por esto." (Johnson, 1981)

2.3 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se enfocará en estudiar la mejora en los sistemas de climatización en los estanques de cría de alevines o Tilapia en el territorio de Honduras haciendo uso de Energía Geotérmica de baja entalpía mediante pozos donde se almacena el fluido de trabajo que en este caso constará de agua. Debido a los recientes cambios climáticos como el aumento de la temperatura y nuevos fenómenos climáticos citados anteriormente y actividad económica se ha visto dañado el desarrollo de cultivos de peces por sus métodos que datan de mucho tiempo sin tener mejoras en la tecnología para la regulación de temperaturas dentro de las piletas. Así, el presente trabajo permitirá mostrar la reducción de fallos en los cultivos de tilapia en el sector de la acuicultura en Honduras. Además, se podrán reducir las emisiones de gases de efecto invernadero que estos producen con su proceso y así también ayudar a fomentar el cuidado del medio ambiente.

2.4 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Cuáles son las deficiencias en los sistemas actuales de los estanques de tilapia?
- ¿Cuál será el método a utilizar para aprovechar la Energía Geotérmica del terreno?
- ¿Qué beneficios obtendrá la implementación de los nuevos métodos de climatización a los estanques de tilapia?
- ¿Qué beneficio económico se obtendrá por hacer cambios de tecnologías en el nuevo sistema de climatización?
- ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de la tecnología que se implementara para la climatización de los estanques de tilapia?

2.5 OBJETIVOS

2.5.1 OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un sistema de mejora de climatización para el desarrollo de cultivo de tilapia usando Energía Geotérmica de baja entalpía para evitar fallos en las cosechas debido a muertes de las crías causadas por sistemas de regulación de temperatura ineficientes.

2.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar cuáles son las temperaturas óptimas y cómo se van a mantener en las piletas de cultivo de tilapia usando Energía Geotérmica.
- Determinar ubicación de los pozos y tipo de terrenos donde se llevará a cabo la perforación del pozo para extracción.
- Diseñar el sistema para mejorar la climatización de las piletas de cultivo de tilapia usando Energía Geotérmica.
- Analizar el funcionamiento a lo largo del año y su beneficio al desarrollo de la especie.
- Determinar los beneficios de la implementación del nuevo sistema de climatización al rubro del cultivo de tilapia en Honduras usando Energía Geotérmica.

III. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se definen varios conceptos, demostraciones, fórmulas, ilustraciones y ecuaciones que son esenciales para que el lector pueda tener un mejor entendimiento del tema en general.

3.1 IMPORTANCIA DE LA ACUICULTURA A NIVEL MUNDIAL.

Los productos que son cosechados por parte de la acuicultura representaron en el 2018 un porcentaje de producción total de 46% esto entre pesca y acuicultura y un 52% para el consumo humano. A nivel mundial China es el país más remarcable teniendo una gran diferencia con otros países que basan gran parte de su economía en este rubro. China ha sido el mayor productor gracias a que tiene una industria muy desarrollada, que ha producido desde 1991 más alimentos de acuicultura que el resto del mundo. Desde 2001 hasta el 2018 su crecimiento anual fue de 5.3%, el crecimiento de la acuicultura en el mundo tuvo un 4% en 2017 y un 3.2% en 2018 (IPac, 2020).

“La producción acuícola mundial de animales acuáticos de cultivo ha sido dominada por Asia, con una participación de en torno al 89 por ciento en las últimas dos décadas, con China a la cabeza. Le sigue América, con el 4.6 %; Europa, con el 3.8 %; África con el 2.7 % y Oceanía con el 0.2 %” (IPac, 2020).

3.2 ACUICULTURA EN HONDURAS

La situación actual que corresponde a Honduras se remonta comenzando por el año de 1936 cuando se hicieron los primeros esfuerzos para introducir programas de desarrollo de acuicultura y estos comenzaron con estanques en las lagunas "El Pescado" en Francisco Morazán y en "Los Jutes" en la región de Santa Barbara. Años más tarde el Ministerio de Recursos Naturales comenzó con la construcción de "El Picacho" en el departamento de Francisco Morazán que se instaló como un centro piscícola con fines experimentales y de investigación, dadas las recomendaciones del Dr.S.Y. Lin un experto de la ONU/FAO para Honduras (Berrios, s.f.).

3.2.1 Financiamiento de la acuicultura por parte de Honduras

"La inversión dedicada por el gobierno de Honduras para el desarrollo de la acuicultura inicialmente en el año de 1977 fue de aproximadamente 1.5 millones de lempiras, cantidad que se destinó para la construcción de centros piscícolas, compra de material, equipo y pago de salarios de personal técnico y de campo. En ese mismo año (1977) se destina un presupuesto de aproximadamente L. 108 000. La paridad de la moneda nacional es de dos lempiras por un dólar" (Berrios, s.f.).

3.2.2 Evolución del financiamiento del rubro acuícola

"El sistema de financiamiento para los proyectos artesanales era individual o por medio de ONG's, grupos religiosos y programas gubernamentales de extensión. El financiamiento para la piscicultura industrial (1990) fue individual o procedente de los miembros de las sociedades, luego el acceso a los préstamos bancarios fue abierto a los proyectos industriales, y la política de los bancos incluyó el cultivo comercial de tilapia,

de acuerdo a la garantía, estudio de factibilidad y estado financiero de los inversionistas” (Luis Morales, 2007).

Actualmente los Acuicultores usando fondos propios para iniciar en lo que es el rubro, muchos de ellos son propietarios de las propias tierras y empiezan a introducirse al negocio de la acuicultura, muchas veces hay personas que reciben prestamos de parte BANADESA. Un estimado aproximado de lo que sería un capital para una persona que desea introducirse al rubro van desde los Lps. 50,000 lempiras hasta unos Lps. 100,000 lempiras (Luis Morales, 2007).

3.2.3 PIB (Producto Interno Bruto) Pesquero

Se estima que el PIB de Honduras es de Lps 157,000 Millones de Lempiras al costo original de los factores que inciden y de Lps 175,140 Millones a precio de mercado. Su contribución al PIB aún no se tiene lo que son cifras puntuales del subsector de pesca, sin embargo, se calcula que es un 2% según el BCH (Banco Central de Honduras) incluyendo los sectores de agricultura, silvicultura, Caza y Pesca. La exportación de estos productos genera divisas de 260 Millones de dólares hasta el 2006 (Luis Morales, 2007).

Hasta el 2014 se estima que las divisas generadas por la parte de cultivos cómo la tilapia ha generado al menos 75 millones de dólares. Las exportaciones de tilapia hondureña se estimaron en 9,797.5 kilos enviadas al exterior por su respectiva industria. Según el Banco Central de Honduras las ventas de tilapia y filete de tilapia, sumado a otros productos han sido parte importante en lo que es el alza del PIB. Al cierre del segundo periodo del 2014 los volúmenes exportados de estos productos hacia Estados Unidos y Canadá subieron 34.2% en relación con años pasados, también algunos de estos fueron exportados a países Centroamericanos y europeos (Heraldo, 2014).

3.2.4 Desafíos actuales de la producción de tilapia a nivel nacional

Actualmente unos de los grandes desafíos que ha tenido lo que es el rubro es el constante cambio que ha sufrido el planeta, lo que imposibilita en cierta parte el desarrollo de las tecnologías actuales que se usan para la climatización y mantener las aguas en las temperaturas estables para la especie de la tilapia que son entre 22 a 35 grados Celsius. En Honduras el clima ha variado mucho los últimos teniendo hasta un incremento de un 1 grado Celsius durante estos años, sin embargo, se dice que nos encontramos en una zona que es un clima tropical.

3.2.5 Sistemas Actuales de Climatización de Piletas de Cultivo de Peces en Honduras

A través de los años se han ido implementando técnicas para el rubro acuícola, el cual mediante pasan los años se ha ido viendo afectado por diversos factores tales como es el cambio en las temperaturas a lo largo del mundo. La contaminación en un lugar incide de igual manera en todas las partes del mundo, el incremento hasta de 1 grado Celsius puede cambiar de manera muy grande los ecosistemas ya existentes y muchas especies no son capaces de poder adaptarse.

“La temperatura es probablemente el factor ambiental más importante debido al efecto que tiene sobre las respuestas fisiológicas de los animales acuáticos (Fry, 1971 citado en Romo, 2018). La relación entre la temperatura del agua y la temperatura del cuerpo ha sido objeto de estudio por más 150 años” (Beitinger et al., 2000 citado en Romo, 2018).

Así mismo Jorge Rodríguez y el Señor César Barahona son dos personas que se dedican a la acuicultura en cría de alevines y tilapia han mencionado la deficiencia en el desarrollo de sus cultivos por tener una dependencia directa del clima y la irradiación del sol para poder mantener los niveles de temperatura óptima para la sobrevivencia de las tilapias en las piletas. También mencionan que a lo largo del país por las diferentes zonas y relieves del territorio las temperaturas cambian y algunas son bastante frías o muy calientes y esto imposibilita la cría en esos lugares ya que no se tiene un sistema de climatización tecnológico si no que dependiente de la temperatura del lugar.

A continuación, se representa lo que es el sistema actual con el que muchas de las personas que forman parte del rubro acuícola cuentan en sus criaderos de tilapia, básicamente el sistema de regulación cuenta con un depósito de agua donde se mantiene lo que será su intercambiador de calor para poder mezclarse con las piletas donde se encuentran las crías de una manera que la temperatura no baje o suba y esto afecte lo que es el crecimiento. Mencionan que esto también influye bastante en el periodo en el cual los alevines pasan a ser tilapias adultas que es más o menos de uno a dos meses más en las piletas y que no logran alcanzar los pesos deseados por el mercado que intenta adquirir el producto o simplemente fallecen.

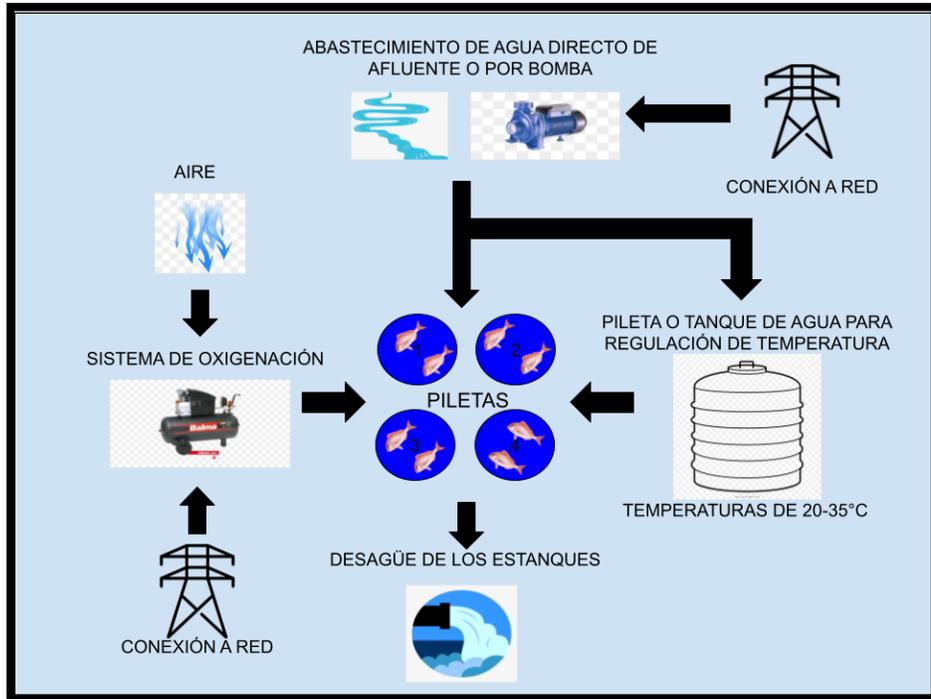


Ilustración 1. Sistemas actuales para climatización de piletas de cultivo de Tilapia.

Fuente: Elaboración Propia

3.3 CLIMA DE HONDURAS

El clima de Honduras debido a su ubicación en el Istmo Centroamericano y el Caribe bañado por los mares Pacífico al Sur y el Atlántico, se muestran tres diferentes variantes de caracterización. Viendo este desde el punto de vista temporal y espacial. Tiene una distribución de lluvias que se diferencia en las diferentes regiones. En el noreste se predomina un gran régimen de viento y este es un factor bastante influyente en la precipitación.

Por otra parte, Honduras está influenciada por fenómenos meteorológicos tanto del área tropical, latitudes medias como de las zonas polares, estos pueden estar clasificados en la escala local, meso escala, sinóptica y escala global, dando lugar a que existan diferentes zonas climáticas. Se presentan en diferentes épocas del año, por cuanto la temporada de empujes polares (frentes fríos) se manifiesta estadísticamente entre los meses de noviembre y marzo, dando lugar a fuertes precipitaciones por efecto topográfico a lo largo de la costa norte; entre los meses de junio a noviembre el país es influenciado por los ciclones tropicales los cuales generan efectos directos como indirectos. Las ondas tropicales coinciden sus efectos con la temporada de ciclones tropicales en el Caribe y el Atlántico, pues la mayoría de las veces una onda tropical sirve como principal fuente para la formación de los ciclones tropicales (IHCIT, 2012)

“La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) genera efectos directos o indirectos entre los meses de septiembre y octubre y en ocasiones modulada por el paso de una onda tropical. Esto da lugar a fuertes precipitaciones principalmente en la región sur, central sur-oriental y occidental” (IHCIT, 2012).

3.3.1 Temperatura en Honduras

“La temperatura es una magnitud física que indica la energía interna de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente en general, medida por un termómetro. Dicha energía interna se expresa en términos de calor y frío, siendo el primero asociado con una temperatura más alta, mientras que el frío se asocia con una temperatura más baja” (Significados)

A continuación, se muestra un mapa de la temperatura sobre el territorio nacional utilizando lo que son los datos históricos proporcionado por IHCIT:

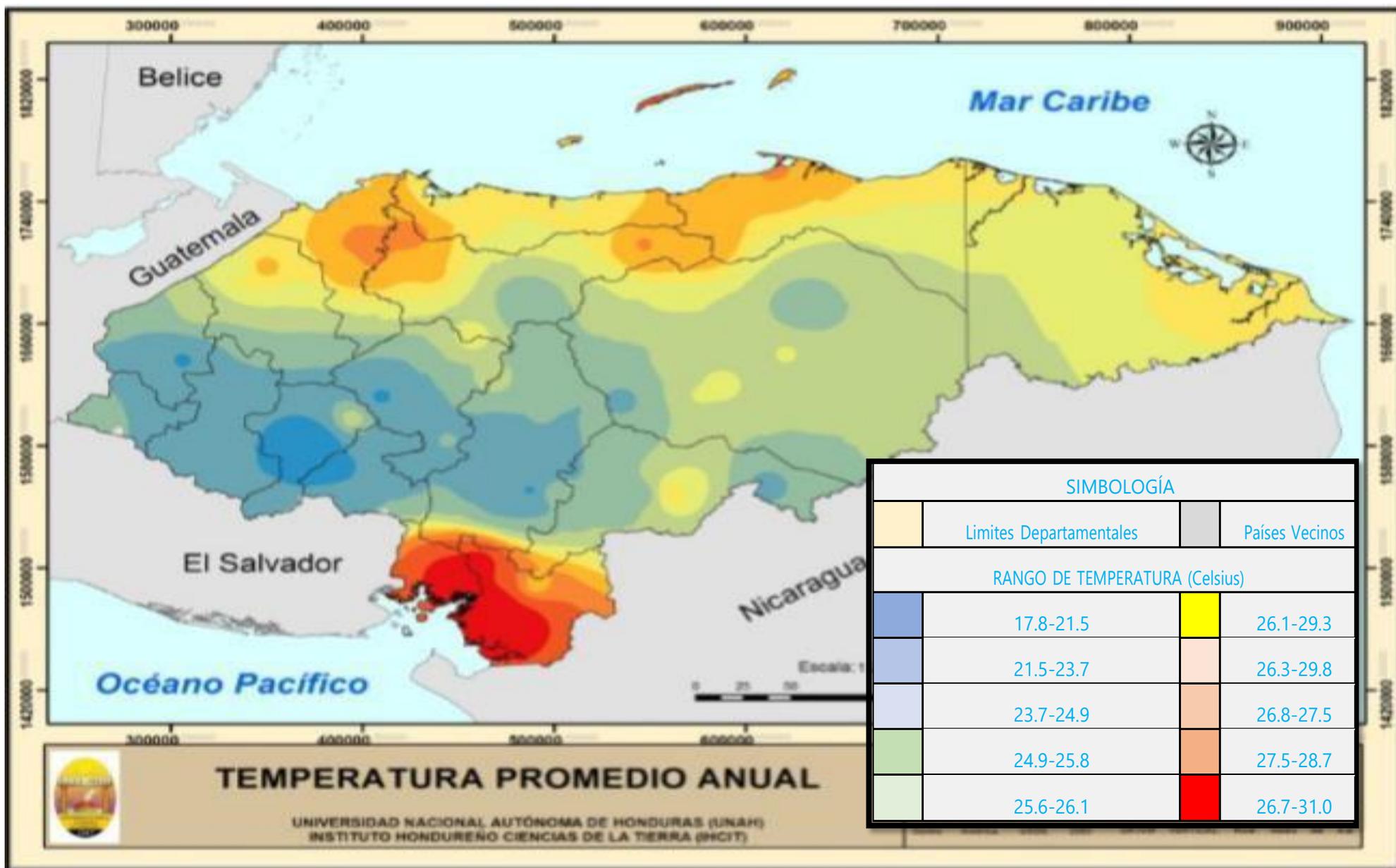


Ilustración 2. Mapa de Temperaturas Promedio Anuales de Honduras.

Fuente: (IHCIT, 2012) con modificaciones propias.

3.4 GEOTERMIA DE BAJA ENTALPÍA

3.4.1 ¿Qué es la Geotermia?

“La geotermia es el campo de la ciencia dedicado al estudio del calor existente debajo de la superficie de la Tierra. También se conoce con el mismo nombre al proceso por el cual se extrae la energía geotérmica para su posterior uso como energía eléctrica, principalmente” (IngeoExpert, 2018). Es una de las fuentes con mayor potencial energético y renovable del mundo, es una tecnología bastante potente, aunque no ha sido ampliamente explotada por el mundo (GeoPlat, 2016). En Europa es donde más se puede contar con aplicaciones de esta energía, sin embargo, varios países de América han comenzado a explotarla de una manera lenta pero bastante eficaz. Un ejemplo claro es Estados Unidos donde se ha explotado una gran cantidad de Energía Geotérmica, y esto ha sobrepasado a Europa en generación de Energía Geotérmica. (IngeoExpert, 2018).

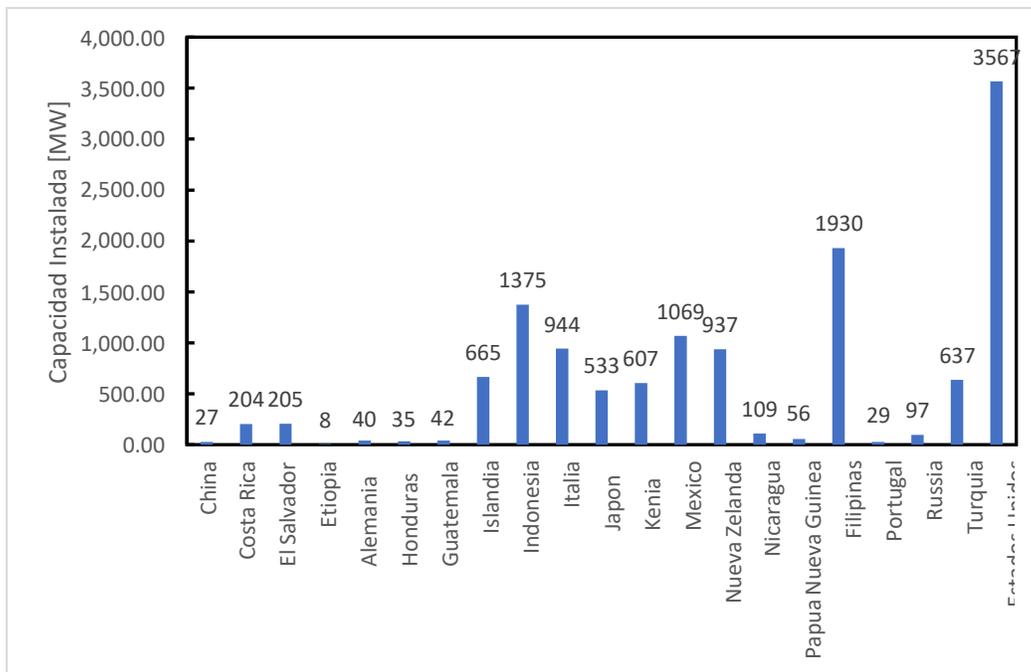


Ilustración 3. Capacidad Operativa Instalada por País.

Fuente: Elaboración Propia con datos de (Roca, 2016)

3.4.2 Geotermia de baja entalpía

La energía geotérmica de baja entalpía o baja temperatura se obtiene de igual manera que la energía geotérmica convencional, contando con el hecho que esta hace uso de temperaturas más bajas para lograr sus beneficios. Esta energía aprovecha las temperaturas que se pueden encontrar desde varios metros abajo del suelo y así poder usarla para aplicaciones ya sean residenciales o industrializadas. Ya sea para climatizar edificios, casas, invernaderos, para calentar agua y servir de calefacción para el invierno.

“Ya definida la Energía Geotérmica, esta fuente de energía renovable y potencialmente utilizable en una gran variedad de sectores en la actualidad, podemos clasificarla en dos formas diferentes, según la temperatura del subsuelo en la que podemos encontrarla, o bien atendiendo a las tecnologías utilizadas para su extracción” (Llopis & Angulo, 2008 citado en Carrasco & Marquez, 2015).

3.4.3 Clasificación de Geotermia

- **Según la temperatura del Subsuelo:**

Tabla 2. Temperatura del suelo y sus aplicaciones.

Tipo de Yacimiento		Rango de Temperatura	USO PRINCIPAL
Muy baja entalpía	Subsuelo con o sin agua	5 °C < T < 30 °C	Climatización
	Aguas subterráneas	10 °C < T < 30 °C	
Baja Entalpía	Aguas Termales	22 °C < T < 50 °C	Balnearios, Acuicultura
	Zonas Volcánicas	T < 100 °C	Calor de Distrito
	Almacenes sedimentarios profundos		

Fuente: Editada de (Carrasco & Márquez, 2015)

- **Según la tecnología de extracción:**

Tabla 3. Tecnología para Extracción de Energía Geotérmica.

Tecnología	Tipo de Yacimiento	Temperatura
Bomba de Calor	Muy Baja Entalpía	30 °C < T < 100 °C
Uso Directo Bomba de Calor	Baja Entalpía	100 °C < T < 150 °C

Fuente: Editada de (Carrasco & Márquez, 2015)

“Por tanto, la Energía Geotérmica de muy baja entalpía [...] es la que podemos aprovechar para la climatización de viviendas, edificios, oficinas, procesos industriales, etc., mediante el empleo de bombas de calor geotérmicas como tecnología de intercambio de calor” (IGC, 2014 citado en Carrasco & Márquez, 2015).

3.4.4 Yacimientos o Acuíferos Geotérmicos

“Un yacimiento geotérmico se define como una zona del subsuelo cuyo calor se puede aprovechar de una manera rentable económicamente. Para esto se deben de cumplir varias características, por ejemplo, estas deben de tener la presencia de un fluido que la transporte y además se deben de realizar estudios mediante perforaciones con suficientes profundidades para alcanzar y encontrar temperaturas óptimas para explotación” (Institut Cartogràfi y Geològic de Catalunya, 2011). Para clasificar los yacimientos se tienen en cuenta las temperaturas de los fluidos como de las posibles aplicaciones con las cuales se explotará tal potencial. Hay cuatro tipos de yacimientos, pero nos centraremos en dos tipos en específico:

- **De baja temperatura:** en estos tipos de yacimientos están temperaturas que van desde los 30 grados Celsius a los 100 grados Celsius. Estos están localizados en zonas con las características geológicas adecuadas y favorables. Se puede aproximar al gradiente medio. Estas se explotan para extraer agua caliente y reinyectarla a temperaturas deseadas. Se utiliza en procesos de calefacción urbana o procesos industriales (Institut Cartogràfi y Geològic de Catalunya, 2011).
- **De muy baja temperatura:** En estos yacimientos se encuentran temperaturas inferiores a los 30 grados Celsius. Estos se utilizan como intercambiadores térmicos en sistemas de climatización doméstica y agrícola mediante las bombas de calor. Se pueden hallar en cualquier lugar, pero están condicionadas por su gradiente térmico y esto condiciona la eficiencia del sistema (Institut Cartogràfi y Geològic de Catalunya, 2011).

3.4.5 Características hidráulicas de los acuíferos

Para saber cuáles son las condiciones óptimas que debe de cumplir un acuífero que será explotado para sacar su potencial térmico, se debe de determinar información técnica para saber si la obra de captación será la correcta. A través de recopilación de informes consultados se ven ciertos parámetros a cumplir para el tipo de explotación que tendrán los acuíferos (Instituto Geológico y Minero de España).

Tabla 4. Clasificación de acuíferos en Función de sus características.

Tipo de Acuífero	Características
Acuíferos muy permeables	$K > 10^{-1}$ m/s, pueden dar caudales $Q > 150 - 200 \text{ m}^3$ /hora
Acuíferos permeables	10^{-1} m/s $> K > 10^{-3}$ m/s, pueden dar caudales 150 m^3 /hora $> Q > 100 \text{ m}^3$ /hora
Acuíferos de permeabilidad media-baja	10^{-3} m/s $> K > 10^{-5}$ m/s, pueden dar caudales 100 m^3 /hora $> Q > 10 \text{ m}^3$ /hora.
Acuíferos de permeabilidad muy baja e impermeables	$K < 10^{-5}$ m/s pueden dar caudales $Q < 10 \text{ m}^3$ /hora.

Fuente: *Elaboración Propia usando información de* (Instituto Geológico y Minero de España)

3.5 POTENCIAL GEOTÉRMICO EN HONDURAS

“En Honduras se encuentran zonas con potencial geotérmico en 17 de los 18 departamentos del país. [...] desde décadas atrás, se han identificado seis áreas para el desarrollo de potenciales proyectos de alta entalpía (alta temperatura): Platanares (La Unión, Copán), Azacualpa (San Pedro de Zacapa, Santa Barbara), San Ignacio (El porvenir, Cedros y San Ignacio, Francisco Morazán), Pavana (Choluteca, Choluteca), Sambo Creek (La Ceiba, Atlántida), y Puerto Cortés (Choloma, Puerto Cortes y Omoa, Puerto Cortés). En total, estos proyectos suman 120 MW de potencia” (Programa Fomento de la Geotermia en Centroamérica, 2019).

Durante este mismo estudio se ha identificado que existen cerca de 204 fuentes termales con temperaturas que van desde los 30 grados Celsius a 101 grados Celsius. Simplemente en Honduras muchos de estos lugares con potencial termal se usan como recurso turístico y no se han implementado nuevas tecnologías para explotarlos en

procesos industriales. Las exploraciones no han arrojado datos concretos de ubicaciones de pozos y su análisis de temperatura, sin embargo, son puertas que se encuentran abiertas a aquellos pioneros que deciden explotar este tipo de país y con inversiones extranjeras o locales. Aun no hay datos concretos sin embargo ya hay 200 lugares identificados para próximas investigaciones.

3.5 PÉRDIDAS POR INTERCAMBIO DE CALOR EN PILETAS

Las especies acuáticas que son producidas de manera comercial por la acuicultura en su mayor parte son animales de sangre fría, por lo tanto, al mantener las temperaturas estables su metabolismo mejora y permite que el animal se alimente y crezca en menos tiempo. Para lograr eso se deberá de suplir con las necesidades de calor que las piletas ocupan. A continuación, se presentan fórmulas para realizar los cálculos de las pérdidas en los sistemas de cría de tilapias cuando se intenta usar la energía geotérmica como fuente de calor. Estas fórmulas están para ser aplicadas en cuerpos de agua que se encuentran al aire libre (Johnson, 1981, p.121).

3.5.1 Pérdidas por Evaporación

Las pérdidas por evaporación es la componente más grande dentro del cálculo total de las pérdidas de calor por las piletas. La cantidad necesaria para poder evaporar un kilogramo de agua varía con la temperatura y presión, pero bajo condiciones atmosféricas normales el valor es de 2,440 kJ aproximadamente. Las pérdidas por evaporación pueden ocurrir cuando la temperatura del agua es menor que la temperatura del ambiente. La velocidad a la que ocurre la evaporación está ligada a la velocidad del

aire y la diferencia de presión entre el vapor en el aire y la pileta. La siguiente ecuación describe el rango de evaporación:

$$W_P = (11.0 + 4.30 v) \times (P_w - P_a) \times A$$

Ecuación 1. Cálculo de Pérdidas por Evaporación

Fuente: (ASHRAE,1995 citado en Johnson, 1981, p.122)

Donde:

W_p = tasa de evaporación [kg/h]

v = velocidad del viento [m/s]

P_w = saturación de presión de vapor en el agua de la pileta [bar-absoluto]

P_a = saturación de presión en punto de rocío del aire [bar-absoluto]

A = Área de Pileta [m²]

Algunos valores comunes para P_w y P_a:

P_w:

- Agua a 15°C, P_w = 0.0170 bar
- Agua a 20°C, P_w = 0.0234 bar
- Agua a 25°C, P_w = 0.0317 bar
- Agua a 30°C, P_w = 0.0424 bar

Para piletas que están al aire libre P_a se puede tomar como 0.0061 bar. Al momento de obtener los cálculos para la tasa de evaporación se debe de multiplicar el valor dado por 2,440 kJ/kg para obtener la pérdida por calor (q_{EV}.)

3.5.2 Pérdidas por Convección

Las pérdidas de calor por convección es la segunda pérdida más grande en el sistema, esta ocurre por el aire que pasa sobre la superficie de la pileta. Los dosparámetros más importantes de esta pérdida son la velocidad del aire y la diferencia de temperaturas entre el aire y la superficie de la pileta. La fórmula dada por (Wolf,1983 citado en Johnson, 1981) muestra que:

$$q_{cv} = (9.045 v) x A x (T_w - T_a)$$

Ecuación 2. Cálculo de Pérdidas por Convección.

Fuente: (Wolf,1983 citado en Johnson, 1981, p.123)

Donde:

q_{cv}= Pérdida de calor por convección [kJ/h]

v= velocidad del viento [m/s]

A= área de pileta [m²]

T_w= temperatura del agua [°C]

T_a= temperatura del aire [°C]

3.5.3 Pérdidas por Radiación

Las pérdidas por radiación son la tercera pérdida de calor grande que tenemos en el sistema. Esta depende principalmente de la diferencia de temperatura entre la superficie de la pileta y la temperatura del aire. En circunstancias normales, las pérdidas por radiación son asumidas a ocurrir entre cuerpos solidos con ganancia de aire o sin ganancia de aire entre ellos. El aire contiene una gran cantidad de vapor de agua. Cuando es el caso, la superficie de la pileta irradia vapor de agua al aire, que es asumida cómo la

temperatura del aire por sí misma. La ecuación descrita por (Stoever,1941 citado en Johnson, 1981, p.123) muestra que:

$$q_{RD} = 1.836 \times 10^{-8} x [(492 + 1.8T_w)^4 - (492 + 1.8T_a)^4] x A$$

Ecuación 3. Cálculo de pérdidas de calor por Radiación.

Fuente: (Stoever,1941 citado en Johnson, 1981, p.123)

Donde:

q_{RD} = pérdida por radiación [kJ/h]

T_w = temperatura de agua de diseño [°C]

T_a = temperatura de aire de diseño [°C]

A= área de pileta [m²]

3.5.4 Pérdidas por Conducción

Las pérdidas de calor por conducción son de las pérdidas que están asociadas con las paredes de las piletas. De las cuatro pérdidas de calor, la pérdida por conducción es por mucho la más pequeña entre las cuatro. Muchas veces es omitida en los cálculos. Este cálculo es para piletas que tienen alturas entre 0.9 – 1.5 metros y (ASHRAE,1985 citado en Johnson, 1981, p.123) muestra que:

$$q_{CD} = \{[(L + W) x 12.45] + (L x W x 0.4084)\} x [T_w - (T_a + 8.33)]$$

Ecuación 4. Cálculo de pérdidas de calor por conducción.

Fuente: (ASHRAE,1985 citado en Johnson, 1981, p.123)

Donde:

q_{CD} = pérdida por conducción [kJ/h]

L= Largo de Pileta [m]

W= Ancho de Pileta [m]

T_w = temperatura de agua de diseño [°C]

T_a = temperatura de aire de diseño [°C]

3.5.5 Masa Térmica de agua de piletas de cultivo de Tilapia

La masa térmica se refiere a la capacidad de un cuerpo para almacenar energía térmica. Normalmente esto es de mucha ayuda en este tipo de sistemas ya que las temperaturas exteriores están en constante fluctuación y así no se necesitarían grandes cambios por parte del sistema para volver a llevar el agua a la temperatura deseada, si no que la masa térmica permite que la temperatura del agua se mantenga sin tanta fluctuación. Se debe de tener en cuenta el valor del calor específico del agua que es de aproximadamente 4,200 J/kg °C. En este caso para calcular la masa térmica se debe de asumir cuál será el tiempo entre control de temperaturas y a qué porcentaje se requiere usando la suma de los cálculos para pérdidas por calor (Johnson, 1981).

3.5.6 Requisitos de Flujo de demanda para piletas de cultivo de Tilapia

El flujo es usado para cumplir con la demanda máxima de calefacción en las piletas de cultivo, está dada en función de la diferencia de temperatura entre el agua de la pileta y la temperatura del recurso (Johnson, 1981). La siguiente ecuación puede ser usada para determinar este flujo requerido (Q) y dice así:

$$Q = q_{Tot}/[15,040x(T_r - T_w)]$$

Ecuación 5. Requerimientos de Flujo de Demanda de recurso.

Fuente: (Johnson, 1981, p.125)

Donde:

Q= Requerimiento del flujo del recurso [l/s]

q_{tot}= pérdidas totales calculadas de la pileta [kJ/h] = q_{EV} + q_{CV} + q_{RD} + q_{CD}

T_r= temperatura del recurso [°C]

T_w= temperatura de la pileta [°C]

3.5.7 Requisitos de Flujo de demanda de agua fría para piletas de cultivo de Tilapia

Este requisito es necesario en caso de que el agua en las piletas sobrepase las temperaturas necesarias y necesite enfriar en vez de calentar (Johnson, 1981). La siguiente ecuación demuestra el caudal requerido de agua fría:

$$Q_c = \frac{Q_h(T_h - T_m)}{(T_m - T_c)}$$

Ecuación 6. Caudal de requerimiento para enfriamiento en piletas de cultivo de Tilapia.

Fuente: (Johnson, 1981)

Donde:

Q_c= caudal requerido de agua fría [l/s]

Q_h= caudal requerido de agua caliente [l/s]

T_h= temperatura de agua caliente [°C]

T_c= temperatura de agua fría [°C]

T_m= temperatura deseada de agua para pileta [°C]

IV. METODOLOGIA

En este capítulo se presenta la metodología que se empleó para el desarrollo de la presente investigación. En este capítulo se describen los pasos de trabajo desarrollado para la obtención de datos, análisis e interpretación. Se plantean:

- Enfoque
- Variables de Investigación
- Hipótesis
- Procedimientos
- Validación

4.1 ENFOQUE

En esta investigación tenemos un enfoque cuantitativo. El proyecto de investigación será cuantitativo ya que se busca la identificación de beneficios a la producción de cultivos de tilapia mediante el nuevo diseño de climatización para regulación de temperatura de las piletas de cría de tilapia mediante el uso de Energía Geotérmica de Baja Entalpía y utilización de bombas de calor para su beneficio.

4.2 VARIABLES DE INVESTIGACION

A continuación, se presentan las variables de investigación que están divididas en variables independientes y variables dependientes:

4.2.1 Variables Dependientes

La variable dependiente es aquella que cambia conforme a las variables independientes. En esta investigación la variable dependiente será la producción de las cantidades de tilapia que se producen en el proceso, además de ver cuántos ingresos se producen con una cosecha que cumple con los requisitos establecidos por el mercado comprador, se tomarán muy en cuenta las variables Independientes para poder lograr el objetivo.

4.2.2 Variables Independientes

Las variables dependientes son aquellas que cambian o se controlan para demostrar los efectos que provocan en la variable dependiente. Estos factores se encuentran dentro de la investigación y se muestran en la siguiente ilustración.

A continuación, se detallan las variables independientes:

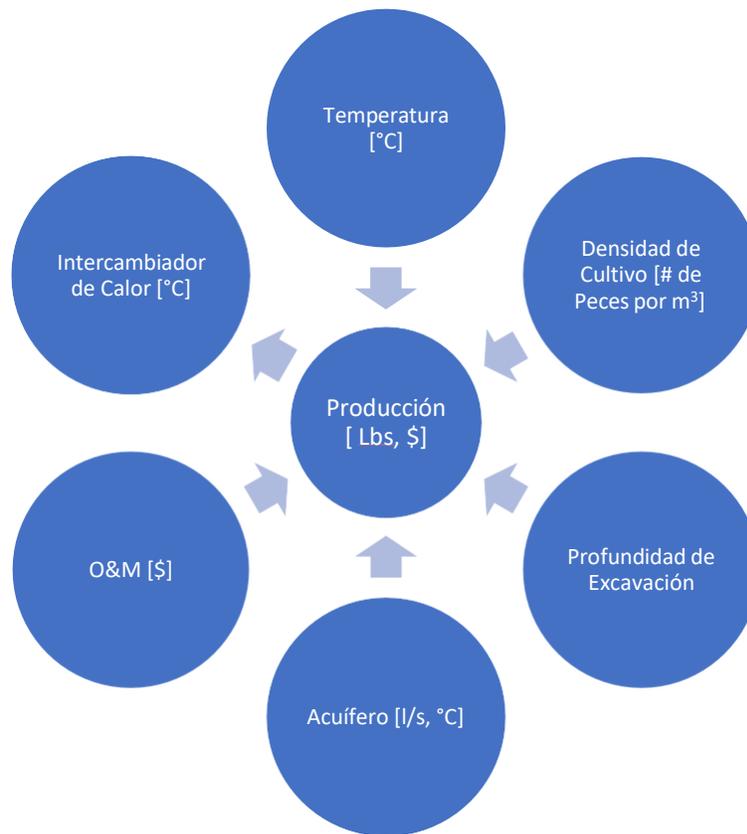


Ilustración 4. Diagrama de variable de Investigación

Fuente: Elaboración Propia

Temperatura: La temperatura es uno de los factores que más influyen en la producción de los cultivos de tilapia, se pueden llegar a perder cosechas completas por el mal manejo de temperaturas o por falta de control de ellas por que los peces pierden habilidades en su metabolismo para continuar con su desarrollo.

Intercambiador de Calor: Es una parte muy fundamental en el desarrollo del nuevo prototipo, se deberán de manejar las temperaturas que serán inyectadas a las piletas, cuidando mucho de los factores que pueden llegar a incidir en el rendimiento, calculando las pérdidas necesarias y el caudal necesario.

Operación y Mantenimiento (O&M): La Operación y mantenimiento es un factor que ayuda a mitigar lo que serían las fallas producidas por suciedad u otros factores que evitan la eficiencia del proyecto. Se ha demostrado que los factores que podrían llegar a tratarse en este proyecto serian atascamientos por minerales en las tuberías por donde pasa el agua. Sin embargo, con manteamientos dos veces por año a las tuberías éstas fallas se minimizan y los flujos de agua se mantienen estables.

Acuífero: Los acuíferos son una parte importante que determinará los flujos de agua que serán transportados a través de las bombas hasta llegar a los intercambiadores de calor, estos deben de cumplir ciertas características para que el sistema muestre una buena eficiencia.

Profundidad de Excavación: La profundidad de excavación dependerá de la ubicación de los acuíferos y estudios previos realizados a los tipos de terrenos para saber si son aptos para su excavación, entre más profundos sean estos mayores serán los costos en la perforación del suelo.

Densidad de Cultivo: Se debe de tener cuidado a la hora del cálculo de ingreso de la cantidad de alevines a las piletas, todo dependerá de la intensidad del cultivo y los resultados que se esperan obtener para los acuicultores.

4.3 HIPÓTESIS

En el presente inciso se presenta la hipótesis de la investigación y la hipótesis nula.

4.3.1 Hipótesis de la Investigación

El dimensionamiento del nuevo sistema de climatización para regular la temperatura en las piletas de cultivo de tilapia muestra las condiciones óptimas para mantener estables las temperaturas durante los procesos de cultivo. Además, muestra los parámetros que deben de cumplir las temperaturas en función de las dimensiones de las piletas, esto así reduciendo la tasa de mortalidad en la cosecha para evitar las muertes por la ineficiencia de los sistemas de climatización actuales.

4.3.2 Hipótesis nula

El dimensionamiento del nuevo sistema de climatización para regular la temperatura en las piletas de cultivo no muestra que el sistema entregue las temperaturas óptimas y no demuestra que las temperaturas puedan mantenerse estables para que el desarrollo de las piletas de cultivos tenga las mejores condiciones. Esto también demostrará que la tasa de mortalidad tampoco se reducirá y las pérdidas seguirán siendo iguales en base al sistema convencional de climatización.

4.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

En este capítulo se muestran las herramientas, técnicas e instrumentos utilizados en el desarrollo de la investigación, se utilizan sitios web para recopilar información de artículos, libros, revistas y sitios de internet para realizar búsquedas de información que fue relevante en el respectivo tema de investigación.

Las herramientas que fueron utilizadas para la investigación son:

- 1) **Excel:** Es un programa que fue utilizado para realizar tareas contables, financieras, tablas y operaciones aritméticas con ayuda de hojas de cálculo.
- 2) **Google Drawings:** Es una herramienta de Google que fue utilizada para elaboración de mapas conceptuales y diagramas para las ilustraciones de la investigación.

4.5 METODOLOGIA DE ESTUDIO

4.5.1 Análisis de acuíferos y terrenos.

Para este capítulo de los análisis y resultados se tendrán que detallar las características que deberán de cumplir los terrenos y los acuíferos para su propia explotación. Cabe destacar que estas características están dadas por estudios hidrológicos realizados por entes gubernamentales alrededor del mundo. Estos datos están listados en base a datos de coeficientes de permeabilidad y caudales que se manejarán en los acuíferos y los caudales mínimos y máximos que ocupan extraer las bombas.

4.5.2 Intercambiador de calor

El intercambiador de calor es la parte que divide el recurso geotérmico del recurso que entrará directamente a la piscina. La razón por la cual el fluido geotérmico no se usará de una manera directa tiene que ver con la simple razón del mantenimiento de las piscinas y la calidad del agua que ingresará a las piletas. Al ser agua que se encuentra de manera subterránea está lleva consigo metales pesados que pueden afectar la calidad de vida de los peces, además al ser un sistema de captación abierta, el fluido geotérmico del pozo debe de retornar a su acuífero, lo que sería imposible si se llegase a mezclar con el fluido de agua fría. Por lo tanto, el intercambiador consistirá en un sistema de calor indirecto y una configuración de placas por donde el fluido intercambiado mezcla sus temperaturas hasta lograr su temperatura de salida hacia la piletta y una fuente que reinyecta nuevamente al acuífero.

4.5.3 Análisis termodinámico para temperaturas en piletas

Para este inciso se hará uso del paquete de información de aplicaciones de energía geotérmica elaborado por el (Kevin Rafferty, 1999 citado en Johnson, 1981), un experto en análisis termodinámicos del Instituto Tecnológico de Oregón por parte del programa del GEO-Heat center. Este manual está dado en el libro de "Geothermal uses and applications" hecho por (Johnson, 1981).

En este manual se encuentran las fórmulas para calcular las pérdidas causadas por los diferentes elementos en sistemas de climatización que están aplicados con geotermia, esto nos ayudará a nosotros para elegir las temperaturas que se deben de manejar para obtener un sistema estable y con las temperaturas óptimas que deben de tener para mejorar el desarrollo de los peces.

Usando las ecuaciones dada en base a diferentes parámetros que van desde las dimensiones de las piletas, temperatura del ambiente, velocidad del viento, y presiones atmosféricas. Teniendo en cuenta que es uno de los pasos más importantes se toman en cuenta datos promediados de recolecciones meteorológicas del lugar donde se hará la simulación de instalación para una piletta con sistema de climatización con energía geotérmica.

Se toma en cuenta que dentro de las cuatro pérdidas de calor van en términos de mayor pérdida a menor pérdida, sin embargo, de estas cuatro pérdidas tres de ellas son bastante fundamentales para el análisis final, la última pérdida que es pérdida de calor por conducción, puede considerarse cómo nula porque es demasiado pequeña, sin embargo, se puede considerar, todo depende de la persona que decida hacer el análisis, en esta investigación si se tomó en cuenta la perdida por conducción.

Al terminar y sumar las pérdidas por calor que son percibidas por sistema de climatización nuevo, se deberá de proceder a tomar estos datos y sacar los diferenciales entre dos tipos de escenarios. Para el primer escenario se debe de establecer un periodo de cierta cantidad de horas para poder hacer una recirculación del agua de la piletta con el agua del intercambiador de calor. Estos nos darán como resultado las pérdidas de calor percibidas por un periodo de ocho horas, luego de esto se deberá de realizar el mismo cálculo de ocho horas, pero ahora con el sistema trabajando a una capacidad del 80%. Luego de obtener ambas cantidades se procede a calcular el calor de diferencia entre ambos escenarios.

Luego haciendo uso de la Ecuación 10 se obtendrá las temperaturas que se perderán y deberán de ser suplidas luego con los caudales de calentamiento y enfriamiento dados por el sistema de climatización nuevo. Por último, se calcularán los caudales de enfriamiento y calentamiento que van en base a las medidas de las piletas y las temperaturas necesarias para mantener estable las piletas, estas vienen siendo las temperaturas que mantendrán el sistema bastante estable durante el desarrollo del cultivo de tilapia.

4.5.3.1 Análisis de Temperaturas en Función del Tiempo

Para este capítulo se tomarán en cuenta los parámetros de diseño de las piletas que se utilizarán para realizar los cálculos necesarios. Se tomaron en cuenta las temperaturas del agua de las piletas en el sistema convencional, se tomarán los datos de temperatura de la región para un periodo de 5 días, de los cuales lo dividiremos en periodos de horas en las que la temperatura va cambiando conforme pasa el tiempo, estos datos serán introducidos en tablas de datos para luego generar una gráfica que demuestre el comportamiento de las temperaturas en función del paso del tiempo. Así podremos observar cómo se comporta la temperatura del agua en el sistema convencional.

Luego de obtener la gráfica de temperatura en función del tiempo para el sistema convencional, se debe de obtener la misma gráfica para el sistema de climatización nuevo. Los datos del sistema de climatización nuevo serán generados a partir de los cálculos hechos con las ecuaciones del paquete de información de acuicultura. Se generarán tablas de datos donde se incluirán las temperaturas del ambiente, temperaturas de diseño para las piletas, dimensiones de las piletas, volúmenes de las piletas, velocidad del viento, presiones de vapor de agua, el cálculo de las pérdidas por calor y el cálculo de caída de temperatura por parte de las piletas por las pérdidas de calor. Todo esto para generar

una gráfica donde se demostrará los cambios que recibe la temperatura y cuanto oscila entre la temperatura que se desea mantener estable.

4.5.4 Diseño del sistema de climatización

Para este inciso se toma en cuenta una de las aplicaciones más comunes que se utilizan para procesos en la agroindustria, en este caso la acuicultura opta por aplicaciones donde el fluido es recirculado para su uso continuo y mantener el acuífero de una forma en la que el fluido no vaya a dejar de proveer al sistema en un tiempo demasiado corto. Este sistema contará con la presencia de una bomba de calor o una bomba sumergible dependiendo de las temperaturas que se encuentren en el acuífero.

Por el primer circuito, circula el agua con temperaturas calientes que son extraídas desde el pozo para luego ser inyectadas al intercambiador de calor. Luego por el siguiente circuito circula agua fría que viene desde el río o algún tanque o pileta que mantenga esta agua fría para luego ser inyectada al intercambiador de calor para obtener una mezcla indirecta de las temperaturas y lograr la temperatura deseada para el ingreso a las piletas por uno de los circuitos de salida. Por último, el circuito que contiene el agua que proviene del acuífero, será reinyectada por el pozo de reinyección para luego ser reutilizada.

4.5.5 Funcionamiento a lo largo del año

A lo largo del año con sistemas convencionales mencionado anteriormente (Véase Ilustración 1) se entiende que por los cambiantes fenómenos meteorológicos se hace muy difícil para los acuicultores poder realizar sus cosechas con números de pérdidas mínimos ya que ellos no poseen tecnologías que puedan evitar estas pérdidas dadas por los

sistemas de climatización ineficientes que poseen o que realmente no poseen que solamente vienen derivados del uso directo del sol.

Se espera que usando datos utilizados en aplicaciones anteriores como en el proyecto realizado por GEO-Heat Center de Oregón se puede replicar y así mejorar la calidad de las cosechas en tiempos en los que los cultivos no presenten dificultades para su desarrollo sea de una manera óptima y en situaciones en las que se alcance el peso deseado. Esto también agregándole una disminución en el porcentaje de mortalidad de los cultivos por temas de fallos en los sistemas de climatización por la regulación de temperatura.

4.5.6 Caso de Estudio

Para esta investigación se recopiló información de diferentes fuentes bibliográficas externas que dieron soporte al Marco Teórico. Se usará cómo ejemplo una finca ubicada en el departamento de Atlántida, Honduras. Siendo más específicos la finca está ubicada en la localidad de Santiago en Atlántida. El señor César Barahona muy amablemente acordó el uso de los datos de producción de sus cultivos de tilapia para la reproducción de estos en un análisis financiero que estarán llevados a cabo con los métodos convencionales y luego con el método que se plantea en la investigación.

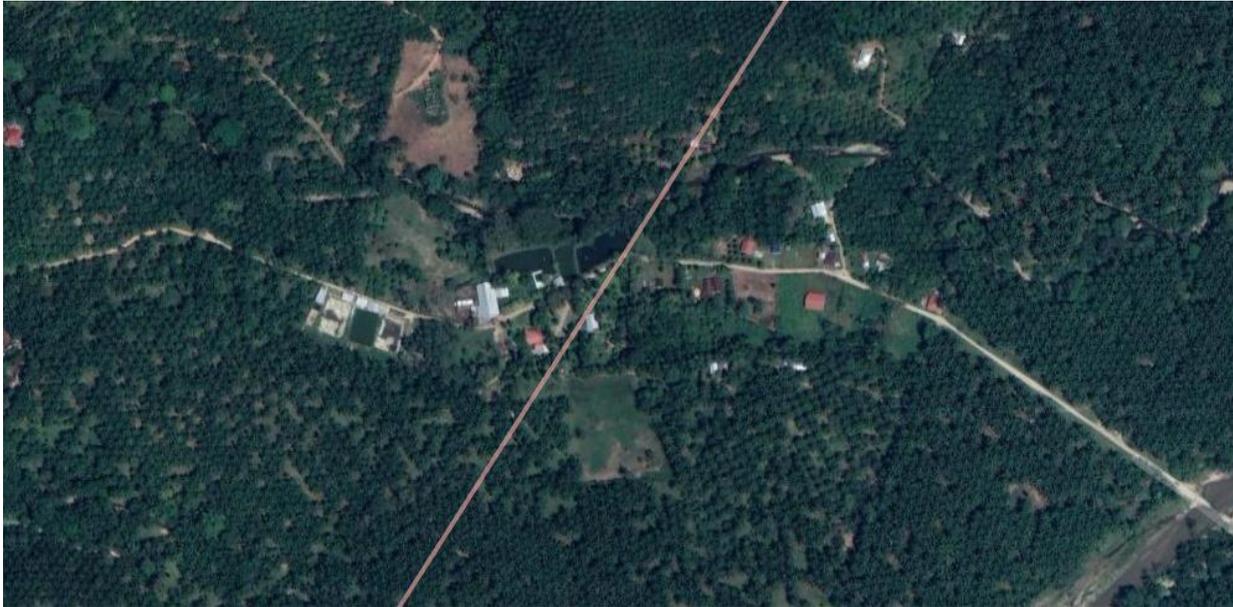


Ilustración 5. Ubicación "Finca Santiago"

Fuente: Captura tomada desde Google Maps.

4.6 PILETAS DE CULTIVO EN FINCA SANTIAGO

En la finca Santiago se encuentran cuatro piletas de cría de tilapias con características similares, las cuales son usadas por el Señor César para realizar su respectivo cultivo de tilapia. Tres de las piletas de cultivo que se encuentran dentro de la finca tienen las mismas medidas y solamente una tiene una medida diferente a las otras tres. Las tres piletas similares tienen medidas de 25 metros de largo, 12.2 metros de ancho y una profundidad de 2.40 metros, mientras tanto la pileta restante tiene medidas de 21.4 metros de largo, 9.1 metros de ancho y 2.40 metros de profundidad.

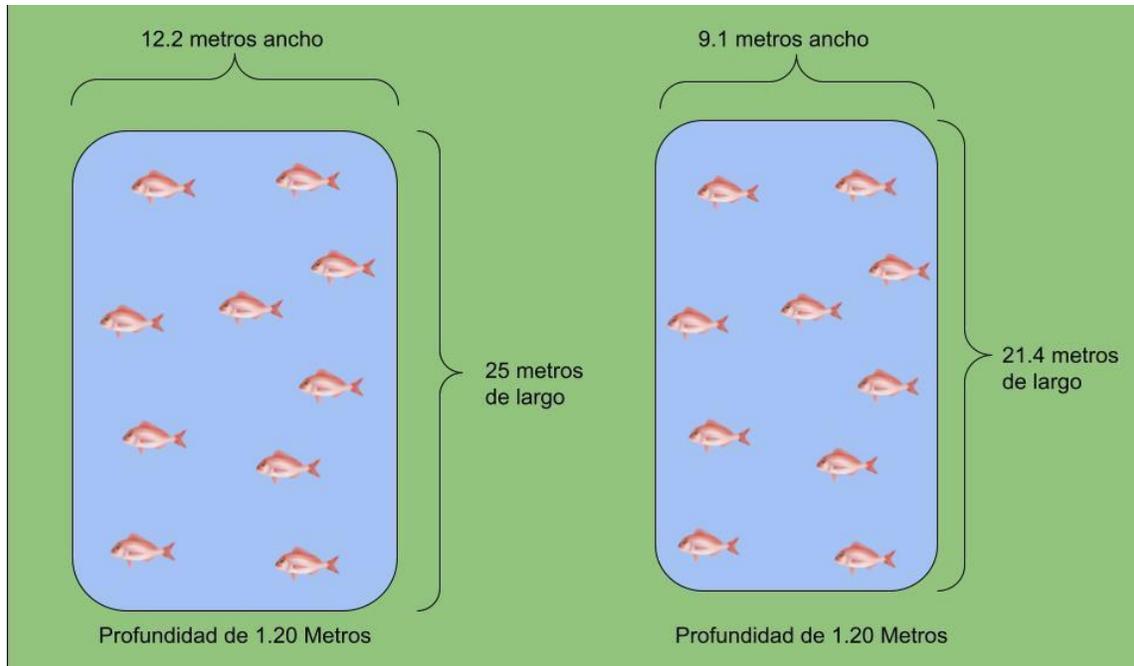


Ilustración 6. Tamaño de Piletas en Finca Santiago.

Fuente: Elaboración Propia

4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

En este capítulo se muestra las actividades realizadas en la investigación durante un periodo de 10 semanas:

#	ACTIVIDADES	SEMANAS												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	Conocer Entorno de la Investigación	■												
2	Diseño de sistema mediante diagramas		■	■										
3	Recopilación de datos sobre el sistema		■	■										
4	Desarrollo de metodología de Investigación				■	■								
5	Recopilación de Datos y Análisis				■	■								
6	Realizar Cálculos						■							
7	Análisis financiero del nuevo sistema vs sistema convencional						■	■						
8	Conclusiones y Recomendaciones							■	■					
9	Avance en versión final									■				
10	Entrega de Informe										■			
11	Pre-Defensa											■		

Ilustración 7. Cronograma de Actividades

Fuente: Elaboración Propia

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1 CARACTERÍSTICAS QUE DEBEN DE CUMPLIR LOS POZOS

Este es el requisito más importante de estos sistemas con energía geotérmica, antes de iniciar con el proceso de diseño de sistemas que requieran uso de agua subterránea se deben de obtener datos que demuestren la calidad del fluido que se obtendrá por parte de los pozos. Todo esto depende de los hallazgos realizados en los estudios geológicos previos donde se localizan las ubicaciones de los pozos que se encuentran en el terreno.

En esta investigación nos centraremos en tipos de pozo que cumplan las temperaturas necesarias para poder ser usados en la industria de la acuicultura. Se estima que para el departamento de Atlántida hay un aproximado de 12 pozos de los cuales se extraen 11,000 m³/día, esto representa un 30% del uso de agua por parte del departamento de Atlántida (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Publicas, s.f.).

Es muy importante constatar que entre más cerca se encuentren estos pozos de la zona donde se idea implementar los sistemas será de mayor beneficio tanto económico cómo de eficiencia en la extracción de dichas aguas. En esta investigación nos centraremos en dos tipos de pozos que tienen características diferentes en cuestión de temperaturas para dos aplicaciones de tecnologías. En el primer caso tenemos los pozos con características de muy baja entalpía que van de temperaturas de 0 grados Celsius a 30 grados Celsius usando cómo método de extracción una bomba sumergible vertical que elevará el recurso que en este caso será agua hasta una bomba de calor geotérmica que elevará la temperatura del agua hasta su temperatura ideal para luego ser inyectada al intercambiador de calor.

Para la segunda aplicación se contaría con energía geotérmica de baja entalpía que van desde temperaturas de más de 30 grados Celsius hasta los 100 grados Celsius. En esta aplicación se hará uso de la bomba vertical que irá directamente hasta el intercambiador de calor para el proceso de intercambio de temperatura con el sistema de agua fría.

5.1.2 Tipos de terrenos

Para la etapa de perforación se debe de tomar en cuenta el tipo de terreno donde se piensa hacer la excavación o perforación para luego realizar la extracción del agua para su futura aplicación. Se deben de tomar en cuenta la permeabilidad del terreno y su porosidad, ya que estas características nos permitirán saber que tan explotable sería el acuífero para mantener el sistema trabajando por tiempos prolongados. Estas características hidráulicas están dadas por los primeros tres incisos de la [Tabla 4](#).

5.3 TEMPERATURAS ESTABLECIDAS PARA PILETAS DE TILAPIA.

Las temperaturas que van a entrar a las piletas serán establecidas por el intercambiador de calor, en este caso esta es la parte fundamental para el manejo del recurso geotérmico extraído del acuífero, ya que es donde ocurrirán los cambios de temperaturas entre el recurso del pozo y el sistema de agua fría que entrará y hará el intercambio de temperaturas. Para esta investigación se hará uso de un intercambiador de placas indirecto donde no se mezclará el agua del pozo con el agua de río.

¿Por qué no se hará uso del agua de pozo directamente? No se hace el uso del agua del pozo directamente ya que esta agua tiene metales pesados que pueden afectar la calidad de vida de las tilapias, además en el sistema de captación abierta se necesita reinyectar el agua hacia el pozo de reinyección y esto no sería posible si se llegase a

mezclar con el agua de río. Por lo tanto, se mantendrán las propiedades minerales del agua del recurso de los pozos para no contaminar en su reinyección.

5.3.1 Intercambiador de Calor de Placas

En estos sistemas se usará un intercambiador de calor indirecto para que los fluidos no se mezclen y el calor se pase a través de las paredes del intercambiador. Se usará un intercambiador de placas con estas características por su gran eficiencia. Además, con la eficiencia se pueden desprestigiar las pérdidas de calor al momento de la transferencia dentro de los intercambiadores de calor. Sin embargo, se deben de tomar en cuenta las pérdidas provocadas por las piletas que son causadas por:

- Evaporación ([Ecuación 1](#))
- Convección ([Ecuación 2](#))
- Radiación ([Ecuación 3](#))
- Conducción ([Ecuación 4](#))

Así mismo al calcular estas pérdidas se podrá calcular el caudal necesario para mantener la temperatura estable en las piletas.

5.3.2 Pérdidas por Evaporación

Tabla 5. Pérdidas por evaporación en pileta de 25X12.2 metros

Pérdidas por Evaporación	
W_p [kg/h]	206.75584
A[m²]	305
v [m/s]	3.6
P_w[bar]	0.0317
P_a [bar]	0.0061
q_{EV} [kJ/h]	504,484.25

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6. Pérdidas por evaporación en pileta de 21.4X9.1 metros

Pérdidas por Evaporación	
W_p [kg/h]	132.0119091
A[m²]	194.74
v [m/s]	3.6
P_w[bar]	0.0317
P_a [bar]	0.0061
q_{EV} [kJ/h]	322,109.06

Fuente: Elaboración Propia

5.3.3 Pérdidas por Convección

Tabla 7. Pérdidas por Convección en pileta de 25X12.2 metros

Pérdidas por Convección	
q_{cv} [kJ/h]	49,657.05
A[m²]	305
v [m/s]	3.6
Tw [°C]	25
Ta [°C]	20

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 8. Pérdidas por Convección en pileta de 21.4X9.1 metros

Pérdidas por Convección	
q_{cv} [kJ/h]	31,705.62
A[m²]	194.74
v [m/s]	3.6
Tw [°C]	25
Ta [°C]	20

Fuente: Elaboración Propia

5.3.4 Pérdidas por Radiación

Tabla 9. Pérdidas por Radiación en pileta de 25X12.2 metros

Pérdidas por Radiación	
q_{RD} [kJ/h]	203,851.92
A[m²]	305
Tw [°C]	25
Ta [°C]	15

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10. Pérdidas por Radiación en pileta de 21.4X9.1 metros

Pérdidas por Radiación	
q_{RD} [kJ/h]	130,157.78
A [m²]	194.74
T_w [°C]	25
T_a [°C]	15

Fuente: Elaboración Propia

5.3.5 Pérdidas por Conducción

Tabla 11. Pérdidas por Conducción en pileta de 25X12.2 metros

Pérdidas por Conducción	
q_{CD} [kJ/h]	766.96
L [m]	21.4
W [m]	9.1
T_w [°C]	25
T_a [°C]	15

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12. Pérdidas por Conducción en pileta de 21.4X9.1 metros

Pérdidas por Conducción	
q_{CD} [kJ/h]	981.46
L [m]	25
W [m]	12.2
T_w [°C]	25
T_a [°C]	15

Fuente: Elaboración Propia

5.3.6 Pérdidas Totales del sistema

Para el siguiente inciso se mostrarán las pérdidas por cada uno de los parámetros y la suma total de todas las pérdidas del sistema por diferentes factores.

Tabla 13. Pérdidas de calor totales de Sistema en Piletas de 25X12.2 metros

Total de calor	Perdida [kJ/h]	Porcentaje [%]
Evaporación	504,484.25	66.47
Convección	49,657.05	6.54
Radiación	203,851.92	26.86
Conducción	981.46	0.13
TOTAL	758,974.68	100

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 14. Pérdidas de calor totales de Sistema en Piletas de 21.4X9.1 metros

Total de calor	Perdida [kJ/h]	Porcentaje [%]
Evaporación	322,109.06	66.45
Convección	31,705.62	6.54
Radiación	130,157.78	26.85
Conducción	766.96	0.16
TOTAL	484,739.42	100

Fuente: Elaboración Propia

5.3.7 Masa Térmica

Para este cálculo se utiliza los metros cúbicos y el total de pérdidas recibidas por la suma anterior que sería de 758,974.68 kJ/h para la pileta grande y de 484,739.42 kJ/h para la pileta mediana. La pileta grande tiene un área de 305 m² que al multiplicarse por su altura de 1.20 nos da 366 m³ eso se refiere cómo que por cada metro cubico hay 1,000 litros de agua en la pileta, esto resulta en 366,000 Litros o 366,000 Kilogramos de agua para la pileta grande. Para la pileta pequeña se utiliza el mismo calculo 194.74 m²

multiplicado por 1.20 m nos da 233.69 m³ eso equivalente a 1000 l/m³ resulta en 233,688 Litros o 233,688 Kilogramos de Agua.

Para la masa térmica se debe de tomar en consideración un tiempo estimado en el que se va a regular la temperatura según (Johnson, 1981) un periodo de ocho horas es una cantidad de tiempo para este tipo de cálculo entonces se calculará la cantidad de calor que será necesaria para un periodo de ocho horas:

$$8 \times 758,974.68 \text{ kJ/h} = 6,071,797.44 \text{ kJ}$$

Ecuación 7. Cálculo para masa térmica Pileta de 25x12.2 metros

Fuente: (Johnson, 1981).

$$8 \times 484,739.42 \text{ kJ/h} = 3,877,915.36 \text{ kJ}$$

Ecuación 7. Cálculo para masa térmica Pileta de 21.4x9.1 metros

Fuente: (Johnson, 1981).

Después se tomará en cuenta suplir el calor al sistema a un 80 por ciento de capacidad:

$$8 \times (0.80 \times 758,974.68 \text{ kJ/h}) = 4,857,437.952 \text{ kJ}$$

Ecuación 8. Cálculo para masa térmica Pileta de 25x12.2 metros

Fuente: (Johnson, 1981)

$$8 \times (0.80 \times 484,739.42 \text{ kJ/h}) = 3,102,332.288 \text{ kJ}$$

Ecuación 8. Cálculo para masa térmica Pileta de 21.4x9.1 metros

Fuente: (Johnson, 1981).

Después se calcula la diferencia que será suplida cuando se permita que el agua de la pileta se enfríe:

$$6,071,797.44 \text{ kJ} - 4,857,437.952 \text{ kJ} = 1,214,359.488 \text{ kJ}$$

Ecuación 9. Diferencia de calor para suplir pileta de 25x12.2 metros

Fuente: (Johnson, 1981)

$$3,877,915.36 - 3,102,332.288 \text{ kJ} = 775,583.072 \text{ kJ}$$

Ecuación 9. Diferencia de calor para suplir pileta de 21.4x9.1 metros

Fuente: (Johnson, 1981)

Finalmente, se calcula la caída en la temperatura del estanque:

$$\frac{1,214,359.488 \text{ kJ}}{(366,000 \text{ Kg} \times 4.20 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}})} = 0.7899 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ecuación 10. Cálculo de Caída en la Temperatura de la Pileta de 25x12.2 metros.

Fuente: (Johnson, 1981)

$$\frac{775,583.072 \text{ kJ}}{(233,688 \text{ Kg} \times 4.20 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}})} = 0.7902 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Ecuación 11. Cálculo de Caída en la Temperatura de la Pileta de 21x9.1 metros.

Fuente: (Johnson, 1981)

5.3.8 Requerimientos de Flujo [Q]

Para el siguiente cálculo se hará uso de la Ecuación 5 para el Caudal necesario de agua para la demanda alta de calor y la Ecuación 6 para el caudal de la demanda alta de enfriamiento.

Para el cálculo del caudal de demanda de calor utilizaremos la Ecuación 5 que es:

Pileta de 25x12.2 metros:

$$Q = \frac{758,974.68 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{15,040 \times (40^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C})} = 3.36 \text{ l/s}$$

Pileta de 21.4x9.1 metros:

$$Q = \frac{484,739.42 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}}{15,040 \times (40^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C})} = 2.15 \text{ l/s}$$

Para el cálculo de caudal de enfriamiento en caso de que la temperatura sea elevada a niveles en lo que pueda causarles daño a los peces se toma en cuenta el caudal calculado con la Ecuación 6 que es:

Pileta de 25x12.2 metros:

$$Q_c = \frac{3.36 \frac{\text{l}}{\text{s}} (40^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C})}{(25^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C})} = 5.04 \text{ l/s}$$

Pileta de 21.4x9.1 metros:

$$Q_c = \frac{2.15 \frac{\text{l}}{\text{s}} (40^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C})}{(25^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C})} = 3.225 \text{ l/s}$$

5.3.9 Tuberías en función de los caudales necesarios

El agua se transportará mediante tuberías por el sistema que se implementará, para entender esto debemos de tener entendido que es el caudal, esto es el volumen de agua que atraviesa una superficie en un tiempo determinado. Se denomina como Q , normalmente el volumen se mide en litros y el tiempo en segundos, por lo tanto, el caudal vendría expresado en litros por segundo [l/s] (Redondo, 2021). El caudal es proporcional a la velocidad de circulación y al tamaño de la sección de la tubería.

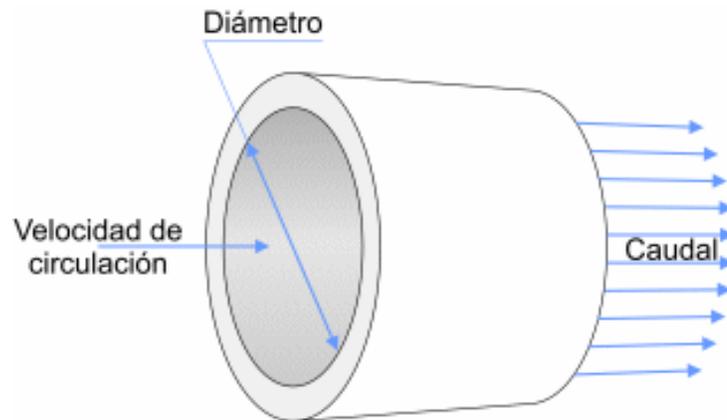


Ilustración 8. Parámetros de Secciones (Velocidad, Diámetro, Caudal)

Fuente: (SAHL, 2019)

Los parámetros de Caudal, Velocidad y Diámetro están ligados entre ellos y teniendo dos datos se puede encontrar el tercero. En el caso de esta investigación ya se obtuvieron los caudales necesarios para enfriar y calentar el agua de las piletas en ciertos periodos de tiempo. Estos caudales calculados son mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 15. Caudales Utilizados en Piletas

	Caudal [l/s]	
	Enfriar	Calentar
Pileta Grande	5.04	3.36
Pileta mediana	3.225	2.15

Fuente: Elaboración Propia

En el caso de tener solo uno de los parámetros se puede optar por hacer uso de una tabla que muestre los diámetros necesarios en función del caudal para así obtener los datos de tuberías necesarios para el sistema. Para la siguiente parte se tomará en cuenta los caudales que se usaran para la extracción y los caudales que se usaran para ser inyectados a las piletas. Se tomarán los datos de la siguiente tabla:

Tabla 16. Relación Diámetro Tubería - Caudal.

Diámetro Tubería		Caudal		
[m]	[pulg]	[m ³ /h]	[l/s]	[gal/min]
0.050	2	11 a 14	3 a 4	40 a 70
0.075	3	25 a 40	7 a 11	110 a 175
0.100	4	50 a 79	14 a 22	225 a 350
0.125	5	90 a 140	25 a 38	400 a 600
0.150	6	140 a 230	38 a 63	600 a 1,000
0.175	7	220 a 340	60 a 95	950 a 1,500
0.200	8	290 a 470	80 a 130	1,300 a 2,100
0.250	10	500 a 790	140 a 220	2,200 a 3,500
0.300	12	790 a 1,260	220 a 350	3,500 a 5,500
0.350	14	1,150 a 1800	320 a 500	5,000 a 8,000
0.500	20	2,950 a 4,540	820 a 1,200	13,000 a 20,000
0.750	30	7,920 a 13,680	2,200 a 3,800	35,000 a 60,000

Fuente: (Maquinarias, 2014)

Para las tuberías de agua para el ingreso del flujo de calentamiento y enfriamiento se usan los datos de la Tabla 15 son caudales que van desde 2 a 6 l/s por lo tanto se usarían tuberías de dos pulgadas, pero como no abarcan los caudales en su totalidad se puede usar un diámetro un poco más grande entonces se usaría una tubería trespulgadas. Ya teniendo los datos por caudal y diámetro se podrá calcular la velocidad que tendrá el flujo en la sección. Se calculará usando la siguiente fórmula:

$$Q = A_D V$$

Ecuación 12. Cálculo de Caudal.

Fuente: (Guitierrez, 2019)

Donde:

Q – Caudal [m³/s]

A- Área del Diámetro [m²]

V – Velocidad [m/s]

Para el cálculo de las velocidades vamos a despejar la ecuación para V, a continuación, se muestra como quedaría la ecuación a usarse:

$$V = \frac{Q}{A_D}$$

Para este paso tendríamos que convertís los caudales de litros por segundo a metros cúbicos por segundo y también los diámetros de pulgadas a metros cúbicos.

Tabla 17. Conversión de Datos de caudal y diámetro.

	Pileta Grande		Pileta Mediana	
	Enfriar		Calentar	
Caudal [l/s]	5.04	3.36	3.225	2.15
Diámetro [pulg]	3	3	3	3
Caudal [m³/s]	0.0050	0.0034	0.0032	0.0022
Diámetro [m]	0.0762	0.0762	0.0762	0.0762
Área [m²]	0.00455807	0.00455807	0.00455807	0.00455807

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo los datos se pueden sustituir en la ecuación para obtener los datos de velocidad para las tuberías en los flujos de las piletas:

Pileta Grande:

- $V = \frac{0.0050}{0.00455807} = 1.1057 \text{ m/s}$

- $V = \frac{0.0034}{0.00455} = 0.7371 \text{ m/s}$

Pileta Mediana:

- $V = \frac{0.0032}{0.00455807} = 0.7075 \text{ m/s}$

- $V = \frac{0.0022}{0.00455} = 0.4716 \text{ m/s}$

Ya así podemos tener los parámetros de velocidad, diámetro de tubería y caudales necesarios para la aplicación del sistema de climatización.

5.4 DISEÑO DEL NUEVO SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN CON ENERGÍA GEOTÉRMICA

5.4.1 Sistema de Regulación haciendo uso de Bomba de Calor Geotérmica.

Para el nuevo sistema de climatización para regulación de temperatura de las piletas de cultivo de tilapia se planea desechar las tecnologías anteriores utilizadas para el desarrollo de la tilapia en Honduras (ver Ilustración 1). Estos sistemas son bastante arcaicos y han demostrado que conforme va pasando el tiempo y las variaciones en la temperatura en la región se ven bastante afectados los cultivos, así aumentando la tasa de mortalidad de los cultivos y provocando pérdidas monetarias a los acuicultores.

¿Qué se pretende hacer? Se pretende cambiar la dependencia del sol para regulación de temperatura por un sistema basado en principios de la energía geotérmica de muy baja entalpía y baja entalpía que va desde los 0 grados Celsius hasta temperaturas de 30 grados Celsius como máximo. En este sistema se hará uso de métodos de extracción de bombas de calor geotérmica con la cual se hará la elevación del fluido que en este caso constará de agua que se elevará a temperaturas mayores a 30 grados para luego mezclarse de manera indirecta en el intercambiador de calor de placas en el que estará entrando agua fría a menos de 20 grados Celsius, todo esto para encontrar un equilibrio donde las temperaturas oscilen entre 25 grados Celsius a 27 grados Celsius y mantener estable la temperatura.

A continuación, se presenta la Ilustración 8 donde se puede visualizar los componentes del nuevo sistema de regulación de temperatura que se tiene propuesto para el desarrollo de los cultivos de tilapia en Honduras.

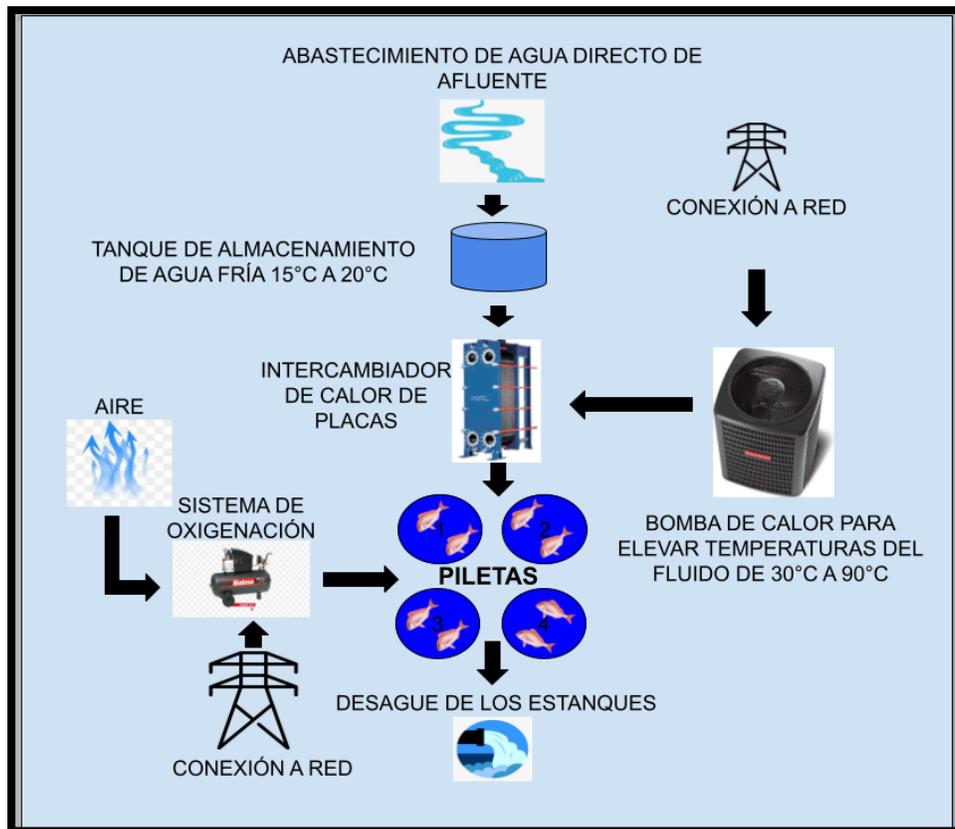


Ilustración 9. Sistema de Regulación de Temperatura usando Bomba de Calor Geotérmica.

Fuente: Elaboración Propia

5.4.2 Sistema de Regulación haciendo uso de bomba sumergible.

Para el sistema de regulación de temperatura que solamente usará bomba sumergible para la extracción del fluido es para aplicaciones de baja entalpía donde el fluido éste en los rangos de temperaturas que sean óptimos para su aplicación directa y

sin uso de bomba de calor, estos rangos de temperatura deben de ir desde los 30 grados Celsius hasta los 100 grados Celsius. En este sistema la bomba sumergible extraerá el fluido de trabajo y lo llevará hasta el intercambiador de calor donde se producirá el intercambio de calor indirectamente entre el fluido caliente y el frío.

Ese mismo fluido de trabajo será reinyectado al pozo de re inyección para la recirculación y luego volver a utilizar el mismo fluido una y otra vez repitiendo el proceso. A continuación, se presenta un diagrama de cómo se vería el sistema con bomba sumergible:

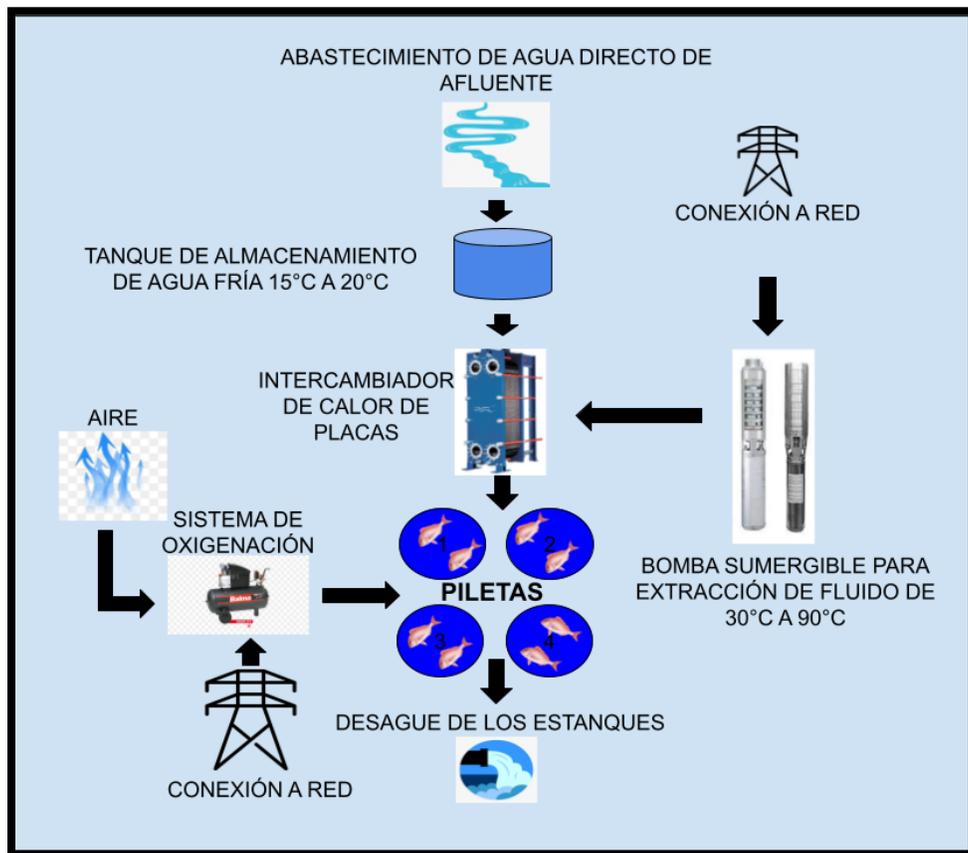


Ilustración 10. Sistema de Regulación de Temperatura usando Bomba Sumergible.

Fuente: Elaboración Propia.

5.4.3 Sistema Geotérmico de Captación Abierta

En ambos sistemas se hará uso de un sistema de captación geotérmica abierta, está consiste en un colector abierto que consta de dos tomas de agua, una de esta extrae el fluido de trabajo que es el agua y la otra lo reinyecta. Se debe de tomar en cuenta el dimensionamiento de un buen captador geotérmico, es fundamental, un mal dimensionamiento llevara a que el foco geotérmico se agote en poco tiempo (BD, s.f.).

A continuación, se muestra el funcionamiento y el modelado que tendrá el sistema de captación abierta para la regulación de temperatura en las piletas de cultivo de tilapias:

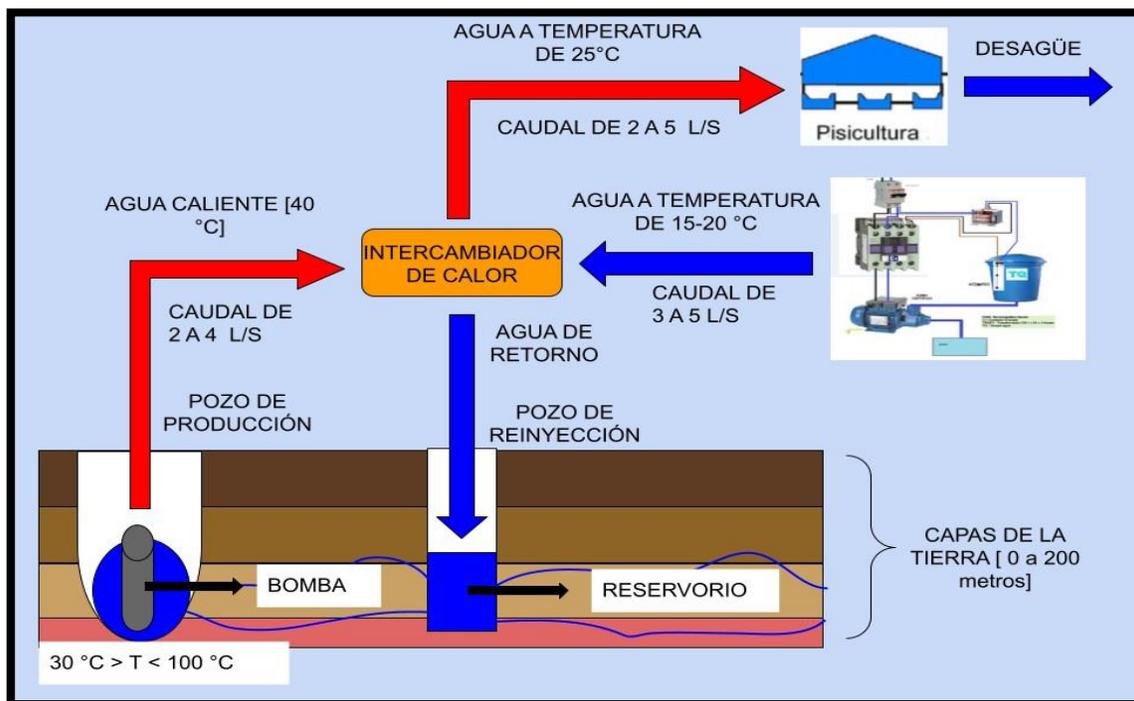


Ilustración 11. Sistema de Captación Abierta para regulación de temperatura en Piletas de cultivo de Tilapia.

Fuente: Elaboración Propia

5.5 CÁLCULO DE PRODUCCIÓN CON SISTEMA ACTUAL

5.5.1 Densidad del Cultivo

Una de las primeras variantes que se deben de tomar en cuenta para iniciar los cultivos de tilapia es medir las cantidades de alevines a producir por metro cúbico disponible en las piletas. Según expertos en el área de la acuicultura en Honduras es recomendable introducir desde tres alevines como mínimo a diez alevines como máximo por cada metro cúbico disponible. En este caso se tienen disponibles cuatro piletas que en sumatoria hacen 2,664 metros cúbicos que estarán disponibles para una cosecha de 30,000 alevines.

Se tiene entendido que los alevines en Honduras son vendidos según su peso en gramos, un alevín de un gramo puede llegar a costar un Lps. 1 Lempira, y así va subiendo 50 centavos según su peso. Sin embargo, es más común encontrar que en Honduras se vendan en mayor cantidad los alevines que empiezan desde 1 gramo. Para este caso se toman en cuenta cosechas pasadas hechas por el señor César Barahona y a continuación se demuestran los datos:

Tabla 18. Datos de Densidad de Cultivo en Piletas de Finca Santiago

	Pileta 1	Pileta 2	Pileta 3	Pileta 4	TOTAL
Metros Cúbicos [m³]	732.00	732.00	732.00	467.38	2,663.38
Cantidad de Alevines [unidad]	8,000	8,000	8,000	6,000	30,000.00
Precio por Alevín [1 gramo = 1Lps]	HNL 8,000.00	HNL 8,000.00	HNL 8,000.00	HNL 6,000.00	HNL 30,000.00

Fuente: Elaboración propia con información brindada del propietario de Finca Santiago.

5.5.2 Tasa de Mortalidad del cultivo

La tasa de mortalidad en la acuicultura depende de varios factores que giran en torno a los diferentes procesos que conlleva el desarrollo de especies acuáticas en piletas de cultivo. Muchos de estos factores vienen desde la parte de oxigenación hasta la regulación de temperatura para mantener las temperaturas estables entre 22 – 25 Grados Celsius. En las etapas donde los peces son llamados Juveniles o Alevines es la etapa más crítica ya que tienen una alta dependencia del cuidado que se le da a la pileta.

Anteriormente se planteó que la temperatura es uno de los principales factores que afectan al metabolismo, los peces son poiquiloterms, la temperatura corporal depende de la temperatura del medio y son termófilos, esto significa que son sensibles al cambio de la temperatura (Industria Acuicola, s.f.). Se estima que siempre existe una mortalidad latente del 10% por factores externos como enfermedades o patógenos ajenos al cuidado que se le da al cultivo y se estima que puede llegar a tener otros factores ya por factores de cuidado por parte de la producción y los cambios en temperatura pueden causar, elevación o disminución de los niveles de oxígeno, enfermedades y cambios bruscos en la vida de la tilapia, esto significaría hasta un aumento del 50 % de la mortalidad en el pez haciendo perder la mayor parte de la tilapia (Industria Acuicola, s.f.).

En esta investigación en particular se tomará en cuenta el 10 % de la tasa de mortalidad que siempre se estima y se le agrega el valor de un 20% como estimado por las diferentes oscilaciones que sufren las piletas por cambios de temperatura con los sistemas actuales de regulación de temperatura. Apegándonos a los comentarios de los

acuicultores este ha sido su mayor problema y la causa del fracaso en sus cosechas en los últimos años.

Tabla 19. Tasa de Mortalidad aplicada a cantidad de tilapias en Piletas de Finca Santiago.

Número de Tilapias en Piletas	Tasa de Mortalidad Habitual	Tasa de Mortalidad por fallos en sistemas de Climatización	TOTAL	Cantidad de Peces aplicando tasa de mortalidad
30,000.00	10%	20%	30%	21,000.00

Fuente: *Elaboración Propia utilizando información de* (Industria Acuicola, s.f.)

5.5.3 Alimentación de cultivo de 5-6 meses

La alimentación es una parte importante en el desarrollo de las tilapias, está directamente ligada a las temperaturas que se manejan dentro de las piletas, al tener cambios abruptos de temperaturas el metabolismo de las tilapias cambia y dejan de alimentarse, se requiere que se mantenga en una temperatura estable de 25 grados Celsius, sin cambios que sobrepasen de cinco grados entre sí. Se necesita que la temperatura este entre 22 a 26 grados para que los demás procesos sean óptimos y el desarrollo se produzca con buenos resultados. Se estima que por cada 1,000 tilapias se necesitan 1,500 Libras de alimento para el desarrollo completo.

Las cantidades de alimentos que se utilizan en el proceso realmente no cambian ya que se compra de acuerdo a que los animales alcancen su peso ideal para el comercio. Se espera que estos lleguen al peso de una libra, siendo más específicos a 455 gramos. Cuando se toma en cuenta la cantidad de alimento se toma en cuenta la cantidad de

peces que se agregaron a la pileta al principio sin contar con la tasa de mortalidad. Por lo tanto, se muestra cuanto equivale la cantidad de alimento a usarse en el proceso:

Tabla 20. Total de Alimentos por cultivo.

Total Tilapias en Pileta	Cantidad de Alimento [Lbs]	Total Alimento [Lbs]	Precio por Libra	Gasto Total
30,000.00	1,500.00	45,000.00	HNL 5.50	HNL 247,500.00

Fuente: Elaboración propia con datos de Comercial La Roca.

5.5.4 Egresos de producción de 5-6 meses

Dentro de los egresos que tienen actualmente los sistemas de cultivo de tilapia, se encuentran las tarifas mensuales de energía por los sistemas que se utilizan, alimentos, impuestos, en ciertos casos los trabajadores, mantenimiento de las piletas, algunas personas pagan renta, pero en su mayoría los acuicultores son terratenientes.

Los siguientes datos son aproximados de los gastos que incurren en el proceso de cultivo de tilapias en un periodo de cinco a seis meses. En el caso de la finca Santiago, no cuentan con mano de obra extra ya que el propietario se encarga de todas las tareas que conlleva el proceso:

Tabla 21. Gastos realizados del Sistema Actual de cosecha de tilapia.

GASTOS DE DESARROLLO DE CULTIVO DE TILAPIA	
Tipos de Gastos	Cantidad
Alimentos	HNL 247,500.00
Energía	HNL 200,000.00
Trabajadores	HNL 0.00
Impuestos	HNL 10,000.00
Mantenimiento	HNL 5,000.00
Compra de Alevines	HNL 30,000.00
TOTAL	HNL 492,500.00

Fuente: Elaboración propia con datos brindados por propietario de Finca Santiago.

5.5.5 Ingresos de producción de 5-6 meses

Los ingresos son la parte más esperada por los acuicultores, ya que en esta parte del proceso es cuando por fin pueden recuperar su inversión después del periodo de 5-6 meses de desarrollo. Actualmente con el incremento en el precio de los alimentos, también se ha visto un incremento en el mercado actual de la tilapia en Honduras. Actualmente la venta entre productores anda en 40 Lempiras hasta 50 Lempiras por libra. En el entorno del mercado nacional, ya sea a nivel de ferias del agricultor, mercaditos, supermercados, carnicerías, etc. Los precios son un poco más elevados y andan rondando precios entre 60 Lempiras hasta 70 Lps.

Para este inciso se tomaron las cantidades de tilapia producidas en el cultivo y se multiplicaron por el precio aproximado de venta en el mercado pesquero actual. Luego se le resto la suma de los egresos que se obtienen en el proceso del cultivo para poder obtener nuestras ganancias.

Tabla 22. Ingresos de Cosecha de Finca Santiago.

	CANTIDAD	TOTALES	TOTAL EN DOLARES
CANTIDAD DE PESCADOS COSECHADOS	21,000.00		
PESO EN LIBRAS DE LA COSECHA	18,375.00		
PRECIO DE VENTA POR LIBRA	HNL 60.00	HNL 1,102,500.00	\$ 45,652.17
EGRESOS		-HNL 492,500.00	\$ (20,393.37)
TOTAL		HNL 610,000.00	\$ 25,258.80

Fuente: Elaboración Propia con Datos brindados por el propietario de Finca Santiago.

Sin embargo, el total se vuelve a reinvertir en la próxima cosecha y se resta un aproximado del valor anterior de egresos para así obtener la ganancia total que se obtuvo del cultivo de tilapia en un periodo de 6 meses. Estos nos dejan con una ganancia de:

Tabla 23. Ganancia Total de Finca Santiago.

	LEMPIRAS	DOLARES
TOTAL ANTERIOR	HNL 610,000.00	\$ 25,258.80
EGRESOS	-HNL 492,500.00	\$ (20,393.37)
GANANCIA TOTAL	HNL 117,500.00	\$ 4,865.42

Fuente: Elaboración Propia con Datos brindados por el propietario de Finca Santiago.

5.6 ANÁLISIS DE PRODUCCIÓN DE TILAPIA CON NUEVO SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

5.6.1 Densidad del Cultivo

Para este cálculo de sistema nuevo, esta variante no cambia al menos que el acuicultor lo decida, al tener con seguridad el manejo de las temperaturas y de mantenerlas estables la densidad puede aumentar, aunque también aumentarían las exigencias de otras partes del sistema de climatización. Para este cálculo tomaremos en cuenta aun la información de la Tabla 15.

5.6.2 Tasa de Mortalidad del Cultivo con Nuevo sistema de Climatización

En el caso de la implementación del nuevo sistema se reducen o se elimina la tasa de mortalidad causada por la temperatura, pero aún se mantiene el porcentaje de mortalidad ya establecido por factores ajenos al humano. Esto nos dejan con un porcentaje mayor de crías en las piletas que al final beneficiarían al acuicultor en manera monetaria.

Tabla 24. Tasa de Mortalidad con Sistema de Climatización Nuevo.

Tasa de Mortalidad		
Total de Tilapias en Piletas	Tasa de Mortalidad Habitual	Cantidad de Peces aplicando tasa de mortalidad
30,000.00	10%	27,000.00

Fuente: Elaboración Propia

5.6.3 Alimentación de cultivo de 5-6 meses con Nuevo sistema de Climatización

El sistema de alimentación no cambia. La temperatura en este caso hace que el metabolismo de la tilapia trabaje en un máximo potencial y esta puede llegar a pesar lo ideal al final del proceso. Esto es gracias a que la tilapia al estar en un entorno en el cual la temperatura es óptima se alimenta de una mejor manera y su cuerpo obtiene los nutrientes esenciales para su engorde y posterior cosecha alcanzando así a llegar a al peso ideal que es de 1 Libra o más. Se tomarán en cuenta los mismos datos de la [Tabla 17](#).

5.6.4 Egresos de Producción de 5-6 meses con Nuevo sistema de Climatización

En la parte de egresos con el nuevo sistema se agrega lo que sería el incremento bastante pequeño en la tarifa de energía por la introducción de la nueva tecnología, esta cumple con requisitos de eficiencia muy altos que no afectaran tanto los costos de energía para el acuicultor.

A continuación, se muestra la tabla de egresos agregándole los valores antes mencionados:

Tabla 25. Gastos con nuevo sistema de desarrollo de tilapia.

GASTOS DE DESARROLLO DE CULTIVO DE TILAPIA	
Tipos de Gastos	Cantidad
Alimentos	HNL 247,500.00
Energía	HNL 225,000.00
Trabajadores	HNL 0.00
Impuestos	HNL 10,000.00
Mantenimiento	HNL 5,000.00
Compra de Alevines	HNL 30,000.00
TOTAL	HNL 517,500.00

Fuente: Elaboración Propia

5.6.5 Ingresos de producción de 5-6 meses con Nuevo sistema de Climatización

Para la parte de los ingresos implementando el nuevo sistema de climatización, se tomarán en cuenta los datos anteriormente establecidos en los incisos. Estos mostrarían la diferencia que se espera produzca el cambio de tecnología en el cultivo y se comparara con el sistema anterior donde la temperatura utilizaba tecnología artesanal.

Tabla 26. Ingresos de Cultivo de Finca Santiago con Nuevo Sistema de Climatización.

	LEMPIRAS	DOLARES
TOTAL ANTERIOR	HNL 900,000.00	\$ 37,267.08
EGRESOS	-HNL 517,500.00	\$ (21,428.57)
GANANCIA TOTAL	HNL 382,500.00	\$ 15,838.51

Fuente: Elaboración Propia

Nuevamente se hace la extracción de un capital para la siguiente cosecha tomando en cuenta los nuevos datos de ingresos y egresos usando el nuevo sistema de climatización para las piletas de tilapia.

Tabla 27. Ganancias Totales con Nuevo sistema de Climatización.

	CANTIDAD	TOTALES	TOTAL EN DOLARES
CANTIDAD DE PESCADOS COSECHADOS	27,000.00		
LIBRAS TOTALES	23,625.00		
PRECIO DE VENTA POR LIBRA	HNL 60.00	HNL 1,417,500.00	\$ 58,695.65
EGRESOS		-HNL 517,500.00	\$ (21,428.57)
TOTAL		HNL 900,000.00	\$ 37,267.08

Fuente: Elaboración Propia

5.7 SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN CONVENCIONAL VERSUS SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN NUEVO

Comparando los datos y resultados de las tablas anteriores se ha visto que el nuevo sistema cubre un porcentaje bastante considerable en pérdidas causadas por el sistema de climatización convencional donde se pierde un 30 por ciento de la cosecha debido a factores de mal manejo de las temperaturas y este problema afecta directamente a los otros procesos que ocurren en el mismo sistema.

Se puede apreciar la diferencia de dinero que se genera y que se pierde en el sistema de climatización convencional contra lo que se genera en el sistema nuevo de climatización.

Tabla 28. Diferencia entre el Sistema Convencional versus Sistema Nuevo

TIPO DE SISTEMA	Diferencia Lempiras	Diferencia dólares
Sistema Convencional	HNL 117,500.00	\$ 4,865.42
Sistema Nuevo	HNL 382,500.00	\$ 15,838.51
TOTAL	-HNL 265,000.00	\$ 10,973.09

Fuente: Elaboración Propia

Se puede notar que hay una gran diferencia entre ambos sistemas, partiendo desde el punto en que la pérdida de dinero se refleja por la tasa de mortalidad que es provocada por el mal manejo de las temperaturas. El sistema de climatización nuevo incremento las ganancias haciendo 265,000 Lempiras más que el sistema convencional. Esto demuestra que aumentando las necesidades a niveles óptimos del cultivo se pueden lograr mejores resultados en la misma cantidad de tiempo.

5.7.1 Funcionamiento anual del sistema de climatización nuevo

Con los datos obtenidos en cuestiones de disminución de tasa de mortalidad, esto aumentó la entrada de dinero obtenida por los acuicultores. Este sistema beneficia a lo largo del año a los acuicultores ya que no deben de esperar a que las temporadas muestren climas favorables para tener una buena cosecha, se puede dejar de depender del sol y proponer la cosecha para todo el año.

Con el sistema que actualmente se usa en Honduras se perciben muchas fallas, pero principalmente la regulación de temperatura no deja que los cultivos prosperen de las maneras esperadas, además de esto en ciertos lugares del país donde el clima es más hostil es bastante difícil mantener la cosecha a las temperaturas necesarias para las tilapias.

También se pudo observar el gran cambio económico que se obtuvo en la [Tabla 25](#) donde las libras que se pierden por las tasas de mortalidad por mal manejo de temperaturas. Se puede observar que al disminuir la tasa de mortalidad se producen más libras de tilapia para la venta de los acuicultores, esto significa que al tener más producto generan más ganancia. El beneficio para los acuicultores es el generar más dinero y perder menos peces en sus cosechas. Así también llegando y sobrepasando los pesos mínimos con los que entra la tilapia al mercado.

5.8 COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA CONVENCIONAL VERSUS COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN NUEVO

Anteriormente se había detallado el dimensionamiento y las características necesarias que debe de cumplir el sistema de climatización a base de energía geotérmica que se desea implementar, sin embargo, este sistema consta de cálculos realizados en un periodo de regulación de las temperaturas de cada ocho horas. Tomando en cuenta esto, a continuación, se presenta el comportamiento que se tiene de las temperaturas del agua de las piletas con el sistema convencional en función de cada hora del día durante un periodo de cinco días.

5.8.1. Sistema Convencional de regulación de temperaturas

En el sistema convencional es donde inician los problemas para los acuicultores, las temperaturas están ligadas al clima del lugar donde se ubican las piletas. Durante los últimos años el incremento de las temperaturas a nivel mundial ha generado fenómenos climatológicos que han afectado a los cultivos de tilapia. La lluvia, los frentes fríos y los aumentos de temperatura generan que el agua tenga cambios abruptos de temperatura. Normalmente para la cría de tilapia se espera que las temperaturas no suban ni bajen más de 1°C.

Para evitar este tipo de problema los acuicultores mantienen almacenadas cantidades de agua que se calientan con el sol. Si, por ejemplo, un día la intensidad del sol no logra ser la adecuada para lograr mantener la temperatura de las piletas esto causa fallos en el metabolismo de los peces, causando así que dejen de alimentarse o hasta la muerte. También la disminución en niveles de temperatura genera el mismo efecto. Otro de los efectos negativos que puede llegar a tener es el desarrollo de enfermedades y hongos causadas por la diferencia de temperaturas en el agua.

En [Anexos](#) se presentan las tablas con los datos de temperaturas que se obtuvieron mediante diferentes fuentes meteorológicas, se tomó en cuenta el cambio de temperaturas por hora durante un periodo de cinco días.

5.8.2 Sistema de Climatización con Energía Geotérmica

Para el sistema de climatización que requiere el uso de energía geotérmica, se utilizan los mismos datos de temperatura por hora por el mismo periodo de cinco días anteriormente dados, en este caso ya no dependemos del sol, sin embargo, el sol aun incide en las temperaturas de las piletas en forma de pérdidas por calor por parte de la evaporación. Dentro de las pérdidas de calor también tenemos las pérdidas por convección, radiación y conducción, que afectan a mantener de manera estable las temperaturas en las piletas de cultivo.

Con el uso del Manual de Información de Acuicultura elaborado por (Boyd & Rafferty, 1999) calcularemos estas pérdidas para lograr obtener la variación de temperatura que recibirá el agua en las piletas por parte de las pérdidas de calor. Para los siguientes cálculos debemos de tomar en cuenta diferentes datos que nos ayudaran a calcular de manera fácil las pérdidas recibidas por parte de las pérdidas de calor. Se usarán los datos de temperatura de la región de Tela, Atlántida. También se hará uso de la velocidad del viento, temperatura del agua normal en las piletas de cultivo, presiones de vapor de agua a las temperaturas requeridas, temperaturas de diseño del sistema que se desea implementar, temperaturas de los recursos, temperaturas del aire en base a los datos meteorológicos recolectados. Todos estos datos están detallados en Anexos del Anexo 2 al Anexo 11 y están divididas por día.

5.8.3 Gráficas de Temperatura en función del Tiempo

Luego de obtener los datos requeridos para el análisis de temperaturas se crearon dos graficas para una para demostrar los cambios que surgen en periodos de una hora durante un periodo de cinco días para el sistema de climatización convencional y la misma grafica luego de aplicar el análisis para el nuevo sistema de climatización con energía geotérmica. A continuación, se presenta la gráfica para el sistema convencional:

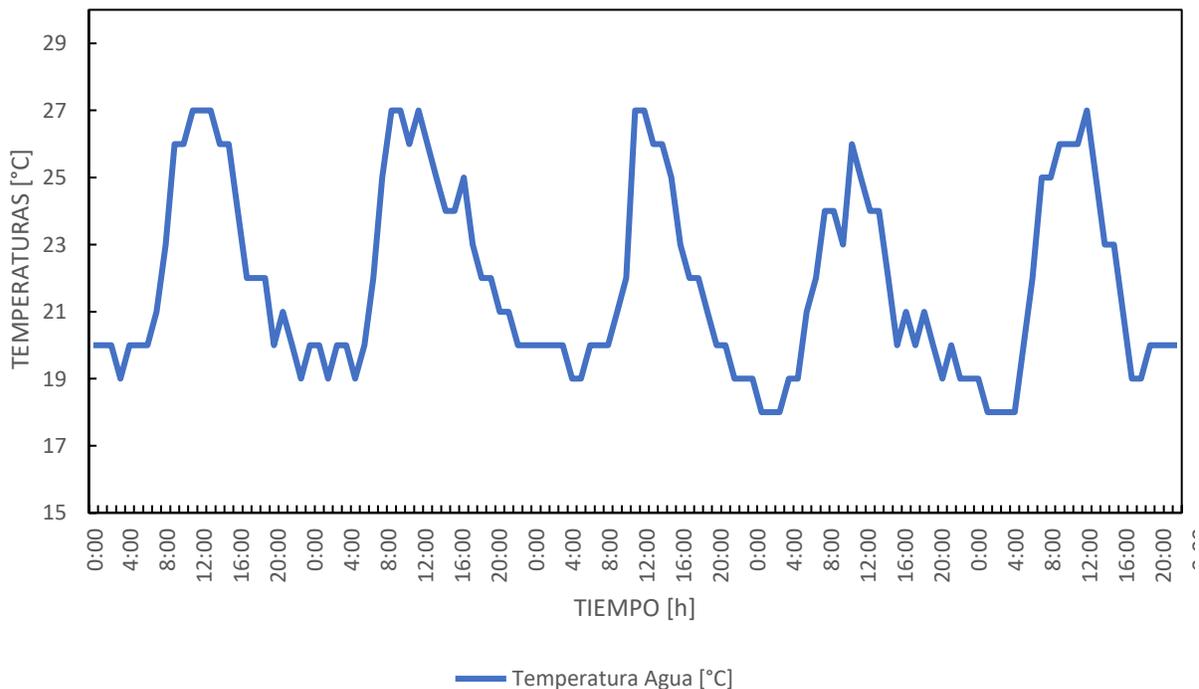


Ilustración 12. Temperatura en función del tiempo para el Sistema Convencional de regulación de temperatura en piletas de cultivo de tilapia.

Fuente: Elaboración propia

Como anteriormente se constataron las temperaturas necesarias para que el ambiente de las tilapias tenga un nivel óptimo, se debe de tener en cuenta que los rangos necesarios son de 25 grados Celsius a 27 grados Celsius como máximo. Se puede apreciar que con el sistema convencional de regulación de temperatura este es un gran problema para mantenerlas temperaturas dentro de los rangos necesarios, al depender directamente del clima estos solo pueden ser cambiados con sistemas con tecnologías más recientes y aplicadas para este tipo de necesidades. Al tener estos cambios abruptos de temperaturas en rango de 19 a 30 grados Celsius la población del cultivo disminuye por factores de enfermedades causadas por la temperatura o dejan de comer porque ese cambio de temperaturas afecta su metabolismo.

A continuación, tenemos la siguiente grafica que demuestra cómo se comporta la temperatura que se calculó mediante las ecuaciones del paquete de información de acuicultura (Boyd & Rafferty, 1999). Esta gráfica contiene cálculos realizados para regular la temperatura en periodos de una hora y mantenerla estable a 25 grados Celsius. Al tener esto presente se tomó en cuenta la temperatura de diseño, las dimensiones de las piletas y las pérdidas de calor del sistema.

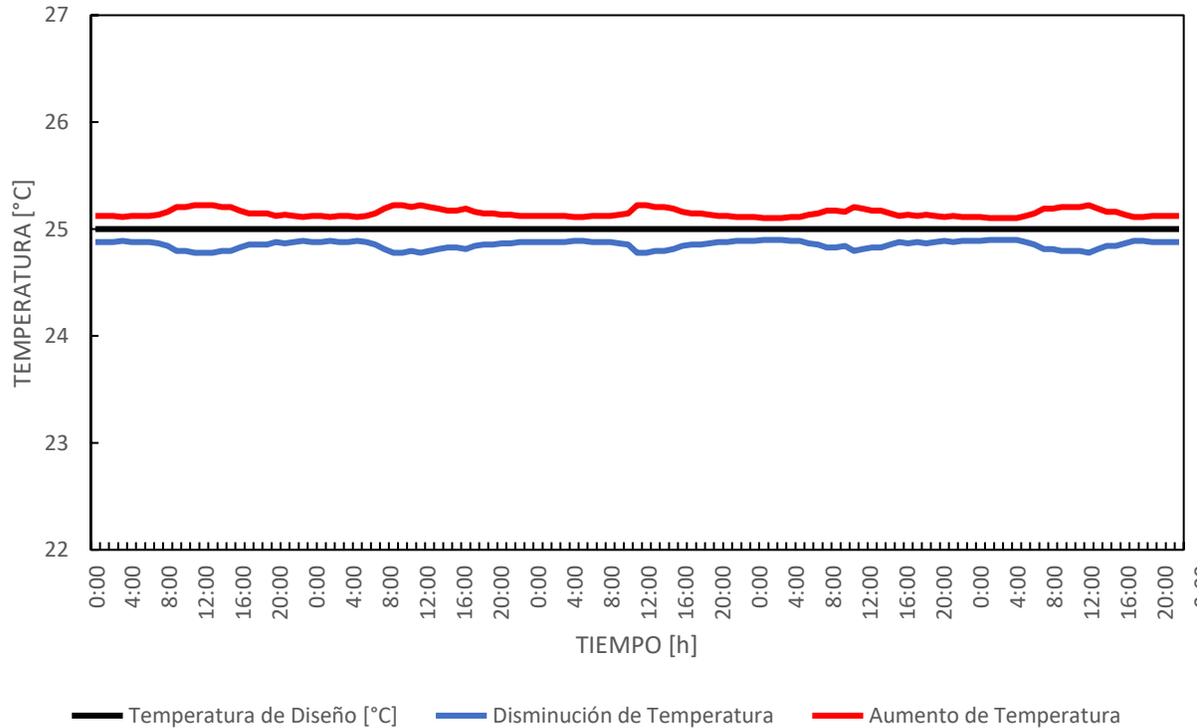


Ilustración 13. Temperatura en función del tiempo para Nuevo sistema de Climatización para regulación de temperaturas en piletas de cultivo de tilapia.

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar en la Ilustración 13 que la temperatura no es muy cambiante con el nuevo sistema, esta aplicación con geotermia tiene la oportunidad de ser diseñada con una temperatura deseada y determina el rango que estarán cambiando la temperatura de diseño. En este caso la temperatura deseada del sistema es de 25 grados Celsius, entonces se puede apreciar en la gráfica los cambios con respecto a la línea negra que es nuestra temperatura deseada. La línea roja es el incremento de temperaturas que varía desde 25-25.300 grados Celsius aproximadamente. La línea azul representa la disminución de la temperatura en las piletas que será regulada cada hora para poner mantenerse en la temperatura deseada y esta oscila entre 25-24.700 grados Celsius.

Como se puede observar el sistema de climatización actual presenta que no se puede mantener los niveles de temperatura estables en su aplicación, así mismo, el sistema nuevo de climatización nos muestra que, aunque siempre hay variación en las temperaturas esta variación es mínima, por lo tanto, no genera ningún tipo de problema al cultivo si se mantiene en regulación durante los periodos establecidos. Por su parte el sistema nuevo de climatización sería una respuesta a los problemas que se dan por la mala regulación del agua en las piletas de cultivo.

5.9 BENEFICIOS DE IMPLEMENTACIÓN DEL NUEVO SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DE TILAPIA EN HONDURAS

Se ha demostrado en otros países que la explotación de recurso geotérmico ha dado grandes frutos. Honduras es un país que basa su economía en procesos agrícolas y la explotación de estos recursos a futuro pueden presentar un gran beneficio si se empezaran a implementar a gran escala.

“La geotermia se utiliza cada vez más en la industria agroalimentaria ya que cumple muchos de los requisitos necesarios en sus sectores. El calor de baja y media intensidad está disponible en todas partes en el mundo, y los sistemas que permiten hacer uso de esta tecnología son sencillos y fácil de mantener (Rojas, 2015)”.

La energía geotérmica puede utilizarse para minimizar las pérdidas postcosecha mediante el secado y la refrigeración de los alimentos. La geotérmica en el sector agroalimentario también ayuda a reducir la dependencia de los combustibles fósiles, la exposición a precios volátiles y las emisiones nocivas.

VI. CONCLUSIONES

En esta investigación se realizó el diseño de un prototipo de climatización para la regulación de temperatura en las piletas de cultivo de tilapia, haciendo uso de diversas herramientas elaboradas para el diseño de sistema de climatización que implementa energía geotérmica, se realizó el diseño necesario para nuestro caso de investigación. La finca Santiago, ubicada en Atlántida cuenta con piletas de cultivo de tilapia y fue la elegida para el diseño de un sistema para mantener estables las temperaturas en las piletas de cultivo de tilapia. Se analizó el funcionamiento de los sistemas actuales de climatización y luego se comparó con los sistemas que implementan energía geotérmica. Se lograron obtener buenos resultados y demostrar que el cambio de tecnología es una opción para poder tener cultivos con temperaturas estables.

- Se logró determinar los rangos de temperatura que se mantendrán en las piletas para poder mantener a las tilapias en condiciones óptimas. Con los cálculos realizados se logró demostrar que el sistema convencional es incapaz de mantener las temperaturas necesarias y el sistema nuevo de climatización logró mantenerlo en un rango más estable.
- Se determinó la tecnología a usar para lograr los intercambios de calor para evitar la contaminación de las piletas por minerales y metales pesados que transporta el agua que proviene de los acuíferos, así también se cuida que el agua del acuífero no se contamine con las propiedades del agua regular que se utiliza para las piletas.
- Se calcularon las pérdidas producidas por diferentes factores termodinámicos en el sistema, esto nos ayudó a realizar un sistema que se adaptara a las necesidades de la especie y determinar las temperaturas de

diseño necesarias para el desarrollo del cultivo a lo largo de la aplicación del sistema.

- Se obtuvieron los caudales necesarios para la regulación periódica de las temperaturas del agua para mantener los niveles de temperatura estables en el agua de las piletas y que no sufran cambios abruptos que puedan dañar a la especie.
- Se diseñó el sistema de aplicación de energía geotérmica de baja entalpía, se determinó el uso de un sistema de captación abierta para que el recurso que es extraído vuelva a ser reinyectado al pozo para volver a ser usado y que la fuente no se agote por un periodo de tiempo corto.
- Se realizó un ejemplo comparando las pérdidas de libras que se producen con los sistemas actuales de climatización y luego se tomaron en cuenta cuando se aplicó el sistema de regulación de temperatura con energía geotérmica. El sistema está basado en los casos en lo que los cambios de temperatura afectan a la vida de los peces y estos son propensos a la muerte causando que a la hora de cosechar sea una cantidad de libras menor a la esperada.
- Se listaron los beneficios que tendrá el sistema a lo largo de su vida útil y como este ayudara a los acuicultores, además se estima que las cosechas se podrían hacer en cualquier época del año ya que su dependencia del sol es nula para los cultivos y erradicará esa dependencia que actualmente se tiene.

La limitación principal de esta investigación es la siguiente: (1) la falta de información a nivel nacional del potencial geotérmico que el país tiene. Se estima que aproximadamente hay 204 fuentes de energía geotérmica de baja entalpía para ser explotadas.

A pesar de tener esta limitación, las nuevas tecnologías como parte de la innovación han formado una gran parte del desarrollo de estas implementaciones. En este estudio se realizaron procesos que pueden ayudar a personas que estén en busca de implementar y montar proyectos de esta magnitud en Honduras. Los cálculos en las piletas es algo que es bastante fácil de hacer y no se necesita tener conocimientos profundos para poder comprenderlo.

VII. RECOMENDACIONES

A partir del desarrollo de la investigación y de las conclusiones formuladas, se recomienda:

- Se recomienda hacer estudios más extensivos sobre las propiedades de las tierras y las características del suelo en el lugar donde se decida hacer la aplicación, esto para tener las propiedades específicas y realizar los trabajos procedentes de una mejor manera.
- Se recomienda hacer uso de un intercambiador de calor, aunque este no es indispensable para la aplicación, se puede hacer uso de la aplicación sin intercambiador de calor, pero esto aumentaría los gastos por mantenimiento ya que los metales pesados pueden generar sarro dentro de las tuberías o problemas en el agua de las piletas.
- Se recomienda tomar en cuenta que es un sistema que necesita estar conectado a la red, sin embargo, este sistema no consume tanta energía como los otros sistemas involucrados en el cultivo, las tecnologías actuales permiten que estas aplicaciones sean muy eficientes y se use un mínimo de consumo de energía para su aplicación.
- Se recomienda hacer uso de una tecnología extra para convertir el sistema en un sistema híbrido y no depender de la red eléctrica y así poder minimizar consumos y el uso de combustibles fósiles, pero esta queda a decisión de los propietarios de que decidan implementar nuevas tecnologías.

BIBLIOGRAFIA

- Aragon, G. d. (s.f.). *Gobierno de Aragon*. Obtenido de El Cambio Climatico:
[https://www.aragon.es/-/el-cambio-climatico#:~:text=el%20cambio%20clim%C3%A1tico.-,La%20temperatura%20del%20planeta%20sube%3A%20es%20el%20calentamiento%20global,76%20%C2%BAC%20\(Grado%20Celsius\).&text=Este%20aumento%20de%20la%20temperatura,Tierra%20es%20el](https://www.aragon.es/-/el-cambio-climatico#:~:text=el%20cambio%20clim%C3%A1tico.-,La%20temperatura%20del%20planeta%20sube%3A%20es%20el%20calentamiento%20global,76%20%C2%BAC%20(Grado%20Celsius).&text=Este%20aumento%20de%20la%20temperatura,Tierra%20es%20el)
- Barbier, E., & Fanelli, M. (1977). *NON-ELECTRICAL USES OF GEOTHERMAL ENERGY*.
- BD, G. V. (s.f.). *Energias Renovables*. Obtenido de Tipos de captación geotérmica:
<http://www.grupovisiona.com/es/geotermia/tipos%20de%20captaci%C3%B3n%20geot%C3%A9rmica#:~:text=Captaci%C3%B3n%20geot%C3%A9rmica%20abierto,y%20otra%20que%20la%20reinyecta>.
- Berrios, M. (Sin Fecha). *FAO*. Obtenido de SITUACION ACTUAL DE LA ACUICULTURA EN HONDURAS: <http://www.fao.org/3/ad020s/AD020s08.htm>
- Boyd, P. C. (Lunes de Noviembre de 2020). *Efectos del tiempo y el clima en la acuicultura*. Obtenido de Global Aquaculture Alliance:
<https://www.aquaculturealliance.org/advocate/efectos-del-tiempo-y-el-clima-en-la-acuicultura/>
- Boyd, T., & Rafferty, K. (1999). *Aquaculture Information Package*. Arizona.
- Caballero, I. (15 de Abril de 2019). *Isabel Caballero*. Obtenido de Acuicultura, qué es y dónde se cultiva: <https://isabelcaballero.com/acuicultura-que-es-y-donde-se-cultiva/>
- Carrasco, F. J., & Márquez, D. M. (2015). *LA ENERGÍA GEOTÉRMICA DE BAJA ENTALPÍA*. 3C Tecnología.
- Castellón, P. M. (2005). *Vision General del Sector Acuicola nacional*. Obtenido de Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la Agricultura:
http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_honduras/es
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Publicas. (s.f.). Obtenido de https://coin.fao.org/coin-static/cms/media/5/12791358819830/cp03-10boletn_cadenas_agrcolas.pdf

El Productor. (viernes de mayo de 2017). Obtenido de Sistemas y modos de producción acuícola: <https://elproductor.com/2017/05/sistemas-y-modos-de-produccion-acuicola/#:~:text=La%20Acuicultura%20posee%203%20sistemas,de%20bajas%20densidades%20de%20siembra>.

Enérgya VM. (27 de Junio de 2019). Obtenido de La energía geotérmica en el sector alimentario: <https://www.energyavm.es/la-energia-geotermica-en-el-sector-alimentario/#:~:text=En%20Europa%2C%20por%20ejemplo%2C%20Espa%C3%B1a,3%20vertientes%20del%20sector%20alimentario>.

FAO. (s.f.). *Visión general del sector acuícola nacional, Honduras*. Obtenido de Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: http://www.fao.org/fishery/countrysector/naso_honduras/es

GeoPlat. (9 de Junio de 2016). *Geoplat*. Obtenido de Energía geotérmica: <https://www.geoplat.org/energia-geotermica/>

Gobierno de Argentina. (s.f.). *Algunos Elementos Algunos Elementos*.

Guitierrez, A. (9 de Octubre de 2019). Ecuacion de Continuidad.

Heraldo, E. (agosto de 2014). Cultivo de Tilapia compensa merma en producción de mar.

IHCIT, I. H. (2012). *"ATLAS CLIMÁTICO Y DE GESTIÓN DE RIESGO DE HONDURAS"*. TEGUCIGALPA, M D C: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE HONDURAS.

Industria Acuicola. (s.f.). *Manual de Crianza de Tilapia*. Obtenido de <http://www.industriaacuicola.com/biblioteca/Tilapia/Manual%20de%20crianza%20de%20tilapia.pdf>

IngeoExpert. (8 de junio de 2018). *IngeoExpert*. Obtenido de Geotermia: qué es y cómo funciona la energía geotérmica: <https://ingeoexpert.com/2018/06/08/que-es-la-geotermia/>

Institut Cartogràfi y Geològic de Catalunya. (2011). *¿Qué es un yacimiento geotérmico? Tipos de yacimientos geotérmico*. Obtenido de <https://www.icgc.cat/es/Administracion-y-empresa/Servicios/Geotermia/Que-es-un-yacimiento-geotermico-Tipos-de-yacimientos-geotermicos>

Instituto Geologico y Minero de España. (s.f.).

IPac. (9 de junio de 2020). *IPAC*. Obtenido de La acuicultura mundial alcanza un nuevo máximo histórico con 82,1 millones de toneladas en 2018, aunque solo creció un 3,2%:

http://www.ipacuicultura.com/noticias/en_portada/75948/la_acuicultura_mundial_alcanza_un_nuevo_maximo_historico_con_821_millones_de_toneladas_en_2018_a_unico_solo_crecio_un_32_.html#:~:text=En%202018%2C%20la%20acuicultura%20continental,hab%C3%ADa%20sido%20

IPCC. (2007). Obtenido de <https://www.ipcc.ch/ipccreports/assessments-reports.htm>

Johnson, W. (1981). Agriculture and Aquaculture application of Geothermal Energy.

Luis Morales, E. E. (2007). *CADENA DE PESCA Y ACUICULTURA*. SECRETARIA DE AGRICULTURA Y GANADERIA. Obtenido de <file:///C:/Users/dulio/OneDrive/Desktop/CLASES/Proyecto%20Fase%201/DIAGNOSTICO-PESQUERO-Y-ACUICOLA.pdf>

Lund, J. W., Bloomquist, R. G., L.Boyd, T., & Renner, J. (2005). *The United States of America Country Update*.

Maquinarias. (11 de marzo de 2014). Obtenido de <https://maquinariasyequiposindustriales.blogspot.com/2014/03/relacion-diametro-tuberia-caudal.html?m=0>

Programa Fomento de la Geotermia en Centroamérica. (18 de octubre de 2019). *GEOTERMIA EN HONDURAS*. Obtenido de Física UNAH: <https://fisica.unah.edu.hn/geologia/encuentro-regional-de-geotermia>

Redondo, M. A. (28 de Junio de 2021). *Fundamentos básicos de hidráulica (I)*. Obtenido de iagua: <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/fundamentos-basicos-hidraulica-i>

Roca, J. A. (27 de 06 de 2016). Las 10 mayores plantas geotérmicas del mundo. *El Periodico de la Energía*.

Rojas, F. (30 de Junio de 2015). *Piensa en Geotermia*. Obtenido de Un excelente folleto de EGEN sobre los usos y las ventajas que la energía geotérmica puede dar a la agricultura.: <https://www.piensageotermia.com/egec-uso-de-la-energia-geotermica-en-la-agricultura/>

Romo, E. Z. (2018). *Caracterización fisiológica y metabólica de la tilapia tetra híbrida Pargo UNAM a diferentes temperaturas y salinidades de aclimatación*. Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.

SAHL, F. (15 de 12 de 2019). *CONCEPTOS HIDROGRAFÍA*. Obtenido de GoConqr: <https://www.goconqr.com/flashcard/20472264/conceptos-hidrograf-a->

Significados. (s.f.). Obtenido de <https://www.significados.com/temperatura/>

Tiempo3. (s.f.). *Tiempo3*. Obtenido de <https://www.tiempo3.com/north-america/honduras/atlantida/tela?page=day#date=2021-06-25>

Wikipedia. (26 de noviembre de 2018). *Wikipedia*. Obtenido de Acuicultura: <https://es.wikipedia.org/wiki/Acuicultura>

Yarosh, M., Nichols, B. L., Hirst, E. A., Michel, J., & Yee, W. (1972). *AGRICULTURAL AND AGUACULTURAL USES OF WASTE HEAT*.

ANEXOS

Anexo 1. Datos de Temperatura por hora para sistema convencional de climatización para regulación de temperatura en piletas de cultivo.

Dia	Horas [h]	Temperatura Ambiente [°C]	Temperatura Agua [°C]	Dia	Horas [h]	Temperatura Ambiente [°C]	Temperatura Agua [°C]	Dia	Horas [h]	Temperatura Ambiente [°C]	Temperatura Agua [°C]	Dia	Horas [h]	Temperatura Ambiente [°C]	Temperatura Agua [°C]	Dia	Horas [h]	Temperatura Ambiente [°C]	Temperatura Agua [°C]
LUNES	0:00	25	20	MARTES	0:00	25	20	MIERCOLES	0:00	25	20	JUEVES	0:00	24	19	VIERNES	0:00	24	19
	1:00	25	20		1:00	25	20		1:00	25	20		1:00	24	19		1:00	24	19
	2:00	25	20		2:00	24	19		2:00	25	20		2:00	23	18		2:00	24	19
	3:00	24	19		3:00	25	20		3:00	25	20		3:00	23	18		3:00	23	18
	4:00	25	20		4:00	25	20		4:00	25	20		4:00	23	18		4:00	23	18
	5:00	25	20		5:00	24	19		5:00	24	19		5:00	24	19		5:00	23	18
	6:00	25	20		6:00	25	20		6:00	24	19		6:00	24	19		6:00	23	18
	7:00	26	21		7:00	27	22		7:00	25	20		7:00	26	21		7:00	25	20
	8:00	28	23		8:00	30	25		8:00	25	20		8:00	27	22		8:00	27	22
	9:00	31	26		9:00	32	27		9:00	25	20		9:00	29	24		9:00	30	25
	10:00	31	26		10:00	32	27		10:00	26	21		10:00	29	24		10:00	30	25
	11:00	32	27		11:00	31	26		11:00	27	22		11:00	28	23		11:00	31	26
	12:00	32	27		12:00	32	27		12:00	32	27		12:00	31	26		12:00	31	26
	13:00	32	27		13:00	31	26		13:00	32	27		13:00	30	25		13:00	31	26
	14:00	31	26		14:00	30	25		14:00	31	26		14:00	29	24		14:00	32	27
	15:00	31	26		15:00	29	24		15:00	31	26		15:00	29	24		15:00	30	25
	16:00	29	24		16:00	29	24		16:00	30	25		16:00	27	22		16:00	28	23
	17:00	27	22		17:00	30	25		17:00	28	23		17:00	25	20		17:00	28	23
	18:00	27	22		18:00	28	23		18:00	27	22		18:00	26	21		18:00	26	21
	19:00	27	22		19:00	27	22		19:00	27	22		19:00	25	20		19:00	24	19
	20:00	25	20		20:00	27	22		20:00	26	21		20:00	26	21		20:00	24	19
	21:00	26	21		21:00	26	21		21:00	25	20		21:00	25	20		21:00	25	20
	22:00	25	20		22:00	26	21		22:00	25	20		22:00	24	19		22:00	25	20
	23:00	24	19		23:00	25	20		23:00	24	19		23:00	25	20		23:00	25	20
0:00	25	20	0:00	25	20	0:00	24	19	0:00	24	19	0:00	25	20					

Fuente: Elaboración Propia con datos de (Tiempo3, s.f.)

Anexo 2. Datos para cálculo de temperaturas en sistema de climatización nuevo para regulación de temperatura en piletas de cultivo. (lunes)

Días [L - V]	Horas [h]	Temperatura Aire [°C]	Temperatura Agua [°C]	Viento [m/s]	Pw [bar- absoluto]	Pa [bar - absoluto]	A [m2]	T. Diseño [°C]	T. Aire de Diseño [°C]	T. del Recurso [°C]	Wp	qEV	qCV	qRD	qCD	Pérdidas Totales [kJ/h]
LUNES	0:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.051854	943,538.53
	1:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.051854	943,538.53
	2:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.051854	943,538.53
	3:00	24	19	6.67	0.0298	0.0061	305	25	15	40	286.731	699,622.42	91,957.50	65,465.14	3818.051854	860,863.11
	4:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.051854	943,538.53
	5:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.051854	943,538.53
	6:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.051854	943,538.53
	7:00	26	21	7.22	0.0336	0.0061	305	25	15	40	352.741	860,687.97	99,620.63	65,465.14	3818.051854	1,029,591.79
	8:00	28	23	7.78	0.0378	0.0061	305	25	15	40	429.711	1,048,495.11	107,283.75	65,465.14	3818.051854	1,225,062.05
	9:00	31	26	8.61	0.0449	0.0061	305	25	15	40	568.361	1,386,800.16	118,778.44	65,465.14	3818.051854	1,574,861.79
	10:00	31	26	8.61	0.0449	0.0061	305	25	15	40	568.361	1,386,800.16	118,778.44	65,465.14	3818.051854	1,574,861.79
	11:00	32	27	8.89	0.0476	0.0061	305	25	15	40	623.030	1,520,193.88	122,610.00	65,465.14	3818.051854	1,712,087.07
	12:00	32	27	8.89	0.0476	0.0061	305	25	15	40	623.030	1,520,193.88	122,610.00	65,465.14	3818.051854	1,712,087.07
	13:00	32	27	8.89	0.0476	0.0061	305	25	15	40	623.030	1,520,193.88	122,610.00	65,465.14	3818.051854	1,712,087.07
	14:00	31	26	8.61	0.0449	0.0061	305	25	15	40	568.361	1,386,800.16	118,778.44	65,465.14	3818.051854	1,574,861.79
	15:00	31	26	8.61	0.0449	0.0061	305	25	15	40	568.361	1,386,800.16	118,778.44	65,465.14	3818.051854	1,574,861.79
	16:00	29	24	8.06	0.04	0.0061	305	25	15	40	471.883	1,151,395.23	111,115.31	65,465.14	3818.051854	1,331,793.74
	17:00	27	22	7.50	0.0356	0.0061	305	25	15	40	389.142	949,506.18	103,452.19	65,465.14	3818.051854	1,122,241.56
	18:00	27	22	7.50	0.0356	0.0061	305	25	15	40	389.142	949,506.18	103,452.19	65,465.14	3818.051854	1,122,241.56
	19:00	27	22	7.50	0.0356	0.0061	305	25	15	40	389.142	949,506.18	103,452.19	65,465.14	3818.051854	1,122,241.56
	20:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.051854	943,538.53
	21:00	26	21	7.22	0.0336	0.0061	305	25	15	40	352.741	860,687.97	99,620.63	65,465.14	3818.051854	1,029,591.79
	22:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.051854	943,538.53
	23:00	24	19	6.67	0.0298	0.0061	305	25	15	40	286.731	699,622.42	91,957.50	65,465.14	3818.051854	860,863.11

Fuente: Elaboración propia con datos de (Boyd & Rafferty, 1999) y (Tiempo3, s.f.)

Anexo 3. Datos para cálculo de temperaturas en sistema de climatización nuevo para regulación de temperatura en piletas de cultivo. (lunes)

Días [L - V]	Horas [h]	Pérdidas Totales [kJ/h]	Periodo [hr]	Masa Térmica		Diferencia Masa Térmica	Agua en Piletas [kg]	Caída de T. de Pileta	Caída para enfriamiento	Caída para calentamiento
				100%	80%					
LUNES	0:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	1:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	2:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	3:00	860,863.11	1	860,863.11	688,690.49	172,172.62	366,000.00	0.112	24.89	25.11
	4:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	5:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	6:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	7:00	1,029,591.79	1	1,029,591.79	823,673.43	205,918.36	366,000.00	0.134	24.87	25.13
	8:00	1,225,062.05	1	1,225,062.05	980,049.64	245,012.41	366,000.00	0.159	24.84	25.16
	9:00	1,574,861.79	1	1,574,861.79	1,259,889.43	314,972.36	366,000.00	0.205	24.80	25.20
	10:00	1,574,861.79	1	1,574,861.79	1,259,889.43	314,972.36	366,000.00	0.205	24.80	25.20
	11:00	1,712,087.07	1	1,712,087.07	1,369,669.66	342,417.41	366,000.00	0.223	24.78	25.22
	12:00	1,712,087.07	1	1,712,087.07	1,369,669.66	342,417.41	366,000.00	0.223	24.78	25.22
	13:00	1,712,087.07	1	1,712,087.07	1,369,669.66	342,417.41	366,000.00	0.223	24.78	25.22
	14:00	1,574,861.79	1	1,574,861.79	1,259,889.43	314,972.36	366,000.00	0.205	24.80	25.20
	15:00	1,574,861.79	1	1,574,861.79	1,259,889.43	314,972.36	366,000.00	0.205	24.80	25.20
	16:00	1,331,793.74	1	1,331,793.74	1,065,434.99	266,358.75	366,000.00	0.173	24.83	25.17
	17:00	1,122,241.56	1	1,122,241.56	897,793.24	224,448.31	366,000.00	0.146	24.85	25.15
	18:00	1,122,241.56	1	1,122,241.56	897,793.24	224,448.31	366,000.00	0.146	24.85	25.15
	19:00	1,122,241.56	1	1,122,241.56	897,793.24	224,448.31	366,000.00	0.146	24.85	25.15
	20:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	21:00	1,029,591.79	1	1,029,591.79	823,673.43	205,918.36	366,000.00	0.134	24.87	25.13
	22:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	23:00	860,863.11	1	860,863.11	688,690.49	172,172.62	366,000.00	0.112	24.89	25.11

Fuente: Elaboración propia con datos de (Boyd & Rafferty, 1999) y (Tiempo3, s.f.)

Anexo 4. Datos para cálculo de temperaturas en sistema de climatización nuevo para regulación de temperatura en piletas de cultivo. (martes)

Días [L - V]	Horas [h]	Temperatura Aire [°C]	Temperatura Agua [°C]	Viento [m/s]	Pw [bar- absoluto]	Pa [bar - absoluto]	A [m2]	Temperatura de Diseño [°C]	Temperatura de Aire de Diseño	Temperatura del Recurso [°C]	Wp	qEV	qCV	qRD	qCD	Pérdidas Totales [kJ/h]
MARTES	0:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	1:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	2:00	24	19	6.67	0.0298	0.0061	305	25	15	40	286.731	699,622.42	91,957.50	65,465.14	3818.05185	860,863.11
	3:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	4:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	5:00	24	19	6.67	0.0298	0.0061	305	25	15	40	286.731	699,622.42	91,957.50	65,465.14	3818.05185	860,863.11
	6:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	7:00	27	22	7.50	0.0356	0.0061	305	25	15	40	389.142	949,506.18	103,452.19	65,465.14	3818.05185	1,122,241.56
	8:00	30	25	8.33	0.0425	0.0061	305	25	15	40	519.944	1,268,662.55	114,946.88	65,465.14	3818.05185	1,452,892.61
	9:00	32	27	8.89	0.0476	0.0061	305	25	15	40	623.030	1,520,193.88	122,610.00	65,465.14	3818.05185	1,712,087.07
	10:00	32	27	8.89	0.0476	0.0061	305	25	15	40	623.030	1,520,193.88	122,610.00	65,465.14	3818.05185	1,712,087.07
	11:00	31	26	8.61	0.0449	0.0061	305	25	15	40	568.361	1,386,800.16	118,778.44	65,465.14	3818.05185	1,574,861.79
	12:00	32	27	8.89	0.0476	0.0061	305	25	15	40	623.030	1,520,193.88	122,610.00	65,465.14	3818.05185	1,712,087.07
	13:00	31	26	8.61	0.0449	0.0061	305	25	15	40	568.361	1,386,800.16	118,778.44	65,465.14	3818.05185	1,574,861.79
	14:00	30	25	8.33	0.0425	0.0061	305	25	15	40	519.944	1,268,662.55	114,946.88	65,465.14	3818.05185	1,452,892.61
	15:00	29	24	8.06	0.04	0.0061	305	25	15	40	471.883	1,151,395.23	111,115.31	65,465.14	3818.05185	1,331,793.74
	16:00	29	24	8.06	0.04	0.0061	305	25	15	40	471.883	1,151,395.23	111,115.31	65,465.14	3818.05185	1,331,793.74
	17:00	30	25	8.33	0.0425	0.0061	305	25	15	40	519.944	1,268,662.55	114,946.88	65,465.14	3818.05185	1,452,892.61
	18:00	28	23	7.78	0.0378	0.0061	305	25	15	40	429.711	1,048,495.11	107,283.75	65,465.14	3818.05185	1,225,062.05
	19:00	27	22	7.50	0.0356	0.0061	305	25	15	40	389.142	949,506.18	103,452.19	65,465.14	3818.05185	1,122,241.56
	20:00	27	22	7.50	0.0356	0.0061	305	25	15	40	389.142	949,506.18	103,452.19	65,465.14	3818.05185	1,122,241.56
	21:00	26	21	7.22	0.0336	0.0061	305	25	15	40	352.741	860,687.97	99,620.63	65,465.14	3818.05185	1,029,591.79
	22:00	26	21	7.22	0.0336	0.0061	305	25	15	40	352.741	860,687.97	99,620.63	65,465.14	3818.05185	1,029,591.79
23:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53	

Fuente: Elaboración propia con datos de (Boyd & Rafferty, 1999) y (Tiempo3, s.f.)

Anexo 5. Datos para cálculo de temperaturas en sistema de climatización nuevo para regulación de temperatura en piletas de cultivo. (martes)

Días [L - V]	Horas [h]	Pérdidas Totales [kJ/h]	Periodo [hr]	100%	80%	Diferencia Masa Térmica	Agua en Piletas [kg]	Caída de T. de Pileta	Caída para enfriamiento	Caída para calentamiento
				Masa Térmica						
MARTES	0:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	1:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	2:00	860,863.11	1	860,863.11	688,690.49	172,172.62	366,000.00	0.112	24.89	25.11
	3:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	4:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	5:00	860,863.11	1	860,863.11	688,690.49	172,172.62	366,000.00	0.112	24.89	25.11
	6:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	7:00	1,122,241.56	1	1,122,241.56	897,793.24	224,448.31	366,000.00	0.146	24.85	25.15
	8:00	1,452,892.61	1	1,452,892.61	1,162,314.09	290,578.52	366,000.00	0.189	24.81	25.19
	9:00	1,712,087.07	1	1,712,087.07	1,369,669.66	342,417.41	366,000.00	0.223	24.78	25.22
	10:00	1,712,087.07	1	1,712,087.07	1,369,669.66	342,417.41	366,000.00	0.223	24.78	25.22
	11:00	1,574,861.79	1	1,574,861.79	1,259,889.43	314,972.36	366,000.00	0.205	24.80	25.20
	12:00	1,712,087.07	1	1,712,087.07	1,369,669.66	342,417.41	366,000.00	0.223	24.78	25.22
	13:00	1,574,861.79	1	1,574,861.79	1,259,889.43	314,972.36	366,000.00	0.205	24.80	25.20
	14:00	1,452,892.61	1	1,452,892.61	1,162,314.09	290,578.52	366,000.00	0.189	24.81	25.19
	15:00	1,331,793.74	1	1,331,793.74	1,065,434.99	266,358.75	366,000.00	0.173	24.83	25.17
	16:00	1,331,793.74	1	1,331,793.74	1,065,434.99	266,358.75	366,000.00	0.173	24.83	25.17
	17:00	1,452,892.61	1	1,452,892.61	1,162,314.09	290,578.52	366,000.00	0.189	24.81	25.19
	18:00	1,225,062.05	1	1,225,062.05	980,049.64	245,012.41	366,000.00	0.159	24.84	25.16
	19:00	1,122,241.56	1	1,122,241.56	897,793.24	224,448.31	366,000.00	0.146	24.85	25.15
	20:00	1,122,241.56	1	1,122,241.56	897,793.24	224,448.31	366,000.00	0.146	24.85	25.15
	21:00	1,029,591.79	1	1,029,591.79	823,673.43	205,918.36	366,000.00	0.134	24.87	25.13
	22:00	1,029,591.79	1	1,029,591.79	823,673.43	205,918.36	366,000.00	0.134	24.87	25.13
23:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12	

Fuente: Elaboración propia con datos de (Boyd & Rafferty, 1999) y (Tiempo3, s.f.)

Anexo 6. Datos para cálculo de temperaturas en sistema de climatización nuevo para regulación de temperatura en piletas de cultivo. (miércoles)

Días [L - V]	Horas [h]	Temperatura Aire[°C]	Temperatura Agua [°C]	Viento [m/s]	Pw [bar-absoluto]	Pa [bar - absoluto]	A [m2]	Temperatura de Diseño [°C]	Temperatura de Aire de Diseño	Temperatura del Recurso [°C]	Wp	qEV	qCV	qRD	qCD	Pérdidas Totales [kJ/h]
MIÉRCOLES	0:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	1:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	2:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	3:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	4:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	5:00	24	19	6.67	0.0298	0.0061	305	25	15	40	286.731	699,622.42	91,957.50	65,465.14	3818.05185	860,863.11
	6:00	24	19	6.67	0.0298	0.0061	305	25	15	40	286.731	699,622.42	91,957.50	65,465.14	3818.05185	860,863.11
	7:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	8:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	9:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	10:00	26	21	7.22	0.0336	0.0061	305	25	15	40	352.741	860,687.97	99,620.63	65,465.14	3818.05185	1,029,591.79
	11:00	27	22	7.50	0.0356	0.0061	305	25	15	40	389.142	949,506.18	103,452.19	65,465.14	3818.05185	1,122,241.56
	12:00	32	27	8.89	0.0476	0.0061	305	25	15	40	623.030	1,520,193.88	122,610.00	65,465.14	3818.05185	1,712,087.07
	13:00	32	27	8.89	0.0476	0.0061	305	25	15	40	623.030	1,520,193.88	122,610.00	65,465.14	3818.05185	1,712,087.07
	14:00	31	26	8.61	0.0449	0.0061	305	25	15	40	568.361	1,386,800.16	118,778.44	65,465.14	3818.05185	1,574,861.79
	15:00	31	26	8.61	0.0449	0.0061	305	25	15	40	568.361	1,386,800.16	118,778.44	65,465.14	3818.05185	1,574,861.79
	16:00	30	25	8.33	0.0425	0.0061	305	25	15	40	519.944	1,268,662.55	114,946.88	65,465.14	3818.05185	1,452,892.61
	17:00	28	23	7.78	0.0378	0.0061	305	25	15	40	429.711	1,048,495.11	107,283.75	65,465.14	3818.05185	1,225,062.05
	18:00	27	22	7.50	0.0356	0.0061	305	25	15	40	389.142	949,506.18	103,452.19	65,465.14	3818.05185	1,122,241.56
	19:00	27	22	7.50	0.0356	0.0061	305	25	15	40	389.142	949,506.18	103,452.19	65,465.14	3818.05185	1,122,241.56
	20:00	26	21	7.22	0.0336	0.0061	305	25	15	40	352.741	860,687.97	99,620.63	65,465.14	3818.05185	1,029,591.79
	21:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	22:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	23:00	24	19	6.67	0.0298	0.0061	305	25	15	40	286.731	699,622.42	91,957.50	65,465.14	3818.05185	860,863.11

Fuente: Elaboración propia con datos de (Boyd & Rafferty, 1999) y (Tiempo3, s.f.)

Anexo 7. Datos para cálculo de temperaturas en sistema de climatización nuevo para regulación de temperatura en piletas de cultivo. (miércoles)

Días [L - V]	Horas [h]	Pérdidas Totales [kJ/h]	Periodo [hr]	Masa Térmica		Diferencia Masa Térmica	Agua en Piletas [kg]	Caída de T. de Pileta	Caída para enfriamiento	Caída para calentamiento
				100%	80%					
MIÉRCOLES	0:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	1:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	2:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	3:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	4:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	5:00	860,863.11	1	860,863.11	688,690.49	172,172.62	366,000.00	0.112	24.89	25.11
	6:00	860,863.11	1	860,863.11	688,690.49	172,172.62	366,000.00	0.112	24.89	25.11
	7:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	8:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	9:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	10:00	1,029,591.79	1	1,029,591.79	823,673.43	205,918.36	366,000.00	0.134	24.87	25.13
	11:00	1,122,241.56	1	1,122,241.56	897,793.24	224,448.31	366,000.00	0.146	24.85	25.15
	12:00	1,712,087.07	1	1,712,087.07	1,369,669.66	342,417.41	366,000.00	0.223	24.78	25.22
	13:00	1,712,087.07	1	1,712,087.07	1,369,669.66	342,417.41	366,000.00	0.223	24.78	25.22
	14:00	1,574,861.79	1	1,574,861.79	1,259,889.43	314,972.36	366,000.00	0.205	24.80	25.20
	15:00	1,574,861.79	1	1,574,861.79	1,259,889.43	314,972.36	366,000.00	0.205	24.80	25.20
	16:00	1,452,892.61	1	1,452,892.61	1,162,314.09	290,578.52	366,000.00	0.189	24.81	25.19
	17:00	1,225,062.05	1	1,225,062.05	980,049.64	245,012.41	366,000.00	0.159	24.84	25.16
	18:00	1,122,241.56	1	1,122,241.56	897,793.24	224,448.31	366,000.00	0.146	24.85	25.15
	19:00	1,122,241.56	1	1,122,241.56	897,793.24	224,448.31	366,000.00	0.146	24.85	25.15
	20:00	1,029,591.79	1	1,029,591.79	823,673.43	205,918.36	366,000.00	0.134	24.87	25.13
	21:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	22:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
23:00	860,863.11	1	860,863.11	688,690.49	172,172.62	366,000.00	0.112	24.89	25.11	

Fuente: Elaboración propia con datos de (Boyd & Rafferty, 1999) y (Tiempo3, s.f.)

Anexo 8. Datos para cálculo de temperaturas en sistema de climatización nuevo para regulación de temperatura en piletas de cultivo. (jueves)

Días [L - V]	Horas [h]	Temperatura Aire [°C]	Temperatura Agua [°C]	Viento [m/s]	Pw [bar- absoluto]	Pa [bar - absoluto]	A [m2]	Temperatura de Diseño [°C]	Temperatura de Aire de Diseño	Temperatura del Recurso [°C]	Wp	qEV	qCV	qRD	qCD	Pérdidas Totales [kJ/h]
JUEVES	0:00	24	19	6.67	0.0298	0.0061	305	25	15	40	286.731	699,622.42	91,957.50	65,465.14	3818.05185	860,863.11
	1:00	24	19	6.67	0.0298	0.0061	305	25	15	40	286.731	699,622.42	91,957.50	65,465.14	3818.05185	860,863.11
	2:00	23	18	6.39	0.0281	0.0061	305	25	15	40	258.149	629,882.61	88,125.94	65,465.14	3818.05185	787,291.74
	3:00	23	18	6.39	0.0281	0.0061	305	25	15	40	258.149	629,882.61	88,125.94	65,465.14	3818.05185	787,291.74
	4:00	23	18	6.39	0.0281	0.0061	305	25	15	40	258.149	629,882.61	88,125.94	65,465.14	3818.05185	787,291.74
	5:00	24	19	6.67	0.0298	0.0061	305	25	15	40	286.731	699,622.42	91,957.50	65,465.14	3818.05185	860,863.11
	6:00	24	19	6.67	0.0298	0.0061	305	25	15	40	286.731	699,622.42	91,957.50	65,465.14	3818.05185	860,863.11
	7:00	26	21	7.22	0.0336	0.0061	305	25	15	40	352.741	860,687.97	99,620.63	65,465.14	3818.05185	1,029,591.79
	8:00	27	22	7.50	0.0356	0.0061	305	25	15	40	389.142	949,506.18	103,452.19	65,465.14	3818.05185	1,122,241.56
	9:00	29	24	8.06	0.04	0.0061	305	25	15	40	471.883	1,151,395.23	111,115.31	65,465.14	3818.05185	1,331,793.74
	10:00	29	24	8.06	0.04	0.0061	305	25	15	40	471.883	1,151,395.23	111,115.31	65,465.14	3818.05185	1,331,793.74
	11:00	28	23	7.78	0.0378	0.0061	305	25	15	40	429.711	1,048,495.11	107,283.75	65,465.14	3818.05185	1,225,062.05
	12:00	31	26	8.61	0.0449	0.0061	305	25	15	40	568.361	1,386,800.16	118,778.44	65,465.14	3818.05185	1,574,861.79
	13:00	30	25	8.33	0.0425	0.0061	305	25	15	40	519.944	1,268,662.55	114,946.88	65,465.14	3818.05185	1,452,892.61
	14:00	29	24	8.06	0.04	0.0061	305	25	15	40	471.883	1,151,395.23	111,115.31	65,465.14	3818.05185	1,331,793.74
	15:00	29	24	8.06	0.04	0.0061	305	25	15	40	471.883	1,151,395.23	111,115.31	65,465.14	3818.05185	1,331,793.74
	16:00	27	22	7.50	0.0356	0.0061	305	25	15	40	389.142	949,506.18	103,452.19	65,465.14	3818.05185	1,122,241.56
	17:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	18:00	26	21	7.22	0.0336	0.0061	305	25	15	40	352.741	860,687.97	99,620.63	65,465.14	3818.05185	1,029,591.79
	19:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	20:00	26	21	7.22	0.0336	0.0061	305	25	15	40	352.741	860,687.97	99,620.63	65,465.14	3818.05185	1,029,591.79
	21:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	22:00	24	19	6.67	0.0298	0.0061	305	25	15	40	286.731	699,622.42	91,957.50	65,465.14	3818.05185	860,863.11
23:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53	

Fuente: Elaboración propia con datos de (Boyd & Rafferty, 1999) y (Tiempo3, s.f.)

Anexo 9. Datos para cálculo de temperaturas en sistema de climatización nuevo para regulación de temperatura en piletas de cultivo. (jueves)

Días [L - V]	Horas [h]	Pérdidas Totales [kJ/h]	Periodo [hr]	Masa Térmica		Diferencia Masa Térmica	Agua en Piletas [kg]	Caída de T. de Pileta	Caída para enfriamiento	Caída para calentamiento
				100%	80%					
JUEVES	0:00	860,863.11	1	860,863.11	688,690.49	172,172.62	366,000.00	0.112	24.89	25.11
	1:00	860,863.11	1	860,863.11	688,690.49	172,172.62	366,000.00	0.112	24.89	25.11
	2:00	787,291.74	1	787,291.74	629,833.39	157,458.35	366,000.00	0.102	24.90	25.10
	3:00	787,291.74	1	787,291.74	629,833.39	157,458.35	366,000.00	0.102	24.90	25.10
	4:00	787,291.74	1	787,291.74	629,833.39	157,458.35	366,000.00	0.102	24.90	25.10
	5:00	860,863.11	1	860,863.11	688,690.49	172,172.62	366,000.00	0.112	24.89	25.11
	6:00	860,863.11	1	860,863.11	688,690.49	172,172.62	366,000.00	0.112	24.89	25.11
	7:00	1,029,591.79	1	1,029,591.79	823,673.43	205,918.36	366,000.00	0.134	24.87	25.13
	8:00	1,122,241.56	1	1,122,241.56	897,793.24	224,448.31	366,000.00	0.146	24.85	25.15
	9:00	1,331,793.74	1	1,331,793.74	1,065,434.99	266,358.75	366,000.00	0.173	24.83	25.17
	10:00	1,331,793.74	1	1,331,793.74	1,065,434.99	266,358.75	366,000.00	0.173	24.83	25.17
	11:00	1,225,062.05	1	1,225,062.05	980,049.64	245,012.41	366,000.00	0.159	24.84	25.16
	12:00	1,574,861.79	1	1,574,861.79	1,259,889.43	314,972.36	366,000.00	0.205	24.80	25.20
	13:00	1,452,892.61	1	1,452,892.61	1,162,314.09	290,578.52	366,000.00	0.189	24.81	25.19
	14:00	1,331,793.74	1	1,331,793.74	1,065,434.99	266,358.75	366,000.00	0.173	24.83	25.17
	15:00	1,331,793.74	1	1,331,793.74	1,065,434.99	266,358.75	366,000.00	0.173	24.83	25.17
	16:00	1,122,241.56	1	1,122,241.56	897,793.24	224,448.31	366,000.00	0.146	24.85	25.15
	17:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	18:00	1,029,591.79	1	1,029,591.79	823,673.43	205,918.36	366,000.00	0.134	24.87	25.13
	19:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	20:00	1,029,591.79	1	1,029,591.79	823,673.43	205,918.36	366,000.00	0.134	24.87	25.13
	21:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	22:00	860,863.11	1	860,863.11	688,690.49	172,172.62	366,000.00	0.112	24.89	25.11
23:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12	

Fuente: Elaboración propia con datos de (Boyd & Rafferty, 1999) y (Tiempo3, s.f.)

Anexo 10. Datos para cálculo de temperaturas en sistema de climatización nuevo para regulación de temperatura en piletas de cultivo. (viernes)

Días [L - V]	Horas [h]	Temperatura Aire [°C]	Temperatura Agua [°C]	Viento [m/s]	Pw [bar-absoluto]	Pa [bar - absoluto]	A [m2]	Temperatura de Diseño [°C]	Temperatura de Aire de Diseño	Temperatura del Recurso [°C]	Wp	qEV	qCV	qRD	qCD	Pérdidas Totales [kJ/h]
VIERNES	0:00	24	19	6.67	0.0298	0.0061	305	25	15	40	286.731	699,622.42	91,957.50	65,465.14	3818.05185	860,863.11
	1:00	24	19	6.67	0.0298	0.0061	305	25	15	40	286.731	699,622.42	91,957.50	65,465.14	3818.05185	860,863.11
	2:00	24	19	6.67	0.0298	0.0061	305	25	15	40	286.731	699,622.42	91,957.50	65,465.14	3818.05185	860,863.11
	3:00	23	18	6.39	0.0281	0.0061	305	25	15	40	258.149	629,882.61	88,125.94	65,465.14	3818.05185	787,291.74
	4:00	23	18	6.39	0.0281	0.0061	305	25	15	40	258.149	629,882.61	88,125.94	65,465.14	3818.05185	787,291.74
	5:00	23	18	6.39	0.0281	0.0061	305	25	15	40	258.149	629,882.61	88,125.94	65,465.14	3818.05185	787,291.74
	6:00	23	18	6.39	0.0281	0.0061	305	25	15	40	258.149	629,882.61	88,125.94	65,465.14	3818.05185	787,291.74
	7:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	8:00	27	22	7.50	0.0356	0.0061	305	25	15	40	389.142	949,506.18	103,452.19	65,465.14	3818.05185	1,122,241.56
	9:00	30	25	8.33	0.0425	0.0061	305	25	15	40	519.944	1,268,662.55	114,946.88	65,465.14	3818.05185	1,452,892.61
	10:00	30	25	8.33	0.0425	0.0061	305	25	15	40	519.944	1,268,662.55	114,946.88	65,465.14	3818.05185	1,452,892.61
	11:00	31	26	8.61	0.0449	0.0061	305	25	15	40	568.361	1,386,800.16	118,778.44	65,465.14	3818.05185	1,574,861.79
	12:00	31	26	8.61	0.0449	0.0061	305	25	15	40	568.361	1,386,800.16	118,778.44	65,465.14	3818.05185	1,574,861.79
	13:00	31	26	8.61	0.0449	0.0061	305	25	15	40	568.361	1,386,800.16	118,778.44	65,465.14	3818.05185	1,574,861.79
	14:00	32	27	8.89	0.0476	0.0061	305	25	15	40	623.030	1,520,193.88	122,610.00	65,465.14	3818.05185	1,712,087.07
	15:00	30	25	8.33	0.0425	0.0061	305	25	15	40	519.944	1,268,662.55	114,946.88	65,465.14	3818.05185	1,452,892.61
	16:00	28	23	7.78	0.0378	0.0061	305	25	15	40	429.711	1,048,495.11	107,283.75	65,465.14	3818.05185	1,225,062.05
	17:00	28	23	7.78	0.0378	0.0061	305	25	15	40	429.711	1,048,495.11	107,283.75	65,465.14	3818.05185	1,225,062.05
	18:00	26	21	7.22	0.0336	0.0061	305	25	15	40	352.741	860,687.97	99,620.63	65,465.14	3818.05185	1,029,591.79
	19:00	24	19	6.67	0.0298	0.0061	305	25	15	40	286.731	699,622.42	91,957.50	65,465.14	3818.05185	860,863.11
	20:00	24	19	6.67	0.0298	0.0061	305	25	15	40	286.731	699,622.42	91,957.50	65,465.14	3818.05185	860,863.11
	21:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	22:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
	23:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53
0:00	25	20	6.94	0.0317	0.0061	305	25	15	40	319.044	778,466.28	95,789.06	65,465.14	3818.05185	943,538.53	

Fuente: Elaboración propia con datos de (Boyd & Rafferty, 1999) y (Tiempo3, s.f.)

Anexo 11. Datos para cálculo de temperaturas en sistema de climatización nuevo para regulación de temperatura en piletas de cultivo. (viernes)

Días [L - V]	Horas [h]	Pérdidas Totales [kJ/h]	Periodo [hr]	100%	80%	Diferencia Masa Térmica	Agua en Piletas [kg]	Caída de T. de Pileta	Caída para enfriamiento	Caída para calentamiento
				Masa Térmica						
VIERNES	0:00	860,863.11	1	860,863.11	688,690.49	172,172.62	366,000.00	0.112	24.89	25.11
	1:00	860,863.11	1	860,863.11	688,690.49	172,172.62	366,000.00	0.112	24.89	25.11
	2:00	860,863.11	1	860,863.11	688,690.49	172,172.62	366,000.00	0.112	24.89	25.11
	3:00	787,291.74	1	787,291.74	629,833.39	157,458.35	366,000.00	0.102	24.90	25.10
	4:00	787,291.74	1	787,291.74	629,833.39	157,458.35	366,000.00	0.102	24.90	25.10
	5:00	787,291.74	1	787,291.74	629,833.39	157,458.35	366,000.00	0.102	24.90	25.10
	6:00	787,291.74	1	787,291.74	629,833.39	157,458.35	366,000.00	0.102	24.90	25.10
	7:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	8:00	1,122,241.56	1	1,122,241.56	897,793.24	224,448.31	366,000.00	0.146	24.85	25.15
	9:00	1,452,892.61	1	1,452,892.61	1,162,314.09	290,578.52	366,000.00	0.189	24.81	25.19
	10:00	1,452,892.61	1	1,452,892.61	1,162,314.09	290,578.52	366,000.00	0.189	24.81	25.19
	11:00	1,574,861.79	1	1,574,861.79	1,259,889.43	314,972.36	366,000.00	0.205	24.80	25.20
	12:00	1,574,861.79	1	1,574,861.79	1,259,889.43	314,972.36	366,000.00	0.205	24.80	25.20
	13:00	1,574,861.79	1	1,574,861.79	1,259,889.43	314,972.36	366,000.00	0.205	24.80	25.20
	14:00	1,712,087.07	1	1,712,087.07	1,369,669.66	342,417.41	366,000.00	0.223	24.78	25.22
	15:00	1,452,892.61	1	1,452,892.61	1,162,314.09	290,578.52	366,000.00	0.189	24.81	25.19
	16:00	1,225,062.05	1	1,225,062.05	980,049.64	245,012.41	366,000.00	0.159	24.84	25.16
	17:00	1,225,062.05	1	1,225,062.05	980,049.64	245,012.41	366,000.00	0.159	24.84	25.16
	18:00	1,029,591.79	1	1,029,591.79	823,673.43	205,918.36	366,000.00	0.134	24.87	25.13
	19:00	860,863.11	1	860,863.11	688,690.49	172,172.62	366,000.00	0.112	24.89	25.11
	20:00	860,863.11	1	860,863.11	688,690.49	172,172.62	366,000.00	0.112	24.89	25.11
	21:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	22:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
	23:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12
0:00	943,538.53	1	943,538.53	754,830.82	188,707.71	366,000.00	0.123	24.88	25.12	

Fuente: Elaboración propia con datos de (Boyd & Rafferty, 1999) y (Tiempo3, s.f.)