



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE  
ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA CON ENERGÍA ELÉCTRICA CONVENCIONAL PARA  
EL PROCESO DE INCUBACIÓN DE HUEVOS DE AVES**

**Dulcemaría Nataly Dubón y Dubón**

Asesorado por el Msc. Ing. Pedro Julio García Chacón

Guatemala, agosto de 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE  
ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA CON ENERGÍA ELÉCTRICA CONVENCIONAL PARA  
EL PROCESO DE INCUBACIÓN DE HUEVOS DE AVES**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**DULCEMARÍA NATALY DUBÓN Y DUBÓN**  
ASESORADO POR EL MSC. ING. PEDRO JULIO GARCÍA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA QUÍMICA**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2013



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Otto Raúl de León de Paz
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

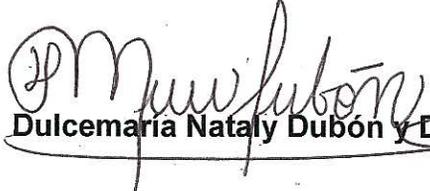


## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA CON ENERGÍA ELÉCTRICA CONVENCIONAL PARA EL PROCESO DE INCUBACIÓN DE HUEVOS DE AVES**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudio de Posgrados, con fecha 22 de julio de 2013.

  
**Dulcemaria Nataly Dubón y Dubón**





Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Teléfono 2418-9142

070143

ADSE-MEAPP-0019-2013

Guatemala, 16 de julio de 2013.

Director:  
Víctor Manuel Monzón Valdez  
Escuela de Ingeniería Química  
Presente.

Estimado Director:

Reciba un atento y cordial saludo de la Escuela de Estudios de Postgrado. El propósito de la presente es para informarle que se ha revisado los cursos aprobados del primer año y el Diseño de Investigación de la estudiante **Dulcemaria Nataly Dubón y Dubón** con carné número **2002-12643**, quien opto la modalidad del "PROCESO DE GRADUACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA OPCIÓN ESTUDIOS DE POSTGRADO". Previo a culminar sus estudios en la **Maestría de Energía y Ambiente**.

Y si habiendo cumplido y aprobado con los requisitos establecidos en el normativo de este Proceso de Graduación en el Punto 6.2, aprobado por la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería en el Punto Decimo, Inciso 10.2, del Acta 28-2011 de fecha 19 de septiembre de 2011, firmo y sello la presente para el trámite correspondiente de graduación de Pregrado.

Sin otro particular, atentamente,

"Id y enseñad a todos"

Dr. Ing. Pedro Julio García Chacón  
Asesor (a)

**Pedro Julio Garcia Chacon**  
**Ingeniero Agronomo**  
**Colegiado No. 883**

MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque.  
Coordinador de Área  
Desarrollo social y energético

Ing. Juan C. Fuentes M.  
M.Sc. Hidrología  
Colegiado No. 2,504

Dra. Mayra Virginia Castillo Montes  
Directora  
Escuela de Estudios de Postgrado



Cc: archivo/la

Doctorado: Sostenibilidad y Cambio Climático. Programas de Maestrías: Ingeniería Vial, Gestión Industrial, Estructuras, Energía y Ambiente Ingeniería Geotécnica, Ingeniería para el Desarrollo Municipal, Tecnologías de la Información y la Comunicación, Ingeniería de Mantenimiento. Especializaciones: Gestión del Talento Humano, Mercados Eléctricos, Investigación Científica, Educación virtual para el nivel superior, Administración y Mantenimiento Hospitalario, Neuropsicología y Neurociencia aplicada a la Industria, Enseñanza de la Matemática en el nivel superior, Estadística, Seguros y ciencias actuariales, Sistemas de Información Geográfica, Sistemas de gestión de calidad, Explotación Minera, Catastro.





El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el informe de la Dirección de Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la estudiante, **DULCEMARÍA NATALY DUBÓN Y DUBÓN**, ha optado por la modalidad de estudios de postgrado para el proceso de graduación de pregrado, que para ello el estudiante ha llenado los requisitos establecidos en el normativo respectivo y luego de conocer el dictamen de los miembros del tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el **Informe del Diseño de Investigación del Programa de Maestría en ENERGÍA Y AMBIENTE** titulado **"DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA CON ENERGÍA ELÉCTRICA CONVENCIONAL PARA EL PROCESO DE INCUBACIÓN DE HUEVOS DE AVES"**.  
Procede a **VALIDAR** el referido informe, ya que reúne la coherencia metodológica requerida por la Escuela.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, agosto 2013

Cc: Archivo  
Copia: Colegio de Ingenieros Químicos de Guatemala  
VMMV/ale



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 546 .2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO DE UN SISTEMA HÍBRIDO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAÍCA CON ENERGÍA ELÉCTRICA CONVENCIONAL PARA EL PROCESO DE INCUBACIÓN DE HUEVOS DE AVES**, presentado por la estudiante universitaria: **Dulcemaría Nataly Dubón y Dubón**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 7 de agosto de 2013

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme la vida y guiarme en el transcurso de mi vida para ser la persona que soy.
<b>Mis padres</b>	Hugo Dubón Gómez y Berta Lidia Dubón García. Su amor, esfuerzo y dedicación serán siempre mi inspiración.
<b>Mi esposo</b>	Christian Alberto Alegría Méndez. Por ser parte de mi vida y acompañarme en este largo recorrido, comparto este éxito con él.
<b>Mis hijos</b>	Rodrigo y Gabriel Alegría Dubón. Por ser los ángeles de inspiración en mi vida.
<b>Mis hermanos</b>	Hugo, Alex y Lily Dubón, por ser mis compañeros a lo largo de mis años de formación.
<b>Mis abuelos</b>	Isauro Dubón, Raquel García, Eugenio Dubón y Paula Gómez. Por ser los pedestales de mi familia.
<b>Mi familia</b>	Por ser siempre un apoyo.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por ser Él quien me guío hasta este punto de mi vida, sin Él nada hubiera sido posible.
<b>La Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser la institución en donde me formé como profesional.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por proporcionarme todas las herramientas necesarias para formarme como profesional, en especial a la escuela de Ingeniería Química.
<b>Mis padres</b>	Por todo su apoyo y amor incondicional.
<b>Mi esposo</b>	Por todo su amor y apoyo, gracias por ayudarme a ser quien soy.
<b>Mis hijos</b>	Por la paciencia y comprensión a lo largo de este proceso.
<b>Mis catedráticos</b>	Por compartir sus conocimientos y fomentar en mí el deseo de superación.
<b>Mis amigos</b>	Por acompañarme y compartir conmigo los éxitos y fracasos.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. ANTECEDENTES .....	3
3. OBJETIVOS .....	5
4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA .....	9
6. ALCANCES DEL TEMA .....	11
7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL .....	13
7.1. Energía.....	13
7.1.1. Formas de energía.....	13
7.1.2. Transformación de una forma de energía a otra ....	13
7.1.3. Fuentes de energía.....	14
7.1.4. Combustibles fósiles .....	15
7.1.5. Energías renovables .....	15
7.1.6. Energía solar .....	16

7.1.6.1.	Radiación solar .....	17
7.1.6.2.	Medida de la radiación solar .....	18
7.1.6.3.	Mecanismo de transporte de la radiación solar.....	19
7.1.6.4.	Captación de la energía solar .....	19
7.1.6.5.	Ubicación de los captadores de energía solar .	20
7.2.	Desarrollo sostenible .....	20
7.3.	Estado ambiental de Guatemala .....	22
7.4.	Impacto de las emisiones de CO <sub>2</sub> al ambiente .....	24
7.5.	Huella de carbono .....	27
7.6.	Descripción del uso de energías renovables en la agricultura .....	28
7.6.1.	Ámbitos de aplicación.....	29
7.6.2.	Ventajas económicas, sociales y ambientales del uso de energías renovables .....	30
7.7.	Descripción del proceso de incubación de huevos de aves.....	31
7.7.1.	Etapas .....	31
7.7.2.	Impactos ambientales.....	33
8.	HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN .....	35
9.	CONTENIDO PROPUESTO DEL INFORME FINAL .....	37
10.	MÉTODOS Y TÉCNICAS .....	39
11.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	49
12.	RECURSOS NECESARIOS .....	51

13. BIBLIOGRAFÍA .....	53
------------------------	----



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Mapa de potencial solar para Guatemala.....	18
2.	Producción y concentraciones de dióxido de carbono .....	25
3.	Desarrollo embrionario en huevos de gallina .....	32

### TABLAS

I.	Transformación de una fuente de energía a otra.....	14
II.	Ventajas y desventajas del uso de energía solar.....	17
III.	Contaminación del aire y cambio climático .....	23
IV.	Aplicación de la energía solar en la agricultura .....	30
V.	Esquema de operaciones en el proceso de incubación de huevos de gallina .....	33
VI.	Matriz de consistencia .....	36
VII.	Datos obtenidos sobre la huella de carbono derivada del proceso de incubación de huevos de aves.....	41
VIII.	Datos obtenidos sobre el consumo energético del proceso de incubación de huevos de aves.....	42
IX.	Toma de datos diarios del consumo energético del proceso de incubación, según la fuente energética. ....	43
X.	Recursos .....	51



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>SO<sub>2</sub></b>	Dióxido de azufre
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>NO<sub>2</sub></b>	Dióxido de nitrógeno
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero
<b>gCO<sub>2</sub>/Kwh</b>	Gramos de dióxido de carbono por kilowatts hora
<b>KWH</b>	Kilowatts hora de energía eléctrica
<b>mA/cm<sup>2</sup></b>	Miliamperios por centímetro cuadrado
<b>CO</b>	Monóxido de carbono
<b>%</b>	Porcentaje
<b>°C</b>	Temperatura en grados Celsius
<b>tCO<sub>2</sub>/Kwh</b>	Toneladas de dióxido de carbono por kilowatts hora
<b>W/m<sup>2</sup></b>	Watts por metro cuadrado



## **GLOSARIO**

<b>Cambio climático</b>	Efecto que se deriva de la actividad económica de todos los países, debido al consumo energético ligado a dicha actividad.
<b>Combustibles fósiles</b>	Fuente de energía no renovable, producto de la descomposición química de materia orgánica (plancton y fitoplancton). Entre los combustibles fósiles figuran el petróleo, gas natural y carbón.
<b>Desarrollo sostenible</b>	Uso consciente y medido de los recursos naturales, teniendo ante todo el factor ambiental, evaluando si la actividad que se realice se amigable o no con el medio ambiente.
<b>Energía</b>	Encargada de generar movimiento, acción, transformación, gracias a la energía se pueden realizar trabajos.
<b>Energía no renovable</b>	Son las fuentes de energía que de seguirse utilizando se agotarán las reservas.
<b>Energía renovable</b>	Son aquellas fuentes de energía que pueden seguirse utilizando sin agotar las reservas.

<b>Energía solar</b>	Es la energía proveniente del Sol, considerada una fuente renovable de energía.
<b>Energía solar fotovoltaica</b>	Energía proveniente del Sol en forma de fotones que puede ser transformada en energía eléctrica.
<b>Gases de efecto invernadero</b>	Gases nocivos para el planeta, causantes del aumento de la temperatura media global y derivado de la quema de combustibles fósiles.
<b>Huella de carbono</b>	Es un recuento de las emisiones de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ), que son liberadas a la atmósfera debido a las actividades cotidianas o a la comercialización de un producto.
<b>Incubación</b>	Proceso de gestión artificial de huevos de aves.
<b>Panel solar</b>	Transforman la energía solar captada en energía eléctrica o térmica.

## RESUMEN

En la industria avícola, una de las principales actividades es la incubación de huevos de aves, dicha actividad requiere de un suministro energético constante para poder llevarse a cabo, esto debido a que se debe mantener la temperatura a 37 °C por 21 días ininterrumpidos. El consumo energético convencional se basa en la utilización de energía eléctrica o bien de la quema de combustibles fósiles, ambos suministros energéticos generan emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, además de ser fuentes de energía no renovable.

Guatemala, al igual que el resto del mundo, trata de diversificar su matriz energética para lograr un desarrollo sostenible, para lograrlo se necesita hacer incursión en el uso de energías renovables. En el presente diseño de trabajo de investigación se propone el uso de energía solar fotovoltaica, la cual es una fuente energética renovable y limpia, para poder suministrar energía al proceso de incubación de huevos de aves en una avícola que se abastece de energía eléctrica convencional.

En primer lugar, se llevará a cabo el proceso de incubación de huevos de aves de manera convencional, a lo que se le llamará grupo control, utilizando energía eléctrica, llevando un registro de la cantidad de horas en que se lleva a cabo el proceso y cuantificando los kWh consumidos; luego se procederá a la adaptación de un panel solar a la incubadora para poder proveerla de energía solar fotovoltaica, con lo cual se llevará a cabo el proceso de incubación de huevos de aves suministrando al proceso de energía solar fotovoltaica en las horas de radiación solar y de energía eléctrica convencional en las horas de

oscuridad, a lo que se le llamará grupo experimental, llevando un registro de la cantidad de horas en que el proceso se suministra con energía solar fotovoltaica y la cantidad de horas en que el proceso se suministra con energía eléctrica convencional.

Con los datos recabados tanto en el grupo de control, como en el grupo experimental, se calculará la cantidad de gCO<sub>2</sub>/kWh emitidos a la atmósfera en ambos procesos y se compararán los datos para determinar cuál de los grupos emite más CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

De ser factible el suministro de energía solar fotovoltaica al proceso de incubación de huevos de aves, se calculará la reducción de la huella de carbono en el proceso y el beneficio económico que esto conllevaría.

# 1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se realiza con base en las líneas de investigación de la Maestría en Energía y Medio Ambiente de la Escuela de Posgrado, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala, dentro de la línea de investigación de Diseño y Operación de Proyectos Solares y Eólicos. Ya que el estudio se basa en el desarrollo de un sistema híbrido de energía solar fotovoltaica con energía eléctrica convencional para el proceso de incubación de huevos de aves.

En el proceso de incubación de huevos de aves se han tenido pérdidas de camadas debido al problema que se afronta por la ineficiencia en el servicio eléctrico, pues dicho proceso necesita de un suministro energético intermitente, además cuando se tienen problemas de falta de energía eléctrica, se recurre al uso de combustibles fósiles para la generación eléctrica, elevando aún más la huella de carbono del proceso.

Se adaptará energía solar fotovoltaica captada por un panel solar a una incubadora de huevos de gallina que funciona por medio de energía eléctrica convencional, para luego realizar una comparación de la eficiencia energética y económica del proceso de incubación de huevos de aves, utilizando energía eléctrica convencional conjuntamente con combustibles fósiles, y comparándola con la utilización de energía solar fotovoltaica con energía eléctrica convencional.

Esto con el objetivo de reducir la huella de carbono en la incubación de huevos de aves, utilizando energía solar en combinación con energía eléctrica convencional, además de evaluar la factibilidad económica del proyecto.

El informe final de investigación se presenta en capítulos, el primer capítulo detalla los antecedentes de investigaciones previas relacionadas al tema de energía solar en incubación de huevos de aves; el segundo capítulo describe la metodología empleada en el desarrollo de la investigación; en el tercer capítulo se presenta el marco teórico y conceptual de la temática de la investigación; en el cuarto capítulo se analizan e interpretan los datos obtenidos de la experimentación de la propuesta de investigación; en el capítulo cinco se detalla la propuesta de aplicación de energía solar a la incubación de huevos de aves, para finalizar con las conclusiones, recomendaciones, referencias y anexos.

## 2. ANTECEDENTES

Guatemala es un país eminentemente agrícola, entre las actividades agrarias se encuentra la avicultura, que en las últimas décadas ha crecido grandemente, para 1999 la producción avícola alcanzó las 301 000,0 miles de libras, manteniendo un crecimiento sostenido interanual entre el 7 y 9 % (Ministerio de Agricultura, 2011). La carne de pollo constituye hoy día una de las principales fuentes alimenticias y comerciales.

Biomass Users (2002), publica el Manual Sobre Energía Renovable, Fortalecimiento de la Capacidad en Energía Renovable para América Central, en donde se especifica que es la energía solar fotovoltaica y su funcionamiento.

Flores, Nelson (2011). Manual de Tecnologías Apropriadas, El Salvador, presentado por la Fundación para el Desarrollo Socioeconómico y Restauración Ambiental (FUNDESYRAM) y el apoyo de la Cooperación Austriaca para el desarrollo. Dicho manual es una recopilación bibliográfica de tecnologías apropiadas evidenciadas a nivel local y de Latinoamérica, en donde una de las tecnologías es la elaboración de una incubadora casera, siendo la innovación el uso de madera reciclada para su elaboración.

Gallardo Villanueva, Miguel René; Campos Osorio, María Elena; Girón Cardos, Nubia; Días Ocampo, Miguel Ángel; (2007). En el 6to. Congreso Nacional de Mecatrónica, llevado a cabo en noviembre del 2007, en el Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, México, se presenta la Automatización de una Incubadora Solar, donde el resultado de la investigación los conduce a un prototipo de incubadora fotovoltaica.

Hidalgo Dittel, Nancy. (2009). San José Costa Rica, se realiza la Guía Avícola: Instrumento de Gestión Ambiental con la participación de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD), en donde, se manifiesta lo indispensable de una interacción adecuada entre la conservación del ambiente, la aplicación de tecnologías limpias, el cumplimiento de la normativa existente y la generación de ingresos distribuidos solidariamente.

Van Campen, B.; Guidi, D.; Best, G.; (2000). Documento de Trabajo Sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales No. 3, realizado por la FAO (Food and Agriculture Organization) en el 2000, contribuye a conocer mejor el posible efecto y limitaciones de los sistemas fotovoltaicos en la agricultura y desarrollo rural sostenibles, sobre todo en actividades que generan ingresos.

Oviedo, Edgar; (2009). Ahorro energético en granjas avícolas. En este documento el profesor asistente y especialista de extensión, del Departamento de Ciencia Avícola de la Universidad de Carolina del Norte, Edgar Oviedo, hace una revisión de las principales opciones de acuerdo al orden de importancia en el consumo total de energía y el periodo necesario para obtener el retorno de la inversión.

Rubio Picó, Juan José; (1979). Aplicación de la energía solar en incubación. En este artículo de la revista Selecciones Avícolas en España, evalúa el ahorro de electricidad en una incubadora convencional al colocarle placas captadoras de energía solar.

### **3. OBJETIVOS**

#### **General**

Desarrollar un sistema híbrido de energía solar fotovoltaica con energía eléctrica convencional para el proceso de incubación de huevos de aves.

#### **Específicos**

1. Adaptar energía solar térmica y fotovoltaica a una incubadora que funciona a base de energía eléctrica convencional.
2. Establecer si es viable o no utilizar energía solar fotovoltaica en el proceso de incubación de huevos de aves.
3. Reducir la huella de carbono en la incubación de huevos de aves, utilizando energía solar fotovoltaica en combinación con energía eléctrica convencional.
4. Determinar la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, al sustituir el uso de combustibles fósiles para la generación de energía, por la utilización de energía solar en el proceso de incubación de huevos de aves.
5. Evaluar la rentabilidad económica y eficiencia energética del uso de energía solar térmica y fotovoltaica en el proceso de incubación de aves.



#### **4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

Guatemala, es un país eminentemente agrícola que no se queda atrás en cuanto a la diversificación de su matriz energética, recibiendo ayuda extranjera para poder poner en marcha proyectos de energías renovables.

El presente estudio incursiona en el uso de energía solar fotovoltaica, que es la fuente energética primaria por excelencia, es abundante, gratis, y está presente en todos los países del mundo, dicho estudio se basa en la línea de investigación de Diseño y Operación de Proyectos Solares y Eólicos de la Maestría en Energía y Medio Ambiente de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

La incubación de huevos de aves es uno de los procesos del sector agrario que mayor consumo energético representa, con un consumo del 62 % de energía del total necesario para la producción de carne de aves (Ministerio de Agricultura, 2011), esto debido a que se debe tener un suministro energético constante e intermitente durante 21 días las 24 horas del día, de lo contrario se tendrían pérdidas al final del proceso.

En Guatemala, el área rural a pesar de contar con servicio eléctrico, éste es ineficiente, habiendo días en los cuales no hay servicio por algunas horas o en ocasiones con una suspensión del servicio durante días completos; para los productores avícolas que utilizan incubación artificial en sus procesos no es rentable estos inconvenientes, pues derivado de ellos se tienen pérdidas parciales y en algunos casos totales de sus camadas. Cuando se presenta la situación de ausencia de energía eléctrica los productores avícolas recurren a la

utilización de plantas generadoras de electricidad que funcionan a base de combustibles fósiles para evitar pérdidas, lo que hace económicamente menos rentable el proceso y a la vez se producen emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Una alternativa viable y ecológicamente sostenible es la utilización de energía solar fotovoltaica para suplir las necesidades energéticas en el proceso de incubación de huevos de aves, ya que además de poder ser utilizada en los períodos en los que haya ausencia de energía eléctrica convencional, podría bien ser un sustituto mayoritario para suplir las necesidades energéticas de dicho proceso, haciendo el proceso de incubación de huevos de aves más rentable económicamente y ecológicamente amigable con el ambiente debido a que se tendrá una reducción de la huella de carbón del mismo.

Además el ámbito en el que se aplica esta energía renovable, es el más influyente en la economía nacional, pues Guatemala depende en un 70 % de la actividad agraria. La producción avícola representa un sustento alimentario y económico para Guatemala.

## 5. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los pequeños productores avícolas se ven en la necesidad de utilizar la incubación artificial para optimizar sus procesos, por lo que adquieren incubadoras eléctricas, sin percatarse antes de los insumos energéticos necesarios para la correcta operación de los equipos.

El servicio eléctrico en Guatemala es ineficiente e irregular en el área rural, que es donde se concentran la mayoría de pequeñas granjas, dando así la problemática de pérdida de camadas, ya que el proceso de incubación requiere de un abastecimiento de energía continuo.

Derivado de ello, los pequeños productores toman como alternativa la utilización de pequeñas plantas generadoras de energía, las cuales funcionan a base de la utilización de combustibles fósiles para suplir sus necesidades energéticas.

Todo esto conlleva a una elevación en los costos de operación y a un impacto ambiental negativo, por las emisiones de CO<sub>2</sub> consecuentes del uso de combustibles fósiles.

De donde surgen las siguientes preguntas de investigación:

1. ¿El desarrollo de un sistema complementario para la incubación de huevos de aves que funciona a base de energía solar fotovoltaica puede ser una alternativa para reducir la huella de carbono y las ineficiencias en el servicio eléctrico?

2. ¿Será técnicamente factible el funcionamiento de una incubadora que funciona con energía eléctrica convencional al adaptarle como fuente energética energía solar fotovoltaica?
3. ¿La energía solar fotovoltaica proporcionara los insumos energéticos necesarios en el proceso de incubación de huevos de aves?
4. ¿El uso de energía solar fotovoltaica en la incubación de huevos de aves reducirá la huella de carbono del proceso?
5. ¿Cuánto CO<sub>2</sub> se dejará de emitir a la atmósfera al utilizar energía solar fotovoltaica en la incubación de huevos de ave?
6. ¿Se tendrán beneficios económicos y energéticos al utilizar energía solar fotovoltaica en la incubación de huevos de aves?

## 6. ALCANCES DEL TEMA

Los alcances del presente estudio de investigación están enfocados específicamente a nivel nacional, enfocándose principalmente en la utilización de energía solar fotovoltaica en combinación de energía eléctrica convencional en el proceso de incubación de huevos de aves, con el fin de convertir éste proceso de la avicultura en un proceso auto sostenible y amigable al ambiente por el hecho de utilizar una energía renovable como el sol.

El presente estudio es de tipo correlacional, pues se pretende establecer qué cantidad de CO<sub>2</sub> se libera en el proceso de incubación de huevos aves en relación al tipo de fuente energética utilizada, ya sea energía eléctrica convencional únicamente, o una combinación de energía solar fotovoltaica con energía eléctrica convencional.

El estudio busca favorecer a las siguientes áreas:

- Granjas avícolas nacionales.
- Proyectos de investigación sostenibles de implementación de energía solar.
- Estudiantes de la Maestría en Energía y Medio Ambiente de la Escuela de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

Además de tener como objetivo principal el utilizar energías renovables en procesos de producción que utilizan energías convencionales para lograr alcanzar un desarrollo sostenible.



## **7. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **7.1. Energía**

La energía es la encargada de generar movimiento, acción, transformación, gracias a la energía se pueden realizar trabajos. El índice de desarrollo de los países está directamente relacionado con la cantidad de energía que consumen los países, es decir, que los países que generan, consumen y distribuyen mayor cantidad de energía, son los países más desarrollados. El índice de desarrollo humano se mide en base a varios parámetros, y uno de los más influyentes es la distribución de energía (de Juana Sardón, 2003).

#### **7.1.1. Formas de energía**

Existen diferentes manifestaciones de energía utilizables en distintas áreas de producción, entre las formas de energía están: energía mecánica, térmica, química, eléctrica y luminosa (de Juana Sardón, 2003).

#### **7.1.2. Transformación de una forma de energía a otra**

Según la primera Ley de la Termodinámica, la energía no se crea ni se destruye, simplemente se transforma, por ello, la energía puede transformarse de una forma de energía a otra por medio de diferentes procesos (de Juana Sardón, 2003).

Las transformaciones de una forma de energía a otra se resumen en la siguiente tabla:

Tabla I. **Transformación de una fuente de energía a otra**

Tipo de energía	Mecánica	Térmica	Química	Eléctrica	Luminosa
Mecánica	Molino de viento o agua	Rozamiento		Turbina de agua o viento	Rozamiento
Térmica	Motor termodinámico	Intercambiador de calor	Reacción endotérmica	Termopar	Termoluminiscencia
Química	Motor de combustión	Alimentos y combustibles	Metabolismo	Batería	Bioluminiscencia
Eléctrica	Motor eléctrico	Resistencias eléctricas	Electrólisis	Transformador	Bombilla
Luminosa	Dispositivo fotoeléctrico	Colector térmico	Fotosíntesis	Célula fotovoltaica	Fluorescencia

Fuente: (de Juana Sardón, 2003).

### 7.1.3. Fuentes de energía

La energía proviene de diferentes fuentes. Entre las fuentes de energía se encuentran las fuentes primarias y secundarias. Las fuentes primarias son aquellas que proveen de energía que no requiere transformación para su utilización, y las fuentes secundarias son aquellas que requieren de algún tipo de proceso de tratamiento a la fuente primaria para obtener energía. (Nandwani, 2005).

Así también, las fuentes de energía son renovables y no renovables. Las fuentes de energía renovables son aquellas que puede seguirse utilizando sin agotar las reservas y las fuentes de energía no renovables son las que de

seguirse utilizando se agotarán las reservas (Grupo de Nuevas Actividades Profesionales, 2002).

#### **7.1.4. Combustibles fósiles**

Entre las fuentes de energía no renovables más utilizadas se encuentran los combustibles fósiles. Estos son producto de la descomposición química de materia orgánica (plancton y fitoplancton). Entre los combustibles fósiles figuran el petróleo, gas natural y carbón. Los combustibles fósiles son una fuente energética segura y eficaz; sin embargo, tiene muchas desventajas, entre las que figuran: emisiones de CO, CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, entre otros gases de efecto invernadero (GEI) que son nocivos para el planeta, pues son los causantes del aumento de la temperatura media global (FUNDESA, 2011).

En la actualidad los combustibles fósiles constituyen la fuente energética más utilizada a nivel mundial; sin embargo, debido a que es una fuente de energía no renovable, en algún momento se agotarán las reservas, por ello la importancia de la búsqueda de nuevas alternativas energéticas.

#### **7.1.5. Energías renovables**

Como bien indica (de Juana Sardón, 2003), “las energías renovables son fuentes que producen energía constantemente, de modo que la energía consumida se renueva constantemente y, en consecuencia, su utilización es ilimitada”.

### **7.1.6. Energía solar**

La energía solar es una energía renovable; debido a la creciente importancia de cuidar el medio ambiente, la economía y asegurar el suministro de energía, se hace necesario, el desarrollar nuevas fuentes energéticas fiables y amigables con el ambiente, es decir, se buscan energías limpias, verdes.

Desde los años 70's a la fecha, se ha introducido la utilización de fuentes energéticas renovables como el viento, biomasa, hidroeléctricas, centrales térmicas, etc. Pero sobre todas éstas fuentes de energía, la energía solar presenta grandes ventajas económicas, sociales y estructurales.

La energía solar es fácilmente aceptada por las poblaciones, que en algunos casos presentan resistencia a la introducción de tecnologías de energías renovables. No es contaminante como el petróleo o el carbón, no produce desechos radiactivos como las centrales nucleares, ninguna institución establece el precio, es abundante y gratuita (Nandwani, 2005).

En la siguiente tabla se presentan ventajas y desventajas de la energía solar:

Tabla II. **Ventajas y desventajas del uso de energía solar**

<b>VENTAJAS</b>	<b>INCONVENIENTES</b>
Limpia, renovable, infinita, silenciosa	Gran inversión inicial
Retribuida económicamente la producción para venta a red	Difícil almacenamiento
Subvenciones	Proceso de fabricación de módulos complejo y caro
Corto <i>pay-back</i> de la energía	No competitiva con otras energías en la actualidad
Sin partes móviles y modular	Producción variable según climatología y época del año

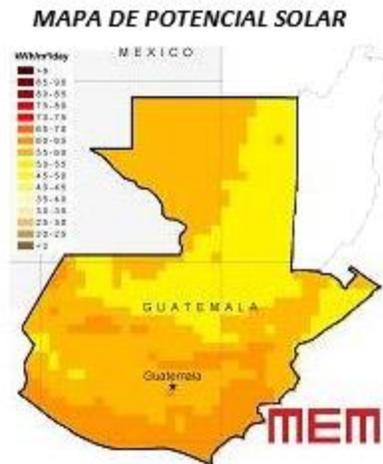
Fuente: (Grupo de Nuevas Actividades Profesionales, 2002).

#### **7.1.6.1. Radiación solar**

El sol es la fuente primaria de energía y la más importante, pues sin el sol la humanidad y mundo que se conoce no existiría. Anualmente el sol provee a la tierra de  $3 \times 10^{17}$  kwh, equivalentes a 4 000 veces el consumo del mundo entero en un año (Nandwani, 2005).

En Guatemala, para el 2012 el Ministerio de Energía y Minas, con la ayuda del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, se desarrolló el proyecto Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA), para con ello promover el uso de energía solar y eólica (Ministerio de Energía y Minas (MEM), 2012). Resultado de ello es el siguiente mapa de potencial solar:

Figura 1. **Mapa de potencial solar para Guatemala**



Fuente: (Ministerio de Energía y Minas (MEM), 2012).

### 7.1.6.2. **Medida de la radiación solar**

La radiación solar se puede medir por lapsos de tiempo prolongado, ya sea por día, mes o año, aunque un valor confiable también puede ser un dato instantáneo. La radiación solar se mide luego de atravesar la atmósfera en  $w.m^2$  (de Juana Sardón, 2003).

La radiación solar, es la radiación captada directamente sobre la superficie terrestre desde cualquier ángulo, y la irradiancia solar es la captada por la reflexión horizontal de la radiación solar al chocar con una superficie.

### **7.1.6.3. Mecanismo de transporte de la radiación solar**

La energía solar viaja a través de ondas electromagnéticas. Si se habla de la energía solar térmica, los mecanismos utilizados son la convección, conducción y radiación (de Juana Sardón, 2003).

### **7.1.6.4. Captación de la energía solar**

Para la captación de la energía solar, se utilizan captadores o paneles solares, que transforman la energía solar captada en energía eléctrica o térmica. A estos sistemas se les conoce como sistemas de captación fotovoltaicos. Esto se logra gracias a las propiedades de los materiales de los que están hechos y a la estructura plana que permite captar energía solar en toda su área.

Los paneles solares más utilizados son los que utilizan como materiales el silicio cristalino y silicio multicristalino, con una estructura que hace contacto en ambas caras (Grupo de Nuevas Actividades Profesionales, 2002). Este tipo de dispositivos provee de aproximadamente 0,5 voltios y una corriente de 35 mA/cm<sup>2</sup> cuando son iluminados por el sol en un día claro a 1 000 W/m<sup>2</sup>, que se toma como una irradiancia de referencia estándar (Grupo de Nuevas Actividades Profesionales, 2002).

#### **7.1.6.5. Ubicación de los captadores de energía solar**

Los dispositivos captadores de energía o paneles solares deben ser ubicados según su uso en la terraza de los edificios o bien en el patio para poder captar la máxima radiación solar, esto percatándose que no haya obstáculos como edificios o árboles que pueden interferir en la captación de la energía solar (Nandwani, 2005). Es recomendable que los dispositivos que ubiquen de tal manera que la incidencia de los rayos solares sea en un ángulo perpendicular.

### **7.2. Desarrollo sostenible**

El desarrollo sostenible de un país implica, que se haga un uso consciente y mesurado de los recursos naturales, teniendo ante todo el factor ambiental, evaluando si la actividad que se realice se amigable o no con el medio ambiente.

Desde el 2000 se ha introducido un nuevo término, economía verde, el cual se refiere a una serie de modelos de desarrollo en los que se incluye la variable ambiental y no únicamente las variables económicas y sociales.

Como se indica en (FUNDESA, 2011), el entender la interrelación y la problemática entre el desarrollo y el medio ambiente, implica entender el concepto de desarrollo sostenible. El desarrollo sostenible es el conjunto de interacciones que provee insumos para satisfacer las necesidades del presente, asegurando los insumos para las necesidades futuras.

El medio ambiente se ve afectado por las actividades realizadas para el desarrollo y supervivencia humana, sin embargo, la consigna es que se llegue a un equilibrio, en el que se satisfagan las necesidades, buscando fuentes energéticas renovables, haciendo cambios políticos y socioeconómicos.

“En ese sentido, debiéramos ser capaces de alcanzar acuerdos en la sociedad que favorezcan el desarrollo a través de los recursos disponibles, garantizando su uso racional y conservación. Sin embargo, la evidencia muestra que Guatemala no está haciendo esfuerzos suficientes para preservar efectivamente el patrimonio con el que cuenta.

Una muestra de esta situación es la posición que el país ocupa en el Índice de Desempeño Ambiental, al registrar la posición 104 de 163 países evaluados<sup>1</sup>, lo que contrasta con las posiciones de países como Costa Rica y Colombia, posiciones 3 y 10 respectivamente. Por otra parte, según la Organización de las Naciones Unidas, Guatemala se encuentra entre los diez países del mundo con más alto riesgo frente al cambio climático, especialmente para enfrentar tormentas, sequías, inundaciones, deslizamientos y otros fenómenos...” (FUNDESA, 2011), p. 2.

Los índices de desarrollo humano se calculan en base a varias variables, como salud, educación, ingreso per cápita, etc. Pero todas éstas variables se ven afectadas por la componente ambiental de cada país, como se indica en (Rayén Quiroga, 2001).

Como se ha mencionado antes, la importancia del desarrollo sostenible radica en, poder satisfacer necesidades inmediatas, sin afectar el medio ambiente, y así, asegura la satisfacción de necesidades futuras.

### **7.3. Estado ambiental de Guatemala**

Guatemala por su ubicación geográfica es un país altamente vulnerable frente al cambio climático, como se pudo observar durante las últimas catástrofes ambientales como el huracán Mitch en 1998 y la tormenta Stan en el 2005.

Tal y como se indica en (Landivar, 2012), los cambios globales derivados del cambio climático son en general catastróficos, entre los que se incluyen desastres directos debidos al clima como tormentas, huracanes, etc.; hambrunas por pérdidas de cosechas; degradación sanitaria y trastornos políticos consiguientes.

El cambio climático es un efecto que se deriva de la actividad económica de todos los países, pero más que responsabilizar a las actividades económicas, el principal responsable de dicho cambio climático, son las políticas económicas de los países, pues, se evidencian faltas abismales o incluso nulas de políticas que contrarresten los efectos climáticos, pues se busca más una adaptación a dichos efectos, y no una lucha profunda, decidida y dirigida a ponerle un alto al origen del cambio climático global.

El cambio en cuestiones políticas debe manejarse en un contexto de ayuda y cooperación global, sin excluir a ningún país, ya sean subdesarrollados o no.

Guatemala, un país sumido en el subdesarrollo, con una pobreza de más del 70 % de su población no queda excluida de la falta de políticas reguladoras del ambiente; viéndose afectada por dos grandes ramas: la primera es la

inminente amenaza de catástrofes climáticas y la otra es la gestión política del país (Landivar, 2012).

Según las Naciones Unidas Guatemala presenta los siguientes datos a nivel mundial y regional.

Tabla III. **Contaminación del aire y cambio climático**

INDICADORES		Año	Mundial	Regional
• Reducción en sustancias que destruyen el ozono:	80.65%	2008	75 de 167	07 de 18
• Emisiones de NOx per cápita:	4.91 kg	1990	39 de 153	1 de 18
• Emisiones de SOx per cápita:	8.36 kg	1990	65 de 112	10 de 14
• Emisiones de CO <sub>2</sub> per cápita:	0.97 Tm	2009	65 de 221	3 de 18
• Emisiones de CO <sub>2</sub> por Km <sup>2</sup> :	119 Tm	2009	98 de 221	13 de 18
• Emisiones de Gases de Invernadero per cápita: <sup>4</sup>	1.66 Tm	1990	62 de 173	10 de 18
• Emisiones de CH <sub>4</sub> per cápita:	0.46 Tm	1990	35 de 171	1 de 18
• Emisiones de N <sub>2</sub> O per cápita:	0.72 Tm	1990	114 de 171	11 de 18

Fuente: (FUNDESA, 2011)

Derivado del cambio climático se presenta un aumento en la temperatura media global, de donde se tiene situaciones extremas como sequías e inundaciones, haciéndose imposible que el crecimiento económico por si mismo sea capaz de contrarrestar dichas amenazas. En consecuencia, la política climática no puede presentarse como una opción entre crecimiento y cambio climático. “De hecho, las políticas climáticas inteligentes son las que propician el desarrollo, reducen la vulnerabilidad y permiten financiar la transición hacia caminos con niveles más bajos de emisión de carbono” (FUNDESA, 2011), p. 4.

Las variables relacionadas con el estado ambiental de Guatemala son las siguientes: grado de pobreza, el sector de agroexportaciones que deteriora recursos básicos como el agua y los suelos, el sector transporte, consumo de

leña para generación de energía, el sector servicios, el sector de generación eléctrica, entre otros.

Cabe destacar que el consumo de leña como recurso energético, lo cual equivale a un 84 % de la población total de Guatemala (Landivar, 2012), dándose así, una degradación del bosque tropical que posee el país.

“La contribución del país al desastre climático, es conocida en su componente principal: las emisiones totales de CO<sub>2</sub> se deben en un 61 por 100 a la combustión de leña, la cual es consumida en un 84 % por hogares. Las industrias manufactureras, en segundo lugar, aportan el 19 por 100 de las emisiones de CO<sub>2</sub>, lo cual es principalmente aportado por el uso de combustibles fósiles en un 25 %...” (Landivar, 2012), p. 54.

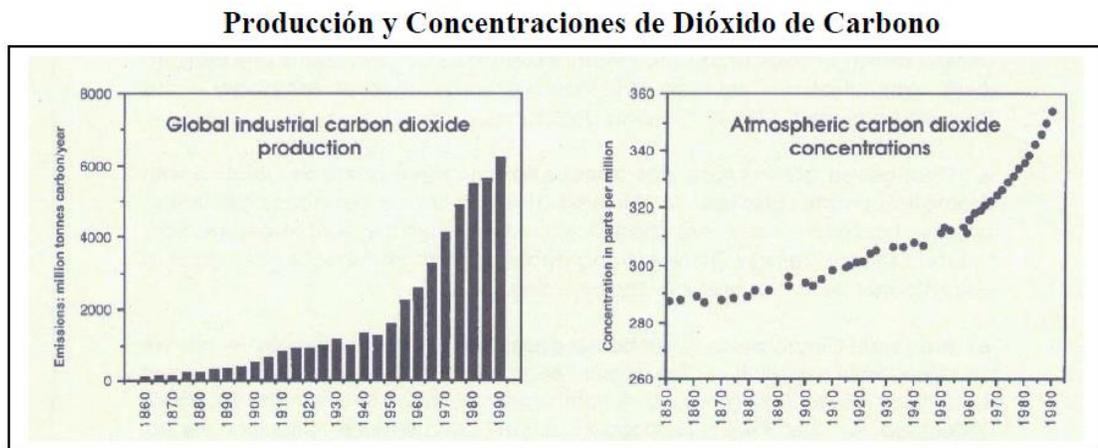
#### **7.4. Impacto de las emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente**

Como se mencionó con anterioridad, el cambio climático se debe al calentamiento global derivado de los gases de efecto invernadero (GEI), entre los cuales el más común es el CO<sub>2</sub>, producido por la humanidad a diario, en enormes cantidades. El CO<sub>2</sub> se produce al quemar leña, carbón y combustibles fósiles.

“Se estima que las actividades humanas como la generación de energía, la tala de árboles y el uso de la tierra para cultivar ciertos productos agrícolas, tienen un impacto en la cantidad de GEI en la atmósfera del planeta. Las mediciones atmosféricas de las concentraciones de GEI han indicado que desde la década de 1860s, se ha dado un aumento considerable en las emisiones de GEI a la atmósfera. Como se ilustra en la gráfica 6.1, los mayores aumentos de GEI han sido específicamente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>),

metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), hidrofluorocarbonos (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>)". (FENERCA, 2013), p. 5.

Figura 2. **Producción y concentraciones de dióxido de carbono**



Emisiones de CO<sub>2</sub> en la industria global por la quema de combustibles fósiles y producción de cemento en el periodo 1860-1990.

Concentraciones atmosféricas de CO<sub>2</sub>, el GEI más importante, en el periodo 1850-1990.

Fuente: (FENERCA, 2013).

Al igual que el incremento en las emisiones de GEI, se ha registrado el incremento en la temperatura media global, la cual ha aumentado entre 0,3 y 0,6 °C en los últimos 100 años, y de no hacer nada para contrarrestar dichas emisiones, se pronostica que en los próximos 100 años, la temperatura ascenderá entre 1,5 a 4,5 °C (FENERCA, 2013).

Para reducir las emisiones de GEI, se han adoptado ciertas medidas, tal es el caso de la implementación de eficiencia energética en las actividades productivas y cotidianas y la utilización de energías limpias como la solar.

La población mundial tiene dos tipos de impacto sobre las emisiones de GEI, las cuales son: aumento en los procesos que liberan GEI a la atmósfera y la reducción de los procesos naturales que eliminan GEI en la atmósfera (FENERCA, 2013).

Algunas de las actividades que aumentan la concentración de GEI en la atmósfera son:

- Utilización de combustibles fósiles como fuentes energéticas.
- Deforestación para quema de leña, siendo una de las actividades más degradantes ambientalmente, pues se emite CO<sub>2</sub> directo y se elimina una fuente de absorción natural de CO<sub>2</sub>.
- Producción de cal para la fabricación de cemento, siendo la mayor industria aportadora de CO<sub>2</sub> con un 25 % del aporte total del sector industrial.
- Extracción, procesamiento, transporte y distribución de combustibles fósiles.
- Desechos y actividades de animales que producen metano.
- Cultivo de arroz inundado.
- Tratamiento y disposición de desechos orgánicos y aguas negras.

Algunas de las actividades que afectan los procesos naturales que eliminan los GEI son:

- Explotación de tierras para agricultura
- Deforestación

Algunas actividades que se pueden implementar para la reducción de GEI:

- Recuperación de suelos degradados.
- Aumento de diversos árboles y arbustos.
- Conversión de tierras marginales en sistemas de uso de la tierra.
- Aumento de las prácticas de conservación de la tierra.
- Políticas energéticas inteligentes.
- Políticas hídricas inteligentes.
- Multas ecológicas considerables por emisión de carbono (FENERCA, 2013).

#### **7.5. Huella de carbono**

“La huella de carbono es una de las formas más simples que existen de medir el impacto o la marca que deja una persona sobre el planeta en su vida cotidiana. Es un recuento de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), que son liberadas a la atmósfera debido a las actividades cotidianas o a la comercialización de un producto. Por lo tanto la huella de carbono es la medida del impacto que provocan las actividades del ser humano en el medio ambiente y se determina según la cantidad de emisiones de GEI producidos, medidos en unidades de dióxido de carbono equivalente.

Este análisis abarca todas las actividades del ciclo de vida de un producto (desde la adquisición de las materias primas hasta su gestión como residuo) permitiendo a los consumidores decidir qué alimentos comprar en base a la contaminación generada como resultado de los procesos por los que ha pasado.

La huella de carbono busca calcular la cantidad de GEI que son emitidos directa o indirectamente a la atmósfera cada vez que se realiza una acción determinada y que las empresas puedan reducir los niveles de contaminación mediante un cálculo estandarizado de las emisiones durante los procesos productivos” (Facultad de Ciencias Forestales UACH, 2013).

“Para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo eléctrico, debe aplicarse un factor de emisión de CO<sub>2</sub> atribuible al suministro eléctrico, también conocido como mix eléctrico (g de CO<sub>2</sub>/kWh), que representa las emisiones asociadas a la generación eléctrica.

La energía eléctrica que se consume, proviene de la red interconectada de energía eléctrica, sin poder distinguir exactamente en qué planta de generación de electricidad se ha producido” (Oficina Catalana del Canvi Climàtic, 2012).

## **7.6. Descripción del uso de energías renovables en agricultura**

El uso de energías renovables como el sol, biomasa, viento, agua, podrían ayudar grandemente en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

La agricultura es un sector sumamente delicado, pues sin ese sector no se podría sobrevivir, pues es el que provee de sustento a la humanidad. Así también, es uno de los sectores más influyentes en cuestiones de degradación ambiental. Esto debido al uso desmesurado de recursos ambientales primarios como la tierra y el agua.

Debido a la gran importancia e influencia de éste sector económico, el uso de energías renovables es de suma prioridad, ya que gracias a la introducción

de tecnologías provistas de energías renovables se logrará un desarrollo agrícola y rural sostenible (Van Campen, Guidi, & Best, 2000).

### **7.6.1. Ámbitos de aplicación**

Una de las energías renovables más aceptadas por la población en general, es la energía solar, por ser limpia, abundante, gratuita y la fuente energética primaria por excelencia.

Gracias a la importancia debida a la introducción de energías renovables en la agricultura, se han visto resultados positivos en ámbitos como:

Tabla IV. **Aplicación de la energía solar en la agricultura**

TIPO DE APLICACIÓN	DISEÑO COMÚN DE LOS SISTEMAS	EJEMPLOS EXISTENTES
<b>Aplicaciones en el sector agrícola</b>		
Iluminación y ventilación para granjas avícolas, para ampliar la iluminación y aumentar la producción	50-150 Wp, electrónica, baterías, varios tubos fluorescentes, ventiladores	Egipto, la India, Indonesia, Viet Nam, Honduras
Irrigación	900 Wp, electrónica, tanque de agua pequeño con bomba de CD o CA	India, México, Chile
Cercas eléctricas para gestión del pastoreo	Tablero de 2 a 50 Wp, batería, alimentador para cerca	EE.UU., Australia, Nueva Zelandia, México, Cuba
Control de plagas (palomillas)	Linternas solares para apartar a las palomillas del campo	India (Winrock Intl.)
Refrigeración para conservación de fruta	Sistemas híbridos FV/eólicos o sistemas FV de 300 a 700 Wp con refrigeradores de CD (hasta 300 litros)	Indonesia (Winrock Intl.)
Clinicas veterinarias	300 Wp, baterías, electrónica, refrigerador/congelador, 2 tubos fluorescentes	Siria (proyecto de la FAO)
Agua para el ganado	900 Wp, bomba electrónica CD/CA, depósito de agua	EE.UU., México, Australia
Bombas de aire para cria de peces y camarones	800 Wp, baterías (500 Ah), electrónica, motor de CD, rueda hidráulica de paletas, para estanque de 150 m <sup>2</sup>	Israel, EE.UU.
Incubadora de huevos	tablero de hasta 75 Wp, caja integrada y elemento de calefacción para empollar 60 huevos	India (Tata/BPSolar), Filipinas (proyecto BIG-SOL)
Aspersión de cultivos	5 Wp, aspersor	India (estados del sur), aunque BP Solar canceló el paquete de productos

Fuente: (Van Campen, Guidi, & Best, 2000).

### **7.6.2. Ventajas económicas, sociales y ambientales del uso de energías renovables**

En el ámbito social las ventajas de la utilización de energías renovables se ven reflejadas mayoritariamente en el uso de energía solar, eólica y biomasa; no siendo así, el uso de hidroeléctricas, pues el uso de esta fuente energética aún no es aceptada por la mayoría de las poblaciones de los países en desarrollo, por la creencia de que el agua la contaminarán y se agotará por la generación de energía.

Económicamente, el uso de energías renovables en la agricultura presenta muchas ventajas, pues son limpias; no producen CO<sub>2</sub>; a pesar que la inversión inicial es alta, no se necesita mayor mantenimiento y los beneficios son a largo plazo.

En el ámbito ambiental es en donde mayores ventajas se presentan, pues es el sector más beneficiado al utilizar energías renovables, ya que con el uso de estas fuentes energéticas, se reduce el impacto negativo que enfrenta éste vulnerable sector.

## **7.7. Descripción del proceso de incubación de huevos de aves**

El proceso de incubación de huevos es el primer paso a dar para cualquier tipo de producción avícola. Generalmente, es llevado áreas especializadas en este tipo de actividad que, posteriormente, suministran los pollitos a las explotaciones dedicadas al engorde de animales, producción de huevos, etc.

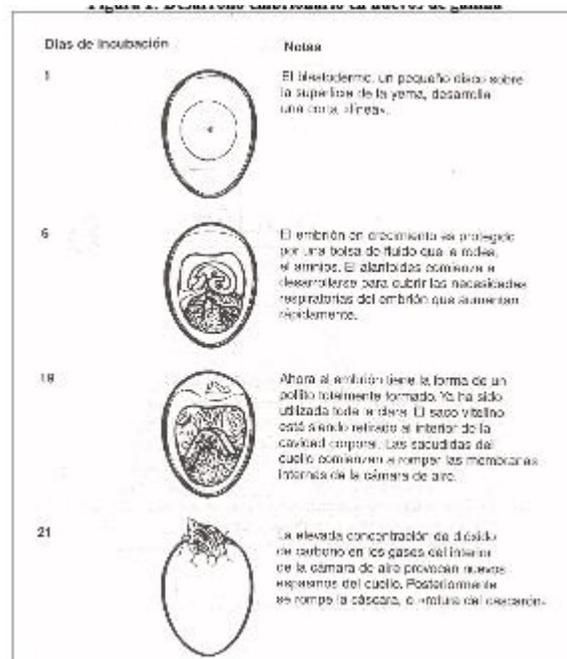
### **7.7.1. Etapas**

“Las primeras etapas se inician antes de ser puesto el huevo. En el huevo recién puesto ya es visible el blastodermo, que se aprecia como un pequeño disco entre la yema y la membrana vitelina. A los tres días, ya se aprecian pequeños brotes a lo largo del cuerpo del embrión que darán lugar a las extremidades. El corazón comienza a funcionar, aunque se localiza en la parte externa del embrión. El aparato digestivo se cierra al quinto día, mientras que los pulmones son apreciables el sexto día. A partir del octavo día, se aprecian zonas de densas plumas. La calcificación del esqueleto se inicia a los 10 días, y se completa a los 15. Los picos y uñas ya se encuentran formados el día 16 (figura 6.2)” (Universitario, 2013).

El tiempo de incubación de los huevos es característico para cada una de las especies de aves domésticas, el tiempo de incubación de los huevos de gallina es de 21 días.

Para el correcto desarrollo de los embriones, se precisa mantener unas condiciones ambientales (temperatura, humedad, nivel de oxígeno, anhídrido carbónico, etc.).

Figura 3. **Desarrollo embrionario en huevos de gallina**



Fuente: (Universitario, 2013).

En la incubación de huevos de gallina las variables más importantes para monitorear son la temperatura y la humedad. En la tabla 6.5, se muestra un esquema de operación de una incubadora de huevos de gallina. La temperatura

de incubación es de 37 °C y constante y las 24 horas de los 21 días de incubación.

Tabla V. **Esquema de operaciones en el proceso de incubación de huevos de gallina**

Días desde inicio de incubación	Tarea	Notas
-7 a -1	Almacenar huevos	Los huevos se recogen cada día para iniciar la incubación de una gran partida al mismo tiempo
-1	Fumigar	Reduce contaminación bacteriana en cáscaras
0	Colocar huevos	Los huevos se introducen en la incubadora
6	Miraje de huevos	Se rechazan los huevos no embrionados (huevos claros) o con muerte precoz del embrión
18	Transferencia a nacedora	Coincide con fuerte cambio de las condiciones ambientales de incubación
21	Sacar pollitos nacidos	Cada pollito se examina para ver su viabilidad y, si es posible, separar sexos
22	Eliminar huevos restantes	Los huevos que tardan en eclosionar no suelen ser viables

Fuente: (Universitario, 2013).

### 7.7.2. Impactos ambientales

De las actividades agrarias que mayor impacto ambiental tiene, se encuentra la incubación de huevos de aves, esto debido a la cantidad y continuo suministro de energía que requiere en el proceso. Las fuentes energéticas utilizadas para el proceso son energía eléctrica y combustibles fósiles. (Vaca Adam, 2006).



## **8. HIPÓTESIS**

La huella de carbono y el consumo energético en el proceso de incubación de huevos de aves será mayor al utilizar energía convencional en el proceso, que al utilizar energía solar.

### **8.1. Variables**

La investigación posee dos variables dependientes y una variable independiente.

#### **8.1.1. Variables dependientes**

La huella de carbono producto del proceso de incubación de huevos de aves, utilizando energía eléctrica convencional o combustibles fósiles.

El consumo energético del proceso de incubación de huevos de aves.

#### **8.1.2. Variables independientes**

Fuente de energía utilizada en el proceso de incubación de huevos de aves, energía eléctrica convencional o energía solar.

Tabla VI. **Matriz de consistencia**

Hipótesis	Variable	Indicadores
<p>La huella de carbono y el consumo energético en el proceso de incubación de huevos de aves será mayor al utilizar energía convencional en el proceso, que al utilizar energía solar.</p>	<p><b>Independiente (Variable Causa):</b> Energía</p>	<p>Energía eléctrica Convencional</p>
		<p>Energía eléctrica Convencional en combinación con energía solar fotovoltaica</p>
	<p><b>Dependientes (Variables Efecto):</b></p> <p>1) La huella de carbono producto del proceso de incubación de huevos de aves, utilizando energía eléctrica convencional o energía solar fotovoltaica.</p> <p>2) El consumo energético del proceso de incubación de huevos de aves.</p>	<p>Cantidad de CO2 emitido a la atmósfera</p>
		<p>Kw/h consumidos en el proceso con energía eléctrica únicamente y kw/h consumidos al utilizar energía solar fotovoltaica en combinación con energía eléctrica convencional.</p>

Fuente: elaboración propia.

## **9. CONTENIDO PROPUESTO DEL INFORME**

El contenido general de la presente investigación, se basa en la reducción de la huella de carbono en el proceso de incubación de huevos de aves, el cual utiliza energía eléctrica y combustibles fósiles como suministro de energía, desarrollando un sistema híbrido que funciona a base de energía solar fotovoltaica y energía eléctrica.

Además de desarrollar el sistema de incubación a base de energía solar, se evaluará la eficiencia energética y económica del proyecto.

El informe se dividirá en los siguientes capítulos:

1. ÍNDICE DE ILUSTRACIONES
2. GLOSARIO
3. INTRODUCCIÓN
4. ANTECEDENTES
5. OBJETIVOS
6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
7. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA
8. ALCANCES DEL TEMA
  
9. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL
  - 9.1. Energía
    - 9.1.1. Formas de energía
    - 9.1.2. Transformación de una forma de energía a otra
    - 9.1.3. Fuentes de energía

- 9.1.4. Combustibles fósiles
- 9.1.5. Energías renovables
- 9.1.6. Energía solar
  - 9.1.6.1. Radiación solar
  - 9.1.6.2. Medida de la radiación solar
  - 9.1.6.3. Mecanismo de transporte de la radiación solar
  - 9.1.6.4. Captación de la energía solar
  - 9.1.6.5. Ubicación de los captadores de energía solar
- 9.2. Desarrollo sostenible
- 9.3. Estado ambiental de Guatemala
- 9.4. Impacto de las emisiones de CO<sub>2</sub> al ambiente
- 9.5. Huella de carbono
- 9.6. Descripción del uso de energías renovables en agricultura
  - 9.6.1. Ámbitos de aplicación
  - 9.6.2. Ventajas económicas, sociales y ambientales del uso de energías renovables
- 9.7. Descripción del proceso de incubación de huevos de aves
- 9.8. Etapas
- 9.9. Impactos ambientales
  
- 10. HIPÓTESIS
- 11. DISCUSIÓN DE RESULTADOS
- 12. CONCLUSIONES
- 13. RECOMENDACIONES
- 14. BIBLIOGRAFÍA
- 15. ANEXOS

## **10. MÉTODOS Y TÉCNICAS**

### **10.1. Fase 1. Investigación preliminar**

Esta fase comprende la recopilación de información básica relacionada con el tema de investigación, tal es el caso de antecedentes, literatura básica e información sobre los requerimientos necesarios para que se lleve a cabo el estudio.

En esta fase se obtendrá la información necesaria para la ejecución de los procedimientos experimentales y el manejo de los datos obtenidos, así mismo, se obtendrán los costos estimados del equipo de captación de energía solar y de los insumos necesarios para la ejecución de la investigación.

### **10.2. Fase 2. Diseño de investigación, métodos e instrumentos**

En ésta fase se presenta la metodología a utilizar en el desarrollo del estudio, además de las herramientas necesarias para llevarlo a cabo, indicando la manera de la recolección y manejo de los datos obtenidos.

#### **10.2.1. Diseño de investigación**

El diseño de investigación se basa en la aplicación de un experimento verdadero con un diseño que posee posprueba con un grupo de control. (Sampieri, Fernández, Baptista, 2003).

El experimento consiste en incubar huevos de aves (gallinas) en una incubadora que funciona a base de energía eléctrica convencional, monitoreando los 21 días de incubación que el suministro energético convencional sea el adecuado, en caso de no haber servicio eléctrico en algunos períodos, el recurso energético se proveerá mediante una planta de generación de electricidad a base de hidrocarburos (diesel) contabilizando las horas de utilización de dicha planta generadora y llevando el registro de la cantidad de horas que el sistema funcione con energía eléctrica convencional y con hidrocarburos en la hoja de registro que se muestra en la tabla 10.3. Siendo estos huevos incubados convencionalmente el grupo control.

En la siguiente etapa del experimento se adaptará energía solar fotovoltaica al sistema de incubación convencional por medio de un panel solar; se incubarán huevos utilizando energía solar fotovoltaica en las horas del día que se tenga captación de radiación solar y energía eléctrica convencional en las horas del día de oscuridad, contabilizando en la hoja de registro que se presenta en la tabla 10.3 las horas de suministro energético convencional y las horas de suministro energético solar. Este grupo será el grupo de postprueba y de comparación con el grupo control.

La comparación de los dos grupos experimentales se harán en base a la cantidad de Kw/h consumidos en cada grupo experimental y calculando la cantidad de CO<sub>2</sub> emitidos a la atmósfera en cada caso.

Para que el experimento se realice bien, debe cumplir con un control o validez interna de la fase experimental, es decir, si se observa que la manipulación de las variables independientes provoca una variación en las variables dependientes, la variación de estas últimas se debe a la manipulación

de las independientes y no a otros factores. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, Metodología de la Investigación).

Para lograr una validez interna, se realizara una corrida tanto al grupo de control, como al grupo experimental, esto debido a que el tiempo de incubación de los huevos de aves es de 21 días, además de los costos implicados en cada corrida.

Para validar externamente el experimento, se calculará la cantidad de CO2 liberado en cada corrida, al grupo de control y al grupo experimental.

El diagrama del experimento queda de la siguiente manera:

Tabla VII. **Datos obtenidos sobre la huella de carbono derivada del proceso de incubación de huevos de aves**

Unidad de Análisis	Grupo de control	Fuente de energía utilizada en el proceso (solar/convencional)	Huella de Carbono
A	GE	X	O 2
A	GC	--	O 2

Fuente: datos experimentales.

Tabla VIII. **Datos obtenidos sobre el consumo energético del proceso de incubación de huevos de aves**

Unidad de Análisis	Grupo de control	Fuente de energía utilizada en el proceso (solar/convencional)	Consumo Energético
A	GE	X	O2
A	GC	--	O2

Fuente: datos experimentales.

Dónde:

A = proceso de incubación

GE = grupo experimental (datos recolectados con un proceso que utiliza energía solar).

GC = grupo control (datos recolectados con un proceso que utiliza energía convencional).

O2 = postprueba

X = tratamiento experimental (datos utilizando energía solar).

-- = ausencia de tratamiento experimental.

**Tabla IX. Toma de datos diarios del consumo energético del proceso de incubación, según la fuente energética**

<b>Día</b>	<b>Fuente de Energía</b>	<b>Horas</b>	<b>Kwh o cantidad de combustible fósil</b>
	Electricidad		
	Combustible Fósil		
	Electricidad		
	Combustible Fósil		
	Electricidad		
	Combustible Fósil		
	Electricidad		
	Combustible Fósil		
	Electricidad		
	Combustible Fósil		
	Electricidad		
	Combustible Fósil		
	Electricidad		
	Combustible Fósil		
	Electricidad		
	Combustible Fósil		
	Electricidad		
	Combustible Fósil		
	Electricidad		
	Combustible Fósil		
	Electricidad		
	Combustible Fósil		

Fuente: datos experimentales.

### **10.2.2. Métodos e instrumentos**

Los métodos a utilizar incluyen en el grupo de control: registro de datos sobre el consumo energético necesario para el proceso de incubación de huevos de aves, ya sea energía eléctrica convencional o combustibles fósiles, además de las emisiones de carbono derivadas de estos consumos energéticos. En la postprueba: registro de datos sobre el ahorro energético derivado de la sustitución de la fuente energética y la reducción de las emisiones de carbono del proceso. Estos datos se manipularán matemáticamente como se describe en la sección de análisis e interpretación de datos para así poder concluir cuál fuente energética es la mejor.

Así también, un control sobre la eficacia del proceso al sustituir una fuente de energía por otra. Es decir, si funciona de la misma manera utilizando una fuente energética u otra. En palabras más simples si la eclosión de los huevos va a variar en función de la fuente de energía que se utilice. Para ello en cada medición de las variables independientes, también se hará un recuento de cuantos huevos eclosionan y a los datos obtenidos se les aplicará el mismo tratamiento matemático y estadístico que se describe en la sección de análisis e interpretación de datos.

Los instrumentos que se utilizarán para obtener los datos necesarios, son las facturas de compra de energía eléctrica convencional y la compra de combustibles fósiles en el grupo de control y en la postprueba.

El estudio se realizará en la granja avícola “La Granjita”. El material y equipo que se utilizará para la medición de los datos experimentales consiste en:

- Incubadora para 24 huevos
- Energía eléctrica
- 24 huevos
- Equipo de captación de energía solar (panel solar)
- Hoja de registro para el control de los datos

La muestra de los datos que se estudiarán, corresponde a una muestra de tipo no probabilístico (Sampieri, Fernández, Baptista, 2003), pues la elección de los mismo dependerá de una de las fuentes de energía que se utilizarán en el proceso de incubación de huevos de aves y no de una probabilidad.

Para la determinación del número de repeticiones, se toman las consideraciones de que se trata de un experimento comparativo (un grupo control y un grupo experimento), el número mínimo de muestras puede ser estimado mediante la ecuación:

$$n = \frac{W - W^2 \cdot Z_{\beta} + 1,4 \cdot Z_{\alpha}^2}{W^2}$$

Dónde:

n = número de repeticiones

$Z_{\alpha}$  = valor correspondiente al nivel de confianza asignado (Riesgo de cometer un error tipo I).

$Z_{\beta}$  = valor correspondiente al poder estadístico o potencia asignada a la prueba (Riesgo de cometer un error tipo II).

W = rendimiento mínimo esperado, eficiencia mínima esperada o diferencia mínima observable.

El estudio debe tener un nivel de confianza del 95 % (0,95), por lo que el valor de  $Z\alpha$  para ese nivel de confianza es de 1,960. El poder estadístico debe ser del 80 % (0,8), por consiguiente el valor de  $Z\beta$  es de 0,842, y finalmente el estudio debe tener una eficiencia mínima del 90 % (0,9). (Lozano-Rivas).

Por lo tanto el número de repeticiones será:

$$n = 0.9 - 0.9^2 * 0.842 + 1.4 * 1.960 / 0.9^2$$

$$n = 7 \text{ repeticiones}$$

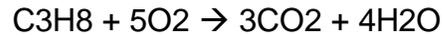
Sin embargo debido al tiempo de incubación artificial de huevos de aves, que es de 21 días, y considerando que se debe evaluar el proceso utilizando energía convencional y energía solar, se realizará únicamente una repetición por grupo. Esto tomando en cuenta el tiempo y el costo del proceso.

### **10.2.3. Fase 3. Análisis de datos e interpretación de resultados**

Las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas del consumo de energía eléctrica se darán en gCO<sub>2</sub>/Kwh, tomando como factor de emisión de CO<sub>2</sub> derivado del consumo energético, el valor de 0.28 tCO<sub>2</sub>/Kwh en Guatemala para un proceso de requerimiento medio de energía en el 2012. (MEM, 2008-2022) (CanviClimatic, 2012).

Las emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas del consumo de combustibles fósiles se medirán experimentalmente en kilogramos de gas propano utilizados en el proceso de incubación, las mediciones se harán diariamente, esto se hará pesando el cilindro de gas al inicio y al final del día.

En base a los kilogramos del gas propano consumido por día, y por medio de la siguiente ecuación:



Se podrá calcular utilizando estequiometria la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida por el proceso de pasteurización. (Felder, 2003).

El análisis de los datos se hará utilizando una prueba de T-student para muestras correlacionadas. (Sampieri, Fernández, Baptista, 2003), (Ávila, 2006).

Con la prueba t se compararán las medias y desviaciones estándar de los grupos de datos y se determinará si entre las variables independientes las diferencias son estadísticamente significativas o si sólo son diferencias aleatorias, y así establecer cuál de los dos grupos de datos presenta características más favorables para el proceso en estudio.

Para ello el cálculo de la t-student se realiza con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\bar{x} - \mu_0}{\sqrt{\frac{s}{n}}}$$

Dónde:

$\bar{x}$  = media aritmética

S = desviación estándar de los grupos

n = tamaño de la muestra

$\mu_0$  = media normal

Por consiguiente se realizarán los cálculos de los parámetros estadísticos anteriores para cada variable independiente del estudio y luego se realizará la prueba.

Los cálculos de medias y desviación estándar se realizarán utilizando el programa Microsoft Excel 2010.

Además se elaborará un análisis económico del proyecto para así determinar la rentabilidad de la adquisición de sistema de captación de energía solar, es decir, se obtendrá la tasa interna de retorno (TIR) de la inversión.

## 11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Mes	mar-13				abr-13				may-13				jun-13				jul-13				ago-13				sep-13				oct-13				nov-13				dic-13			
Actividad semanal	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Recopilación de Información	■	■	■	■																																				
Proceso de aprobación de investigación					■	■	■	■																																
Incubación convencional									■	■	■	■																												
Adaptación de energía solar a la incubadora													■	■	■	■	■	■	■	■																				
Incubación utilizando energía solar																	■	■	■	■																				
Análisis e interpretación de datos																					■	■																		
Elaboración de informe final																									■	■	■	■												
Entrega para revisión de informe final																													■	■	■	■								
Correcciones y aprobación de informe final																																	■	■	■	■	■	■	■	■



## 12. RECURSOS NECESARIOS

Tabla IX. Recursos

<b>Recursos Humanos</b>	<b>Costo por Hora</b>	<b>Total por 6 meses</b>
Asesor	Q. 100	Q. 2 400
Investigador	Q. 50	Q. 12 000
Imprevistos	Q. 500	Q. 500
	<b>Total Recursos Humanos</b>	<b>Q. 14 900</b>
<b>Materiales e insumos</b>	<b>Costo</b>	<b>Total</b>
Incubadora para 24 huevos	Q. 1 200	Q. 1 200
Panel Solar	Q. 3 800	Q. 3 800
48 huevos	Q. 1,15/huevo	Q. 55,2
Material de adaptación del panel solar	Q. 250	Q. 250
Imprevistos	Q. 1 000	Q. 1 000
	<b>Total materiales e insumos</b>	<b>Q 6 305,20</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>Q. 21 205,20</b>

Fuente: elaboración propia.



### 13. BIBLIOGRAFÍA

1. Ávila Baray, H. L. (2006). *Introducción a la Metodología de la Investigación*. Chihuahua, México.
2. Biomass Users Network de Centroamérica (BUN-CA). (2000). *Reducción de Emisiones de Carbono*. Centro América.
3. Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo (CCAD); USAID. (2009). *Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio del Aire*. Guatemala.
4. de Juana Sardón, J. M. (2003). *Energías Renovables para el Desarrollo*. Madrid, España.
5. Desarrollo, P. d. (2002). *Biomasa: Manual sobre energía renovable*. San José C.
6. Facultad de Ciencias Forestales UACH. (17 de 06 de 2013). *Bosques PROcarbono UACH*. Obtenido de [http://www.uach.cl/procarbono/huella\\_de\\_carbono.html](http://www.uach.cl/procarbono/huella_de_carbono.html)
7. FENERCA. (23 de 03 de 2013). *Reducción de Emisiones de Carbono. Una Guía para Empresarios de Energía Renovable*. América Latina.
8. Flores, N. (2011). *Manual de Tecnologías Apropriadas*. El Salvador.

9. FUNDESA. (2011). *Desarrollo y Medio Ambiente*. Guatemala, Guatemala.
10. Gallardo Villanueva, M. R., Campos Osorio, M. E., Girón Cardos, N., & Días Ocampo, M. Á. (2007). *Automatización de una Incubadora Solar*. San Luis Potosí, México.
11. Grupo de Nuevas Actividades Profesionales. (2002). *Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid, España: Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación.
12. Hernández Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2001). *Metodología de la Investigación*. Guatemala: McGraw-Hill.
13. Hidalgo Dittel, N. (2009). *Guía Avícola: Instrumento de Gestión Ambiental*. San José, Costa Rica.
  - a. Landivar, U. R. (2012). *Perfil Ambiental de Guatemala 2010-2012*. Guatemala, Guatemala.
  - b. MEM,CNEE, DPE. (2008). *Sistema Eléctrico Guatemalteco, una Visión a Largo Plazo*. Guatemala.
  - c. Ministerio de Agricultura, G. y. (2011). *NFORME SOBRE LA SITUACIÓN DE LOS RECURSOS ZOOGENÉTICOS DE GUATEMALA*. Guatemala.
  - d. Ministerio de Energía y Minas (MEM). (2012). *Guía del Subsector Eléctrico y de las Energías Renovables*. Guatemala.
14. Mundial, F. p., & desarrollo, P. d. (s.f.). *bi*.

15. Nandwani, S. S. (2005). *Energía Solar: Conceptos Básicos y su Utilización*. Heredia, Costa Rica.
16. Oficina Catalana del Canvi Climàtic. (2012). *Guía Práctica para el cálculo de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)*. España.
17. Oviedo, E. (2009). *Ahorro Energético en Granjas Avícolas*. Carolina del Norte, Estados Unidos.
  - a. Quiroga Martínez, R. (2007). *Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América Latina y el Caribe*. Santiago, Chile: Naciones Unidas. Cepal.
  - b. Rayén Quiroga, M. (2001). *Indicadores de Sostenibilidad Ambiental y de Desarrollo Sostenible: Estado del Arte y Perspectivas*. Santiago de Chile: CEPAL.
18. Rey Rosa, M. (2011). *Realidad Ecológica de Guatemala*. Guatemala: Oxfam América.
  - a. Rubio Picó, J. J. (1979). Aplicación de la Energía Solar en Incubación. *Selecciones Avícolas*, 257-260.
19. Universitario, G. (23 de 03 de 2013). *Incubación de Huevos*. Recuperado el 23 de 03 de 2013, de <http://grupo.us.es/gprodanim/PCA/practicaincubacion.pdf>
20. Vaca Adam, L. (2006). *Producción Avícola*. San José, Costa Rica.

Van Campen, B., Guidi, D., & Best, G. (2000). *Documento de Trabajo Sobre Medio Ambiente y Recursos Naturales*. Roma, Italia: Realizado por la FAO.

