

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA, LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS
NATURALES NO RENOVABLES



TEMA:

"OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN
SECADOR SOLAR DE MANÌ Y MAÍZ, EXISTENTE EN EL
CENTRO BINACIONAL DE FORMACIÓN TÉCNICA
ZAPOTEPAMBA (CBFTZ) CANTÓN PALTAS"

AUTOR:

EDDER LUCIANO MERINO LUNA

TESIS DE GRADO PREVIA A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

DIRECTOR:

ING. JUAN CARLOS SOLANO JIMÉNEZ

LOJA - ECUADOR

2011



*OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN SECADOR SOLAR DE MANÍ Y MAÍZ,
EXISTENTE EN EL CENTRO BINACIONAL DE FORMACIÓN TÉCNICA ZAPOTEPAMBA (CBFTZ) CANTÓN PALTAS.*



Ing. Juan Carlos Solano Jiménez

**DOCENTE DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA DEL ÁREA DE
LA ENERGÍA, INDUSTRIAS Y RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES
Y DIRECTOR DE TESIS**

CERTIFICA:

Que el presente trabajo investigativo titulado " Optimización de la eficiencia energética de un secador solar de maní y maíz, existente en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba(CBFTZ) cantón Paltas".

Presentado por el egresado Edder Luciano Merino Luna, previo a optar el Grado de Ingeniero Electromecánico, ha sido realizado bajo mi dirección cumpliendo los requerimientos establecidos por la Universidad Nacional de Loja para su desarrollo, y luego de su revisión autorizo su presentación ante el respectivo Tribunal de grado.

Loja, Noviembre del 2011

Ing. Juan Carlos Solano Jiménez

DIRECTOR DE TESIS



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Las ideas, hechos, principios, conceptos y resultados vertidos en el presente proyecto de tesis, son de exclusiva responsabilidad del autor que firma a continuación, quien a su vez, autoriza al Área de la Energía, las Industrias y Recursos Naturales no Renovables; hacer uso del presente documento en lo conveniente.

.....

Edder Luciano Merino Luna

Egdo. Ingeniería en Electromecánica



AGRADECIMIENTO

Es necesario dejar constancia mis sinceros agradecimientos a la **Universidad Nacional de Loja**, al **Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables**, representada en cada uno de los docentes que en su momento me brindaron sus conocimientos, experiencias y apoyo para la formación como futuro profesional. De manera especial:

- ✓ Al **Ing. Thuesman Montaña**, por brindarme apoyo en la utilización de instrumentos y en el proceso de desarrollo de mi proyecto.

- ✓ Al **Ing. Juan Carlos Solano Jiménez**, Director de Tesis, por haber colaborado en la realización del presente proyecto.

- ✓ A mis familiares, compañeros y amigos que con su apoyo y ánimo me impulsaron a la culminación de mi Proyecto de Tesis.



DEDICATORIA

Dedicó el presente trabajo a Dios por ser mi fortaleza, a mi padre Santos Merino por su apoyo moral y por ser la persona que me encamino en mi sueño, mi tía Carmita Sánchez por haber confiando en mis conocimientos, a mi tía Dora Luna por su apoyo incondicional.

A la familia Tapia-Ramírez, Luna-Ramírez, Luna-Vilela, Luna-Calderón, Luna-Sánchez, Luna-Florín, Orellana-Luna, Vincés-Luna, Pizarro-Chávez, mis padrinos la familia Núñez-Moncada por haberme apoyado en los momentos difíciles, mis hermanos: Elvis, Cristian, Luis, Javier por darme valor para seguir adelante. A todos los antes mencionados les dedicó el presente trabajo.

Y doy gracias a Dios por estar todavía a mi lado las dos únicas personas que jamás han dudado de mí. Es mi amigo, abuelo y padre Alfredo Luna y mi madre Témpora Edie Luna Montoya, a estas dos personas dedicó mi éxito y el humano que soy ahora.

EL AUTOR



ÍNDICE GENERAL

1. RESUMEN	1
1.1. SUMMARY	2
2. INTRODUCCIÓN	3
3. REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.1. ENERGÍA SOLAR.....	5
3.1.1. Radiación solar.....	5
3.1.2. Insolación Solar.....	5
3.1.3. Usos de la energía solar.....	7
3.2. SECADO SOLAR.....	7
3.2.1. Definición.....	7
3.2.2. Objetivo.....	8
3.2.3. Tipos de secadoras de granos.....	9
3.2.4. Secado natural	10
3.2.4.1. Secado al sol.....	11
3.2.4.2. Secado a la sombra	11
3.2.5. Secado artificial.....	12
3.2.5.1. Secadora solar de aire forzado para granos.....	12
3.2.5.1.1. Colectores Solares.....	14
3.2.5.1.2. Tanque de reserva	15
3.2.5.1.3. Radiador.....	15
3.2.5.1.4. Ventilador.....	16
3.2.5.1.5. Bomba.....	17
3.2.5.1.6. Válvula check..	17
3.2.5.1.7. Válvula de desfogue	18
3.2.5.1.8. Termostato.....	18
3.2.5.1.9. Silo.....	19
3.3. FACTORES QUE INTERVIENEN PARA LA EFICIENCIA DE LA SECADORA	21
3.3.1. Colectores solares de placa plana	21
3.3.1.1. Introducción	21
3.3.1.2. Radiación.....	21
3.3.1.3. Capacidad energética teórica del colector.....	22
3.3.1.3.1. Coeficiente total de pérdidas de calor.....	22



3.3.1.4. Conductancia por la parte superior (Usup).....	22
3.3.1.5. Conductancia por la parte inferior del colector Ub	23
3.3.1.6. Conductancia por la parte lateral (Ulad).....	24
3.3.1.7. Fator de remoción de calor (FR).....	24
3.3.1.8. Eficiencia del colector	25
3.3.2. Eficiencia del sistema.....	25
3.3.3. Eficiencia global del sistema.....	25
3.3.4. Fluidos de transferencia térmica	26
3.3.5. Transferencia real de calor	27
3.3.5.1. Aceite para transferencia térmica.....	28
3.3.5.2. Selección de aceites térmicos: propiedades y limitaciones.....	28
3.3.5.2.1. Aceite térmico Gulftherm	29
3.4. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CENTRO BINACIONAL DE FORMACIÓN TÉCNICA ZAPOTEPAMBA (CBFTZ).	30
3.4.1. Características Eco-climáticas.....	32
3.5. SECADO DE GRANOS	33
3.5.1. Introducción.....	33
3.5.2. Parámetros a considerar en el secado de granos.....	33
3.5.2.1. Temperatura de los granos.	33
3.5.2.2. Humedad de los granos	34
3.5.2.2.1. Medición de la humedad en los granos.....	36
3.5.2.3. Caudales de aire para secado de granos.....	36
3.6. ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....	38
3.6.1. Estación Meteorológica del Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba	40
3.6.2. Estación el Almendral	44
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
4.1. VALIDACIÓN DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS CLIMÁTICOS.....	45
4.2. DISEÑO DE LA SECADORA	48
4.2.1. Densidad del maní y maíz a secar.....	48
4.2.2. Volumen del silo	48
4.2.3. Masa de Maíz.....	49
4.2.4. Caudal de aire Caliente Total para el secado.....	49
4.2.5. Propiedades del aceite térmico	49
4.2.6. Potencia disponible para el calentamiento del aceite	51



4.2.7. Tiempo que demora en calentarse.....	51
4.2.8. Coeficiente de pérdidas de calor hacia arriba del colector	52
4.2.9. Conductancia por la parte inferior Ub	53
4.2.10. Coeficiente de pérdidas de calor por los lados Ulad	53
4.2.11. Coeficiente total de pérdidas de calor UL	53
4.2.12. Radiación absorbida.....	54
4.2.13. Cálculo de la transferencia real de calor.....	54
4.2.14. Cálculo del factor de remoción	54
4.2.15. Cálculo del Calor útil	55
4.2.16. Eficiencia de los colectores	55
4.2.17. Eficiencia del sistema entre la potencia entregada de los colectores y potencia de salida del silo.....	55
4.2.17.1. Eficiencia global de todo el sistema	56
4.3. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL GRANO DE MAÍZ, MANÍ.	57
5. RESULTADOS.....	59
5.1. RESULTADOS DEL DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS PLANTEADOS	59
5.1.1. Validación de las estaciones meteorológicas.	59
5.2. DISEÑO DE LA SECADORA	71
5.2.1. Densidad del maní y maíz a secar.....	71
5.2.2. Volumen del silo	71
5.2.3. Masa de Maíz.....	71
5.2.4. Caudal de aire Caliente Total para el secado.....	72
5.2.5. Propiedades del aceite térmico	72
5.2.6. Potencia disponible para el calentamiento del aceite	72
5.2.7. Tiempo que demora en calentarse.....	72
5.2.8. Coeficiente de pérdidas de calor hacia arriba del colector	73
5.2.9. Conductancia por la parte inferior Ub	73
5.2.10. Coeficiente de pérdidas de calor por los lados Ulad	73
5.2.11. Coeficiente total de pérdidas de calor UL	73
5.2.12. Radiación absorbida.....	74
5.2.13. Cálculo de la transferencia real de calor.....	74
5.2.14. Cálculo del factor de remoción	74
5.2.15. Cálculo del Calor útil	75
5.2.16. Eficiencia de los colectores	75



5.2.17. Eficiencia del sistema entre la potencia entregada de los colectores y potencia de salida del silo.....	75
5.2.17.1. Eficiencia global de todo el sistema.....	75
5.3. PROMEDIO DE TEMPERATURA DEL ACEITE AL ENTRAR Y SALIR DEL COLECTOR.....	76
5.4. PROMEDIO DE TEMPERATURA DEL ACEITE AL ENTRAR Y SALIR DEL RADIADOR.	78
5.5. EFICIENCIA GLOBAL DE TODO EL SISTEMA DE SECADORES SOLARES DE FLUJO CRUZADO.....	79
5.6. CÁLCULO TOTAL DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL GRANO DE MANÍ, MAÍZ.....	80
5.7. CONSUMO DEL SISTEMA DE SECADO SOLAR DE MAÍZ Y MANÍ.....	81
6. DISCUSIÓN.....	82
6.1. VALORACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA.	86
6.2. VALORACIÓN AMBIENTAL.....	90
7. CONCLUSIONES.....	91
8. RECOMENDACIONES.....	92
9. BIBLIOGRAFÍA.....	93
10. ANEXOS.....	94



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Promedio de insolación solar en (kwh/m ² /día) en la provincia de Loja.	6
Figura 2: Tipos de radiación.	7
Figura 3:Secado de frejol al solen el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba.	11
Figura 4: Secado a la sombra de maíz en una vivienda del sector Casanga.....	12
Figura 5: Situación actual de la secadora solar de arroz en el Centro Binacional de formación técnica de Zapotepamba.	13
Figura 6: Situación actual de los colectores y del silo en el Centro Binacional de formación técnica de Zapotepamba.	13
Figura 7: Colectores del secador solar de maíz y maní.	14
Figura 8: Tanque de reserva del secador solar de maíz y maní.	15
Figura 9: Radiador del secador solar de maíz y maní.....	16
Figura 10: Ventilador del secador solar de maíz y maní.	16
Figura 11: Bomba del secador solar de maíz y maní.....	17
Figura 12: Válvula check del secador solar de maíz y maní.	18
Figura 13: Válvula de desfogue del secador solar de maíz y maní.	18
Figura 14: Termostato del secador solar de maíz y maní.	19
Figura 15: Silo del secador solar de maíz y maní.	19
Figura 16. Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba (CBFTZ).	31
Figura 17: Ubicación geográfica del Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba (CBFTZ).	32
Figura 18: Estaciones Meteorológica del Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba y del Almendral.	39
Figura 19: Estación Meteorológica del Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba.	40
Figura 20: Piranómetro	41
Figura 21: Anemómetro.....	41
Figura 22: Veleta.....	42
Figura 23: Data Logger.	43
Figura 24: Pluviómetro.....	43
Figura 25: Insolación global anual en el sector de Zapotepamba.....	46
Figura 26 : Curva para la determinación de la Irradiación.....	47
Figura 27:Propiedades del aceite térmico generadas mediante el software ParaCalc 5.0.	50



Figura 28: Promedio anual de las dos estaciones meteorológicas con respecto a la temperatura máxima.....	59
Figura 29: Promedio anual de las dos estaciones meteorológicas con respecto a la temperatura mínima.....	60
Figura 30: Promedio anual de las dos estaciones meteorológicas con respecto a la temperatura media.	61
Figura 31: Promedio anual de las dos estaciones meteorológicas con respecto a la humedad máxima.....	62
Figura 32: Promedio anual de las dos estaciones meteorológicas con respecto a la humedad mínima.	63
Figura 33: Promedio anual de las dos estaciones meteorológicas con respecto a la humedad media.	64
Figura 34: Promedio anual de las dos estaciones meteorológicas con respecto a la velocidad máxima del viento.....	65
Figura 35: Promedio anual de las dos estaciones meteorológicas con respecto a la velocidad mínima del viento.	66
Figura 36: Promedio anual de las dos estaciones meteorológicas con respecto a la velocidad media del viento.	67
Figura 37: Promedio anual de las dos estaciones meteorológicas con respecto a la precipitación.	68
Figura 38: Promedio anual de las fuentes de información para determinar la radiación solar promedio anual.....	70
Figura 39: Curva para la determinación de temperatura del aceite al ingresar al colector.	76
Figura 40: Curva para la determinación de temperatura del aceite a la salida del colector.	77
Figura 41: Curva para la determinación de temperatura del aceite a la entrada del radiador.	78
Figura 42: Curva para la determinación de temperatura del aceite a la salida del radiador.	79
Figura 43: Se determina la humedad del maíz antes de ponerlo en la secadora solar.	80
Figura 44: Instalación de la estación meteorológica en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba.....	82
Figura 45: Contaminación en los accesorios del colector debido al aceite quemado.....	84



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Eficiencias globales en sistemas puntual y continuo.	21
Tabla 2. Datos generales del Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba (CBFTZ).	31
Tabla 3. Temperaturas, mínimas y máximas admitidas para algunos granos.	34
Tabla 4. Contenido de humedad de algunos productos y temperaturas máximas tolerables... ..	35
Tabla 5. Caudales de aire para aireación de granos.	37
Tabla 6. Temperatura Máxima.....	59
Tabla 7. Temperatura Mínima.	60
Tabla 8. Temperatura Media.	61
Tabla 9. Humedad Máxima.	62
Tabla 10. Humedad Mínima.....	63
Tabla 11. Humedad Media.....	64
Tabla 12. Velocidad máxima del viento.	65
Tabla 13. Velocidad mínima del viento.....	66
Tabla 14. Velocidad media del viento.	67
Tabla 15. Precipitación.....	68
Tabla 16. Radiación Solar promedio.	69
Tabla 17. Eficiencia de secadoras de granos.....	79



SIMBOLOGÍA

a	Área
A_c	Área del colector
c_p	Calor específico
D	Diámetro
η'	Factor de eficiencia del colector
F_R	Factor de remoción de calor
Gr	Número de Grashof
E_T	Radiación total
g	Constante gravitacional
h	Coefficiente de transferencia de calor
h_{fi}	Coefficiente de transferencia de calor dentro de los tubos
h_v	Coefficiente de transferencia de calor a través del viento
k	Conductividad térmica
L	Longitud
l	Espesor
m	Masa
\dot{m}	Flujo másico
Q	Caudal
n	Numero de cubiertas del colector
Re	Numero de reynolds
N_U	Numero de Nusselt
Ne	Potencia de entrada
Pr	Numero de Prandtl
Ns	Potencia de salida
q	Energía útil (calor)
r	Radio



S Radiación solar absorbida por unidad de área de colector.

T Temperatura

t Tiempo

U Coeficiente de transferencia de calor total

U_L Coeficiente de pérdida de calor total en el colector

V Volumen

d Distancia entre tubos

CARACTERES GRIEGOS

ε Emitancia

η Eficiencia

θ Ángulo

μ Viscosidad dinámica

ν Viscosidad cinemática

δ Densidad

σ Constante de radiación de Stefan-Boltzmann.

τ Transmitancia

SUBÍNDICES

a Ambiente

c Colector, cubierta

f Final, fluido

i Entrada, interior

o Salida, exterior

p Placa

u Útil, viento



1. RESUMEN

En la actualidad la evolución de las energías alternativas, manifiestan el beneficio del uso de los recursos naturales en el desarrollo de proyectos de energías solares, donde el sol, es el principal proveedor de energía. También el hombre, vista la imperiosa necesidad de agilizar, mejorar y garantizar la calidad de sus cultivos, busca en la naturaleza, alternativas que faciliten el secado de sus productos a través de la construcción de máquinas elaboradas por su propia mano; uno de estos proyectos, se construirá para ser monitoreado en el centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba, aprovechando la intensa radiación solar del lugar. Lo cual nos permite demostrar resultados aceptables de la secadora solar con los distintos tipos de secado tradicional que realizan actualmente, además el conocimiento adquirido será impartido con los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Electromecánica, para contribuir con el desarrollo de la Universidad Nacional de Loja.



1.1. SUMMARY

Actually the alternative energies revolution show us in the benefit of the use of the natural resources in the development of solar energies projects, where the sun is the main one supply of energy. Also the people, viewing the imperious need of activate, improve and warrant the quality of their crops, search in the nature choices that facilitate the dried of their crops trough of the building of elaborated machines by their own hand; one of these projects, will be builded for being monitored in Binacional of Formation Technical Zapotepamba center, drawing the intense solar radiation of the place.

That which allows us to demonstrate acceptable results of the drying lot with the different types of traditional drying that carry out at the moment, the acquired knowledge will be given with the students in the career of electro mechanic engineering, for contribute in the development of “University National of Loja”



2. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen dificultades para el aprovechamiento adecuado de los recursos naturales, debido a la falta de información sobre las Energías Renovables, lo que provoca la enajenación al uso de combustibles fósiles, que son de elevados costos y no están al alcance de las familias de escasos recursos económicos y la pequeña empresa.

Las Energías Renovables tienen como finalidad principal disminuir la contaminación ambiental y los costos de los procesos para la obtención de Energía (combustibles y energía eléctrica). La fuente de energía más grande es el Sol. Esta fuente proporciona una gran cantidad de energía en forma de calor, pudiendo ser almacenado y transformado, de acuerdo al proceso que se desee realizar.

En cuanto al proceso específico del secado del grano del maíz y maní con paneles solares de placa plana, el cantón Paltas es el segundo productor principal de maní a nivel del país, y está entre los principales productores de maíz a nivel provincial, lo que ocasiona que se genere gran demanda de estos productos, en especial en la parroquia Casanga en donde existe la mayor producción de maíz y maní.

Podemos afirmar que el principal factor que influye en la calidad del maíz y maní almacenado es la humedad. Los granos húmedos constituyen un medio ideal para el desarrollo de microorganismos e insectos que dañan el producto y deterioran su aspecto, el cual es fundamental para competir en el mercado, especialmente en el cantón Paltas, donde el secado de maní y maíz constituye una parte importante del proceso de producción.

La experiencia existente en esta tecnología, su simpleza, y la necesidad de impulsar el uso de la energía solar para la preservación de granos justifica el desarrollo de secadoras solares. Tanto por razones económicas (escasez de hidrocarburos) como ecológicas (alteración de la atmósfera y el suelo), es imperativo el desarrollo de nuevas alternativas energéticas, que sean menos agresivas contra el ambiente.



El objeto del presente estudio fue el de obtener experiencia en la optimización de la eficiencia energética de un secador solar de maní y maíz, existente en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba (CBFTZ) cantón Paltas.

Los resultados obtenidos alentarán nuevas investigaciones que permitirán diseños de sistemas más eficientes, que a futuro puedan ser competitivos con sistemas convencionales utilizados actualmente.



3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. ENERGÍA SOLAR

3.1.1. Radiación solar.

La radiación solar es la energía emitida por el Sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. El sol emite energía en forma de radiación de onda corta. Después de pasar por la atmósfera, donde sufre un proceso de debilitamiento por la difusión, reflexión en las nubes y de absorción por las moléculas de gases (como el ozono y el vapor de agua) y por partículas en suspensión, la radiación solar alcanza la superficie terrestre oceánica y continental que la refleja o la absorbe. La cantidad de radiación absorbida por la superficie es devuelta en dirección al espacio exterior en forma de radiación de onda larga, con lo cual se transmite calor a la atmósfera.

Para medir y registrar la radiación solar, utilizan estaciones meteorológicas o sensor de radiación llamado Piranómetro. La radiación solar es ofrecida en unidades de potencia, la unidad de medida es watios por metro cuadrado (w/m^2).

3.1.2. Insolación Solar

La insolación solar también llamada irradiación solar, es la cantidad de radiación solar que se distribuye de manera desigual en la superficie de la tierra. Los valores se expresan generalmente en ($kwh/m^2/dia$), esta es la cantidad de energía solar que alcanza un metro cuadrado de la superficie terrestre en un solo día.

En el caso de Ecuador, su ubicación permite registrar promedios altos de insolación (alrededor de $3,82KWh/m^2$ por día), situación que mejora considerablemente en la provincia de Loja como se observa en la figura 1.

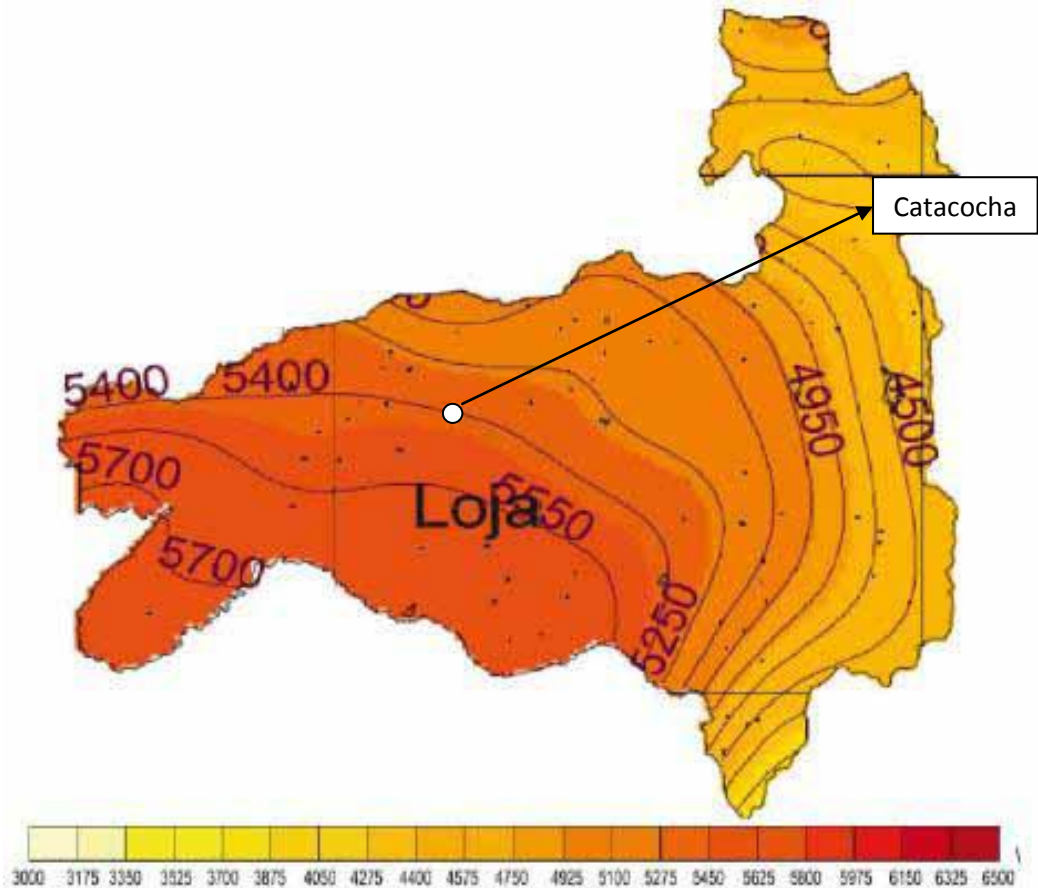


Figura 1: Promedio de insolación solar en (kwh/m²/día) en la provincia de Loja.

(CONELEC, 2008)

La radiación solar se clasifica en:

Radiación directa.- Es la que llega a la Tierra en línea recta desde el círculo solar, también experimenta cambios en su dirección.

Radiación difusa.- La que sufre dispersión en la atmosfera y no tiene una dirección única o preferente. Es capaz de alcanzar una superficie aunque no esté expuesta al sol.

Radiación reflejada.- Es aquella reflejada por la superficie terrestre. La cantidad de radiación depende del coeficiente de reflexión de la superficie.

Radiación Total.- Es la suma de la radiación directa y difusa.

Radiación global.- Es la radiación total. Es la suma de las tres radiaciones que son: directa, difusa, y reflejada. En la figura 2, se indica las diferentes tipos de radiación:

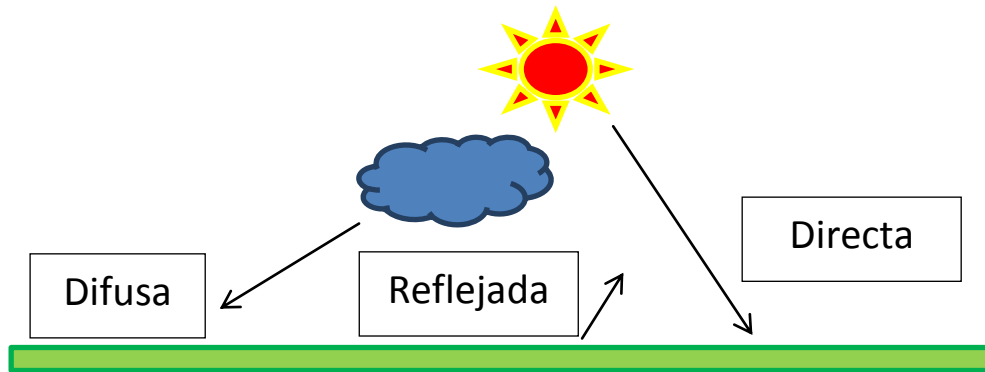


Figura 2: Tipos de radiación.

3.1.3. Usos de la energía solar

Posibles usos de la energía solar en la que puede ser utilizada:

- Calefacción doméstica
- Refrigeración
- Calentamiento de agua
- Destilación
- Generación de energía
- Fotosíntesis
- Hornos solares
- Cocinas
- Evaporación
- Acondicionamiento de aire
- Control de heladas
- Secado

En este proyecto de investigación la energía solar será utilizada para el secado de granos, en especial, para el maní y maíz.

3.2. SECADO SOLAR

3.2.1. Definición.

Es la remoción de humedad de una sustancia, involucrando los fenómenos de transferencia de calor y masa, en forma simultánea.

La transferencia de masa ocurre cuando el sólido pierde humedad y la transferencia de calor se verifica cuando el medio ambiente entrega calor al sólido el que se emplea en la evaporación del agua que se va incorporando al aire a medida que transcurre el proceso de secado. Una de las formas usuales de secado consiste en hacer circular una corriente de aire caliente por sobre el material a secar.



3.2.2. Objetivo.

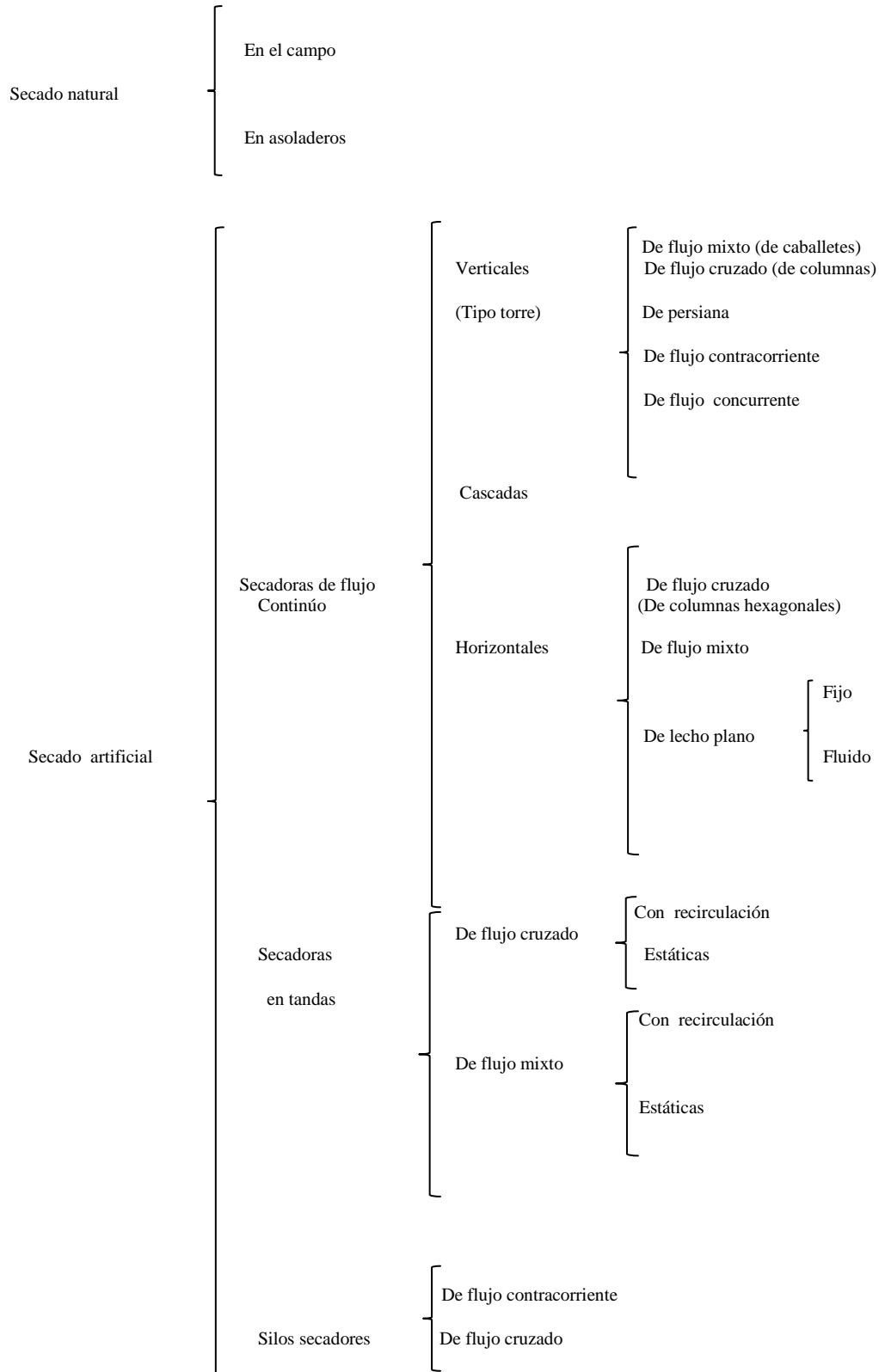
Es reducir el contenido de humedad del producto a un nivel que limite el crecimiento microbiano y las reacciones químicas.

- Evita el deterioro de los granos por hongos al cambio climático.
- El grano obtiene características óptimas para su almacenaje.
- Se mantiene la calidad del grano para su eventual comercialización.



3.2.3. Tipos de secadoras de granos.

Las máquinas secadoras pueden clasificarse de la siguiente forma:





3.2.4. Secado natural

Este simple método de secado tiene algunas ventajas:

- No requieren de ningún costo adicional, ya que no utilizan combustible.
- No necesitan estructuras permanentes, lo que permite que después de la estación de secado, el terreno quede disponible para la agricultura o para otros fines.

Pero también tiene muchas limitaciones:

- Los niveles finales de humedad que se alcanzan no son lo suficientemente bajos, lo que aumenta las posibilidades de deterioro del producto durante el almacenado. En otras ocasiones, el producto alcanza niveles de secado superiores a los límites recomendables.
- El producto está expuesto a la contaminación por el polvo y la suciedad y a la infestación por insectos.
- Al permanecer a la intemperie puede ser dañado o hurtado por las aves u otros animales.
- Se requiere de mano de obra adicional para extender el grano, voltearlo y recogerlo cuando hay riesgo de lluvia.
- Los granos pueden adquirir un color oscuro y el nivel de ciertos nutrientes, particularmente las vitaminas, puede disminuir por la exposición directa al sol (este riesgo es mayor en algunos productos que en otros).

Entre los métodos de secado natural más usados en el Centro Binacional de formación técnica Zapotepamba, son los siguientes:

3.2.4.1. Secado al sol

En la mayoría de la parroquia de Casanga es frecuente ver productos alimenticios extendidos en los patios traseros, en especial en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba. Los granos se secan extendiéndolos sobre los caminos, tendales, aprovechando el calor absorbido por estas superficies. Como se observa en la figura 3.



Figura 3: Secado de frejol al sol en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba.

3.2.4.2. Secado a la sombra

Es un proceso lento, los granos se secan en balcones o en aleros de las viviendas en la parroquia Casanga, como se observa en la figura 4, así no hay tantas posibilidades de que el producto se oscurezca, se decolore o pierda vitaminas, y está protegido de la lluvia. Sin embargo, los granos están más expuestos al desarrollo de hongos.



Figura 4: Secado a la sombra de maíz en una vivienda del sector Casanga.

3.2.5. Secado artificial

Entre todas las secadoras y de acuerdo al favoritismo se optó por la construcción del secador que se va a describir a continuación.

3.2.5.1. Secadora solar de aire forzado para granos.

Esta secadora funcionó en el secado de arroz en Macará originando un secado eficiente. Actualmente la secadora se encuentra deshabilitada como se observa en la figura 5, en el Centro Binacional de formación técnica Zapotepamba, debido a daños en la máquina como se observa en la figura 6 y son: tubería deteriorada, vidrios rotos, fisuras en los colectores, en el silo, entre otros), provocando mala eficiencia que esta produce en el secado de granos (maní y maíz). La secadora tiene una capacidad máxima de 3 quintales, utiliza el método de inyección de aire caliente forzado.



Figura 5: Situación actual de la secadora solar de arroz en el Centro Binacional de formación técnica de Zapotepamba.



Figura 6: Situación actual de los colectores y del silo en el Centro Binacional de formación técnica de Zapotepamba.

La instalación está conformada por las siguientes partes:

3.2.5.1.1. Colectores Solares

Como se observa en la figura 7, la máquina cuenta con dos colectores solares de placa plana de $1.06m^2$ de superficie; la placa está construida de aluminio, los tubos existentes en los colectores son de aluminio tipo paralelo debido a que el flujo del fluido de trabajo es mayor, los tubos longitudinales tienen un diámetro interior de 1.3cm y una longitud de 95cm y con una separación entre ellos de 7cm; en tanto que los tubos cabezales son cuadrados tienen 3cm x 3cm de área y una longitud de 1m, cuenta además con 2 vidrios templados para evitar las pérdidas de calor por la parte superior de los colectores y 2 vidrios normales, para evitar el ingreso de polvo y humedad que restarían eficiencia a los colectores y están recubiertos de lana de vidrio a sus alrededores y parte inferior para de la misma manera evitar pérdidas.



Figura 7: Colectores del secador solar de maíz y maní.

3.2.5.1.2. Tanque de reserva

El tanque de reserva que se observa en la figura 8, tiene una capacidad de 25 galones está aislado con lana de vidrio dentro de otro tanque para que se tenga una mínima cantidad de pérdidas de calor tiene dos salidas una al radiador y otra directo a los colectores, la entrada del aceite al tanque se realiza directamente de la salida de los colectores.



Figura 8: Tanque de reserva del secador solar de maíz y maní.

3.2.5.1.3. Radiador

El tipo de radiador que se observa en la figura 9, es de flujo cruzado de tubería de cobre con aletas, la entrada y salida de aire es de 4 pulgadas de diámetro, es de color negro debido a que absorbe radiación solar con los cuales desaparecerían en cierta parte las pérdidas de calor al ambiente este intercambiador de calor es la parte principal de la secadora.



Figura 9: Radiador del secador solar de maíz y maní

3.2.5.1.4. Ventilador.

El ventilador que se observa en la figura 10, es de marca Electric Blower, modelo SY05 de 4 pulgadas de diámetro para la salida del aire y cuenta con un regulador del caudal de salida, para utilizarlo de acuerdo a las necesidades que se tenga, es de tipo radial y se lo utiliza para introducir aire caliente pasando por el radiador para secar los granos en el silo.



Figura 10: Ventilador del secador solar de maíz y maní.

La potencia del aire se da en la siguiente fórmula:

$$P_{sal} = Q_{aire} * \rho_{aire} * C_{p_{aire}} * \Delta T_p \quad (1)$$

Donde:

T_{∞} = Temperatura promedio del sector

T_{pm} = Temperatura promedio de monitoreo a la entrada del radiador

Q_{aire} = Caudal del aire a calentar para el secado

C_{paire} = Calor específico del aire

ρ_{aire} = Densidad de aire

3.2.5.1.5. Bomba

La bomba que se observa en la figura 11, es de marca Paolo de 0,5 HP para 110V con una frecuencia de 60Hz, cumple el ciclo de bombeado del aceite térmico que pasa por todo el sistema, teniendo la temperatura necesaria en los colectores, se hace funcionar el sistema para que fluya el aceite, una vez obtenida la temperatura necesaria en el radiador para que exista el intercambio de calor hacia el silo se apaga la bomba y se renueva el ciclo ya que se obtenga la mínima temperatura en el radiador detectada por el termostato, estas temperaturas son regulables según tipo de grano.



Figura 11: Bomba del secador solar de maíz y maní.

3.2.5.1.6. Válvula check.

La válvula check que se muestra en la figura 12, sirve para hacer circular el fluido en un solo sentido, en este caso al bombear el aceite al tanque de reserva luego de haber pasado por el radiador impide que el fluido retorne a la bomba una vez que se apague al obtener la temperatura en el radiador según los rangos predefinidos y permita el paso del aceite a los colectores solares.



Figura 12: Válvula check del secador solar de maíz y maní.

3.2.5.1.7. Válvula de desfogue

Esta válvula que se observa en la figura 13, sirve para evitar sobrepresiones en el tanque de almacenamiento debido al movimiento del fluido.



Figura 13: Válvula de desfogue del secador solar de maíz y maní.

3.2.5.1.8. Termostato

El termostato que se muestra en la figura 14, sirve para regular la temperatura del radiador y por ende la temperatura deseada del aire que ingresa al silo, con rangos que se elije de acuerdo al grano a secar o a la temperatura apropiada funcionando como un relé permitiendo que se encienda o se apague el motor de la bomba con la variación de temperatura.



Figura 14: Termostato del secador solar de maíz y maní.

3.2.5.1.9. Silo

El silo que se observa en la figura 15, es donde se va a almacenar el grano que se va a secar, las paredes están construidas de lana de vidrio y planchas de metal para evitar que se disipe con rapidez el calor. La cámara de secado del silo tiene las siguientes dimensiones 1m x 1m x 0.3m.



Figura 15: Silo del secador solar de maíz y maní.



El volumen de silo se lo puede calcular mediante la fórmula:

$$V_{silo} = L * a * e \quad (2)$$

Se define la demanda o masa de arroz ($m_{mani,maiz}$) a secar se define por la formula:

$$m_{maiz} = \rho_{maiz} * V_{silo} \quad (3)$$

- **Construcción:** Se requiere de capacitación en un taller de ingeniería.
- **Mantenimiento:** Se requiere de un pequeño taller.
- **Operación:** Simple, previa capacitación.
- **Costo:** Medio ha elevado, categoría B/C.
- **Aplicación:** Este tipo de secadora ha sido utilizada en la India para secar 50 kg de arroz por diez a catorce horas, hasta que éste alcance un contenido de humedad de 12%. Otras aplicaciones incluyen pescado en la India y fréjoles en el Brasil.
- **Ventajas:** En condiciones climáticas apropiadas, proporciona un método alternativo de secado a granel que no requiere del uso de sofisticados sistemas de quemadores. El costo de combustible por tonelada de producto seco es muy bajo. La ventilación de aire forzado acelera el proceso de secado.
- **Desventajas:** Depende en gran medida del clima. Es mucho más costoso que los sistemas descritos. No se conoce el grado de aceptación por los productores. Requiere de electricidad. El sistema de calentamiento puede ser de cualquier tipo, siempre que esté dimensionado para aumentar la temperatura del aire hasta los límites recomendados para cada producto y que no haya contaminaciones de él por el aire que proviene de la fuente de calor. El ventilador, generalmente, es del tipo centrífugo, por la presión estática que se necesita en este sistema. La cámara de distribución de aire sirve para transformar la presión dinámica del aire en presión estática, uniformando la distribución del aire dentro del secador. La cámara de secado es un recipiente con fondo de plancha de metal perforado, capaz de soportar el peso del producto húmedo. **(CHICAIZA RIVERA, 2007).**



3.3. FACTORES QUE INTERVIENEN PARA LA EFICIENCIA DE LA SECADORA

3.3.1. Colectores solares de placa plana

3.3.1.1. Introducción

Un colector solar transforma la energía solar incidente en otra forma de energía útil. Difiere de un intercambiador de calor convencional en que en éstos se realizan intercambios térmicos entre fluidos con elevados coeficientes de transferencia térmica.

Con el programa de cálculo desarrollado por el CEPIS/OPS se ha diseñado dos modelos de colectores solares denominados como CS1 y CS2. Ambos modelos son muy similares, variando solamente en la placa de absorción. En el modelo CS1, la placa está constituida por ocho tubos de cobre y aletas de hierro galvanizado, mientras que en el modelo CS2 la placa está constituida por 11 tubos de hierro galvanizado y aletas del mismo material. La eficiencia global de estos modelos se presenta en la tabla 1

Tabla 1. Eficiencias globales en sistemas puntual y continuo.

	MODELO CS1	MODELO CS2
Eficiencia global diaria sistema puntual (η_{gsb})	43%	42%
Eficiencia global diaria sistema (η_{gsc})	53%	52%

3.3.1.2. Radiación

Es de mucha importancia definir la radiación absorbida por el colector por unidad de área de superficie de absorción, S , como la diferencia entre la radiación total solar incidente G_T y las pérdidas ópticas de la siguiente manera.

$$S = H_T * \varepsilon_c * \varepsilon_p \quad (4)$$

H_t radiación solar promedio disponible



$[\varepsilon_p]$ emitancia de la placa

$[\varepsilon_c]$ emitancia de la cubierta de vidrio

3.3.1.3. Capacidad energética teórica del colector

3.3.1.3.1. Coeficiente total de pérdidas de calor

En este caso utiliza dos cubiertas de vidrio, c_1 y c_2 . Este nos muestra que, de la energía absorbida en el colector (S) a través de la placa absorbidora (p), que se encuentra a la temperatura T_p ; parte se convierte en calor útil (Q_u) y parte tiende a disiparse hacia los alrededores que se encuentran a la temperatura ambiente T_a , a través de las cubiertas de vidrio que se encuentran respectivamente a las temperaturas T_{c1} y T_{c2} . Esto también ocurre a través del fondo y lados del colector que se encuentran a una temperatura T_b . La cantidad de energía disipada depende de las diversas resistencias que vienen esquematizadas en el diagrama y que en este caso son 5. Se puede observar que las resistencias R_1 , R_2 , R_3 y R_5 , son a la vez resistencias equivalentes que representan la oposición a las pérdidas de calor por convección ($1/hc$) y radiación ($1/hr$) a través de la parte superior y posterior del colector. R_4 constituye la resistencia a la conducción a través del aislante térmico por la parte posterior y lados del colector. La R_5 es usualmente muy pequeña y por lo tanto despreciable. La idea es tratar de obtener una resistencia equivalente (R_{eq}).

Esta resistencia es igual al inverso del coeficiente total de pérdidas de calor, $R_{eq} = 1/U_L$. Podemos decir entonces, que U_L es la suma de varios coeficientes de pérdidas de calor, que se pueden expresar también como el inverso de sus resistencias, así:

Las pérdidas totales del colector esta dado por la fórmula siguiente:

$$U_L = U_{sup} + U_b + U_{lad} \quad (5)$$

3.3.1.4. Conductancia por la parte superior (U_{sup})

La ecuación empírica, desarrollada por Klein (1979) luego del procedimiento básico de Hottel y Woertz (1942) y Klein (1975), es utilizada para el cálculo de la conductancia por la parte superior del colector simplifica el procedimiento mediante resistencias



térmicas. Esta ecuación se utiliza para temperaturas de la placa de absorción entre 25 y 225 °C, con un margen de error aproximado de $\pm 0,3 \text{ W/m}^2$.

$$U_{sup} = \frac{1}{\frac{N}{\frac{C(T_p - T_a)}{N+f} + hv} + 1} + \frac{\sigma(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{\frac{1}{\epsilon_p + 0.00591Nhv} + \frac{2N+f-1+0.133\epsilon}{\epsilon_c} - N} \quad (6)$$

Donde:

N = Número de cubiertas

T_p = Temperatura de la placa [°K]

T_a = Temperatura ambiente [°K]

ε_p = Emitancia de la placa

ε_c = Emitancia de la cubierta de vidrio

u = Velocidad del viento [$\frac{m}{s}$]

σ = $5.76 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2K^4}$ (Coeficiente de radiación de Stefan-Boltzmann)

θ = Inclinación del colector

hv = $5.7 + 3.8u [\frac{W}{m^2C}]$ (Coeficiente de transferencia de calor del viento)

f = $(1 + 0.089hv - 0.1166hv \times \epsilon_p)(1 + 0.07866N)$ constante

C = $520 (1 - 0.000051\theta^2)$ constante

ε = $0.430 \left(1 - \frac{100}{T_p}\right) = 0.313$ constante

3.3.1.5. Conductancia por la parte inferior del colector [U_b]

La conductancia se evalúa conociendo la resistencia térmica conductiva R₁ y la resistencia térmica conductiva se desprecia por ser muy pequeño su valor.

$$U_b = \frac{1}{(R_{11} + R_{12})} \quad (7)$$

R₁ Esta dada por la conductividad del aislante K_a y la longitud transversal del mismo.

R₂ Esta dado por el coeficiente conductivo de transferencia de calor entre la placa de absorción y el ambiente el cual en colectores bien aislados es despreciable.



$$U_b = \frac{1}{R_1} = \frac{K_a}{l_{a1}} \quad (8)$$

K_a = conductividad térmica del aislante (lana de vidrio)

l_{a1} = espesor del aislante en el fondo.

3.3.1.6. Conductancia por la parte lateral (U_{lad})

Las pérdidas de calor a través de los lados, se evalúan de manera similar, de esta manera:

$$U_{lad} = \frac{Ka*\eta_{col}}{la'Ac} \quad (9)$$

Donde:

η_{col} eficiencia del sistema

la' espesor del aislante por los lados.

Ka' conductividad del aislante por los lados.

Ac área del aislante por los dos lados

3.3.1.7. Fator de remoción de calor (F_R)

Se define el factor de remoción de calor F_R como el parámetro que relaciona el calor de calentamiento que se obtiene efectivamente en el colector, con el que se obtendría si toda la superficie del colector se encontrara a la temperatura del fluido a la entrada

$$F_R = \frac{\dot{m}C_{p_{ac}}(T_{fo} - T_{fi})}{A_c(S - U_L(T_f - T_a))} \quad (10)$$

Se define mediante la siguiente ecuación el flujo másico del colector.

$$\dot{m}_{col} = \frac{m_{aceite}}{N} \quad (11)$$



La temperatura principal de la placa T_p puede ser utilizada para calcular el calor útil del colector:

$$Q_u = A_c \cdot FR [S - UL(T_p - T_a)] \quad (12)$$

Donde:

A_c Área del colector

$[T_p]$ Temperatura de la placa promedio

$[T_a]$ Temperatura ambiente

S Radiación absorbida

UL Coeficiente total de pérdidas de calor

FR Factor de remoción

3.3.1.8. Eficiencia del colector

La ecuación básica para calcular la eficiencia instantánea del colector es:

$$\eta_i = \frac{Q_u}{A_c H_T} \quad (13)$$

3.3.2. Eficiencia del sistema.

Se define como la relación entre la cantidad de energía destinada al secado y la potencia de entrega de los colectores, la eficiencia del sistema está dada por la fórmula siguiente:

$$\eta_{sis} = \frac{P_s}{P_e} \quad (14)$$

3.3.3. Eficiencia global del sistema.

Se expresa como la relación entre la cantidad de energía destinada al secado y la potencia global del sistema está dada de la siguiente fórmula.

$$P_g = Ht * A_{coll} \quad (15)$$

Donde:



H_t radiación solar promedio disponible

A_{colt} área total de los colectores

La eficiencia global está dada por la siguiente fórmula:

$$\eta_g = \frac{P_{salida}}{P_g} \quad (16)$$

3.3.4. Fluidos de transferencia térmica

Un fluido para transferencia térmica es el fluido al que se le adiciona temperatura, normalmente por acción de un quemador, resistencia eléctrica o a través de una fuente de energía como el sol; y es al que posteriormente se le extrae esta energía, normalmente mediante un intercambiador de calor, para ser empleado en un proceso. Si este proceso se lleva a cabo en un sistema cerrado, el fluido nunca está en contacto con el proceso y sólo se constituye en la fuente de energía para éste.

La potencia disponible para el calentamiento del aceite es el resultado de la siguiente ecuación:

$$P_{ds} = A_{tcol} \times H_t \times \eta_{col} \quad (17)$$

A_{tcol} = Area total de los colectores $2m^2$

η_{col} = Eficiencia del colector por ser sistema continuo CS2 0.52 (Valor tomado tabla 1)

H_t = Energía solar promedio del sector en las horas de trabajo $\frac{W}{m^2}$

El tiempo que demora en calentarse el aceite se puede determinar partiendo de la fórmula de potencia.

$$P_{ds} = \frac{m \cdot Cp \cdot \Delta T}{t} \quad (18)$$

Temperatura inicial del aceite T_{oac}



Temperatura final del aceite T_{fac}

Volumen de aceite = 12 galones = 0.04542 m^3

Densidad del aceite = $\frac{Kg}{m^3}$

Variación de temperatura ΔT

3.3.5. Transferencia real de calor

La energía útil $Q_u [W]$ es la cantidad de energía en términos de calor añadida al fluido que circula a través de la placa de absorción. Ésta se calcula usando la siguiente ecuación:

$$q = \dot{m}_{aceite} * C_{paceite} * (T_{ci} - T_{co}) \quad (19)$$

Donde:

\dot{m} es el flujo másico del fluido [kg/s].

C_p es el calor específico del fluido [J/Kg°K].

T_{ci} es la temperatura del fluido a la salida del colector.

T_{co} es la temperatura del fluido a la entrada del colector.

También se determina el caudal del aceite mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{v}{t} \quad (20)$$

Donde:

Q caudal del aceite

v volumen

t tiempo

Se calcula el flujo másico del aceite mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{m}_{ace} = Q * \rho_{aceite} \quad (21)$$

Donde:

ρ_{aceite} densidad del aceite



3.3.5.1. Aceite para transferencia térmica

Los líquidos térmicos fueron introducidos en el mercado en los años 1930 y son usados para transportar energía térmica en procesos de calentamiento.

Son fluidos basados en aceites minerales parafínicos, altamente refinados y cuidadosamente seleccionados para proporcionar un performance superior en sistemas de transferencia térmica. Los aceites pueden ser del tipo aceites minerales o aceites con base sintética.

Los fluidos de transferencia de calor y aceites térmicos varían en función de la composición química. Los productos sintéticos incluyen compuestos del éster y diester, fluidos de poliglicol y agua-glicol, y grasas y aceites con base de silicona. Los productos no sintéticos consisten de petróleo o aceites minerales y pueden incluir agua. Los productos sintéticos son más caros que los fluidos no sintéticos, pero proveen una mejor resistencia a la llama y refrigeración.

3.3.5.2. Selección de aceites térmicos: propiedades y limitaciones.

Existen en el mercado una serie de diferentes marcas de líquidos térmicos: para bajas temperaturas (250°C), medias (310°C) y altas temperaturas (360°C).

La selección correcta, se debe hacer de acuerdo a la temperatura máxima del film y no de acuerdo a la temperatura promedio.

Los aceites térmicos tienen una vida útil aprox. 3 a 5 años (en procesos industriales). Normalmente, los que soportan una mayor temperatura son también los que tienen una mayor vida útil en condiciones normales.

Se van degradando con el tiempo y uso. Cuando se degradan, pierden sus características originales, se carbonizan y se incrustan dentro de los tubos, poniendo en peligro la vida útil del calentador de aceite.

Recordemos que los aceites térmicos no son compatibles entre sí, por lo que no se deben mezclar, ya que al mezclar podrían provocar una explosión; es aconsejable que



con el aceite que se inicio se lo debe utilizar siempre, además se recomienda no agregar aditivos suplementarios ya que los mismos podrían disminuir el rendimiento del aceite.

3.3.5.2.1. Aceite térmico Gulftherm

Es un aceite lubricante de la más alta calidad, desarrollado para aplicarse en el tratamiento térmico general y sistemas de transferencia de calor; previniendo la oxidación y la corrosión, elaborado con básicos minerales vírgenes y complementado con un paquete único de aditivos que le confieren las características necesarias para cumplir con su función primordial que es la transferencia de calor.

Por su baja viscosidad permite un enfriamiento más rápido de la pieza, con lo que se mejora la estructura cristalina evitando así la deformación de las piezas donde se encuentre presente.

Beneficios del Gulftherm:

- Excelente estabilidad térmica
- Baja tendencia a la formación de depósitos y/o carbonización
- Elevado punto de inflamación
- Excelente control en la despumación a temperaturas elevadas

Recomendaciones

Aplicable en sistemas de transferencia de calor del tipo cerrado que operen a temperaturas de hasta 600°F (315° C.) y en sistemas abiertos que operen a temperaturas de hasta 400°F (240° C.) se recomienda para operaciones de baños de calentamiento, donde el uso de agua como medio de calentamiento no es aconsejable pues puede ocasionar oxidaciones y corrosiones por la presencia de humedad en el sistema y a su vez forma pequeños puntos no deseables de roturas internas por el enmohecimiento y crecimiento de bacterias u hongos y tener bajos puntos de ebullición máximo 100° C.

Aplicaciones:

- Recomendable para procesos que requieran de altas temperaturas y procesos industriales de alta productividad.



- Secado: pinturas, tintas, cerámicas, tabacos, textiles, papel.
- Ramas textiles.
- Fabricación en serie de madera prensada.
- Freidores industriales: papas fritas, etc.
- Reactores químicos.
- Tanques de petróleo.
- Hule, plástico, fibra, etc.
- Generación de vapor sin quemador.

Sistemas solares como: hervidores, calentadores de agua y para cocinas solares con almacenamiento térmico.

3.4. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CENTRO BINACIONAL DE FORMACIÓN TÉCNICA ZAPOTEPAMBA (CBFTZ).

El Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba (CBFTZ) tiene una cobertura binacional, es decir está en la capacidad de interactuar en la región Sur del Ecuador y Norte de Perú, en formación académica desde el área educativa, producción con enfoque agroecológico como se aprecia en la figura 16; y la investigación con políticas de participación comunitaria rescatando saberes y material germoplásmico del área de influencia; aparte de brindar educación formal, el CBFTZ, brinda a los productores de la zona binacional Ecuador-Perú, educación no formal que permite capacitarlos debidamente en algunos ámbitos agropecuarios con enfoque agroecológico.¹

El CBFT-Z está ubicado en el sector de Zapotepamba del Valle de Casanga, perteneciente a la Parroquia Casanga, Cantón Paltas, Provincia de Loja. La distancia de Loja al CBFT-Z es de 132 Km., aproximadamente a dos horas de viaje vía terrestre.

¹(CORPORACIÓN CATAMAYO, 2009)



Figura 16. Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba (CBFTZ).

A continuación en la tabla 1, se expone las características globales del Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba (CBFTZ).

Tabla 2. Datos generales del Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba (CBFTZ).

UBICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Provincia	Loja
Cantón	Paltas
Parroquia	Casanga
Latitud sur	04°01'01"
Latitud oeste	79°46'27"
Altitud	900 m.s.n.m.
Zona de Vida	Bs-T(Bosque seco-Tropical)
Precipitación	660mm/año
Temperatura Media	24°C
Área Total	190ha
Área Productiva	40ha

(CORPORACIÓN CATAMAYO, 2009)

3.4.1. Características Eco-climáticas

Las características eco-climáticas de Zapotepamba son: pertenece a la zona de vida de bosque seco tropical (Bs-T) según sierra, de clima subtropical seco, con una precipitación media anual de 660mm, encontrándose un régimen pluviométrico definido con un déficit de lluvia durante los meses de mayo a diciembre; y, precipitaciones concentradas en los meses de enero, febrero, marzo, y abril; tiene una temperatura media anual de 24°C.

El Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba (CBFTZ) como se aprecia en la figura 17, cuenta con una finca de 195.7 has, de las cuales 40 has son potencialmente regables, las mismas que están ubicadas en la parte baja de la finca; y, las 120,7 has son áreas de secano, infraestructura y formaciones naturales de bosque seco.

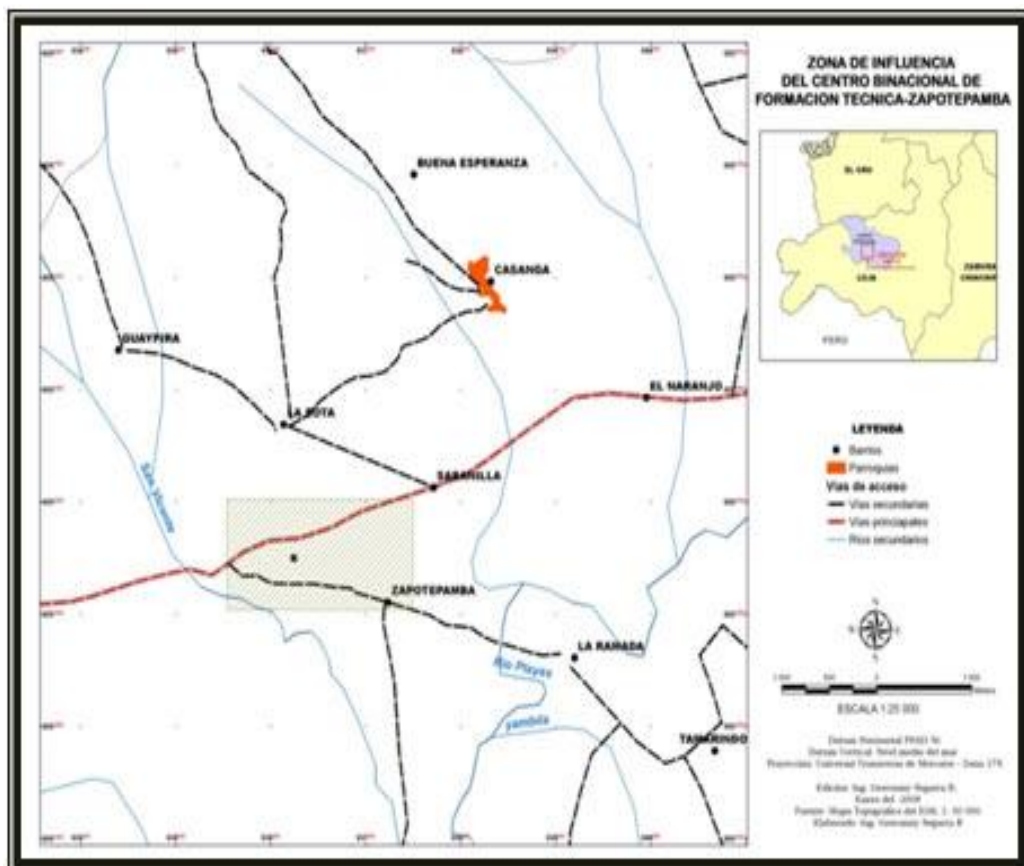


Figura 17: Ubicación geográfica del Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba (CBFTZ).

(CORPORACIÓN CATAMAYO, 2009)



3.5. SECADO DE GRANOS

3.5.1. Introducción

Preservar los alimentos por medio del secado permite usarlos cada vez que se necesiten. Tal vez por ello, esta técnica es una de las más antiguas. Probablemente su práctica viene de la época en que nuestros ancestros pasaron de cazadores recolectores a agricultores, y desde ese momento se ha mantenido como uno de los métodos más usados para conservar los alimentos.

Los productos que tradicionalmente han sido sometidos al secado son, en primer lugar, los cereales, las menestras y, en menor grado, las carnes, el pescado, y algunos vegetales, frutas y hierbas. Es importante señalar que todos los métodos de secado se han ido desarrollando debido a que resultaban convenientes o aceptables para determinadas condiciones ambientales.

Para obtener la densidad del maíz o maní, se obtiene dividiendo el peso del maíz, maní (W_m) por el volumen de almacenamiento del grano (V_m), esta fórmula es la siguiente:

$$\rho_m = \frac{W_m}{V_m} \quad (22)$$

3.5.2. Parámetros a considerar en el secado de granos.

Los parámetros que influyen en la tasa de secado, cuando se secan granos con aire forzado, son: la temperatura, la humedad relativa y el caudal del aire para la cámara de secado.

3.5.2.1. Temperatura de los granos.

La temperatura del aire de secado es el parámetro de mayor flexibilidad en un sistema de secado a altas temperaturas e influye significativamente en la tasa y la eficiencia de secado y en la calidad del producto final. La temperatura de secado, junto con los flujos de aire y de granos, determina la cantidad de agua evaporada en un secador. Por ejemplo: una baja temperatura pero empleando una velocidad elevada produce los mismos efectos perjudiciales. Es decir a mayor humedad es más delicado y requiere



menos temperatura, por el contrario a menor humedad, es más resistente a entregar humedad y requiere mayor temperatura, para extraer igual cantidad de agua por unidad de tiempo.

Si secamos de 22 a 14 % lo podemos hacer en 2 horas, extrayendo 4 % por hora (secado suave), ideal.

Se puede hacer en 45 minutos, extrayendo más de 10 % por hora (secado forzado), perjudicial.

Y en general, una recomendación permanente es no extraer más de un 3 o 4 % por pasada por la secadora. En la tabla 3, indica las temperaturas, mínimas y máximas admitidas para algunos granos en el proceso de secado son:

Tabla 3. Temperaturas, mínimas y máximas admitidas para algunos granos.

PRODUCTOS	TEMPERATURA MÍN. (°C)	TEMPERATURA MÁX. (°C)
trigo	45	50
soja	25	45
maíz	45	60
maíz con mazorca	60	75
maní	35	45
arroz	40	50
frejol	40	55
Semillas en general	35	40

3.5.2.2. Humedad de los granos

Para obtener un producto seco de mejor calidad se debe alcanzar el equilibrio entre un nivel máximo de secado que permita obtener eficiencia económica y calidad micro biológica y un mínimo de pérdida de componentes esenciales en el alimento. Además, se debe tener en cuenta la forma como el alimento reabsorberá la humedad cuando se use. Una vez que se han retirado de la secadora, los productos secos tienden a absorber humedad del ambiente. La cantidad de humedad que un alimento puede absorber depende del producto y del clima como se observa en la tabla 1.



Tabla 4. Contenido de humedad de algunos productos y temperaturas máximas tolerables.

PRODUCTOS	HUMEDAD	
	FRESCO (%)	SECO (%)
GRANOS		
arroz	24	14
maíz	35	15
poroto	70	5
maní	40	9
café	50	11
TUBÉRCULOS		
papa	75	13
mandioca	62	13
batata	80	13
HORTALIZAS		
arveja	80	5
cebolla	80	4
Hortalizas en hoja	80	10
tomate	95	8
repollo	94	4
zanahoria	70	5
locote y ají	86	5
ajo	80	8 a 10
FRUTAS		
durazno	85	18
manzana	84	14
banana	80	15
guayaba	80	7
uva	80	15 a 20
mango	85	12 a 15
mamón	85	2 a 15
pescado (sin salado)	80	15
pescado (con salado)	80	35 a 45



Los granos al igual que todos los productos orgánicos de origen vegetal son higroscópicos, es decir, absorben o ceden agua desde o hacia la atmósfera que los rodea. Este fenómeno de la humedad de equilibrio es de mucha importancia en el secado artificial de granos y es la relación entre la humedad del grano y la humedad del ambiente, esta no es constante para un determinado producto, incluso no es constante para una determinada variedad.

3.5.2.2.1. Medición de la humedad en los granos

$$TH = He - Hs \quad (23)$$

TH = Humedad total del grano

He = Humedad de grano al inicio

Hs = Humedad del grano al final.

3.5.2.3. Caudales de aire para secado de granos

Los caudales de aire pueden ser expresados en m³ por hora y los caudales unitarios en m³ por hora y por m³ de grano, o en m³ por minuto y por tonelada de grano (tabla 4).

De acuerdo a Lasseran, en seca-aireación se requieren unos 800m³ de aire por cada tonelada de grano. Para un período de enfriamiento de unas 12 horas, corresponde un caudal unitario de unos 67m³ por hora y por tonelada, o sea 1,1 m³ por minuto y por tonelada.

Caudales unitarios de 0,5 a 2.84 m³/min/ton son los más empleados en seca- aireación. Estos valores son de 2 a 3 veces mayores que los caudales normalmente empleados en la aireación común.

En seca-aireación no pueden usarse caudales menores a los indicados, porque se demora el proceso de secado y enfriamiento en el silo, lo que puede ocasionar problemas de deterioro del grano. Tampoco convienen caudales mayores, pues pueden producir un alto porcentaje de fisuras en los granos. Además caudales mayores que los recomendados, forzarán al aire a salir antes que tenga tiempo de recoger suficiente



humedad, lo que significa un desperdicio de energía. Esta situación sugiere el empleo de los caudales más altos cuando se usan capas delgadas (menos de 4 m) y, por el contrario, elegir un caudal menor cuando se trata de capas profundas.

Tabla 5. Caudales de aire para aireación de granos.

EQUIVALENCIAS		
m ³ /min/ton	m ³ /min/ m ³	m ³ /hora / m ³
0.1	0.076	4.6
0.2	0.15	9.0
0.3	0.23	13.8
0.4	0.30	18.0
0.5	0.38	22.8
0.6	0.46	27.6
0.7	0.53	31.8
0.8	0.61	36.6
0.9	0.68	40.8
1.0	0.76	45.6
1.2	0.91	54.6
1.4	1.06	63.6
1.5	1.14	68.4
2.0	1.52	91.2
-	2.84	170.4

Dentro de la amplitud recomendada (0,5 a 2.84 m³/min/ton), los caudales mayores producirán una mayor velocidad del frente de enfriamiento, pero la velocidad de secado no aumenta tanto. Por estas razones las potencias de los motores en los silos de enfriamiento son mayores que las comúnmente utilizadas en aireación.

Para determinado tamaño de ventilador, cuanto mayor sea el espesor de la capa de granos y menor la cantidad de Impurezas en ella, mayor será el flujo de aire y también la tasa de secado. Esto, porque el menor espesor de la capa y la menor cantidad de impurezas significan menos resistencia al paso del aire a través de los granos.



La velocidad de flujo es el resultado de la siguiente ecuación:

$$Q_a = Q_{ar} \times V \quad (24)$$

Donde:

Q_{re} = Caudal de aire recomendado

V_m = Volumen del grano (maíz, maní) en el silo

3.6. ESTACIONES METEOROLÓGICAS.

Una estación meteorológica es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos.

En el Ecuador, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrometría INAMHI mantiene la competencia del monitoreo meteorológico en nuestro país; apoyado, en el caso de la Región Sur, por el ex PREDESUR, quien transfirió este compromiso a la Secretaría Nacional del Agua, en la actualidad, entre otras el PREDESUR, transfiere SENAGUA/Demarcación HidroPuyango-Catamayo una base de datos meteorológicos con registros históricos.

Aquí podemos observar en la figura 18, mediante un mapa las estaciones meteorológicas que se encuentran en toda la provincia de Loja que recopilan información actualmente. De todas las estaciones meteorológicas me voy especificar en dos principales debido a que se encuentran más cerca para el desarrollo de mi tesis.

La primera es una estación privada como es el caso de la estación que se encuentra en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba en donde pienso realizar la validación de datos climáticos, para el desarrollo de mi tesis.

Recopilaba información cada hora, guardando información máximo hasta dos meses, pero hasta el mes de Marzo del año 2009 se recopiló la última información, desde ahí en adelante se encuentra descalibrada por el daño de algunos sensores.

La segunda es una estación pública llamada Estación Meteorológica "El Almendral" con el código MB90, se encuentra ubicada en los predios de la Granja Experimental "Dr. Hugo Vivar Flores" Almendral.

Se encuentra a 250m al oeste del Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba, del cual estaba bajo la responsabilidad del SENAGUA/Demarcación HidroPuyango-Catamayo hasta el año 2009 siendo hasta ese momento una estación convencional, desde el año 2010 hasta la actualidad paso a ser responsabilidad del INIAP(Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias), pasando a ser una estación automatizada, que envía directamente vía satélite su información a Quito.

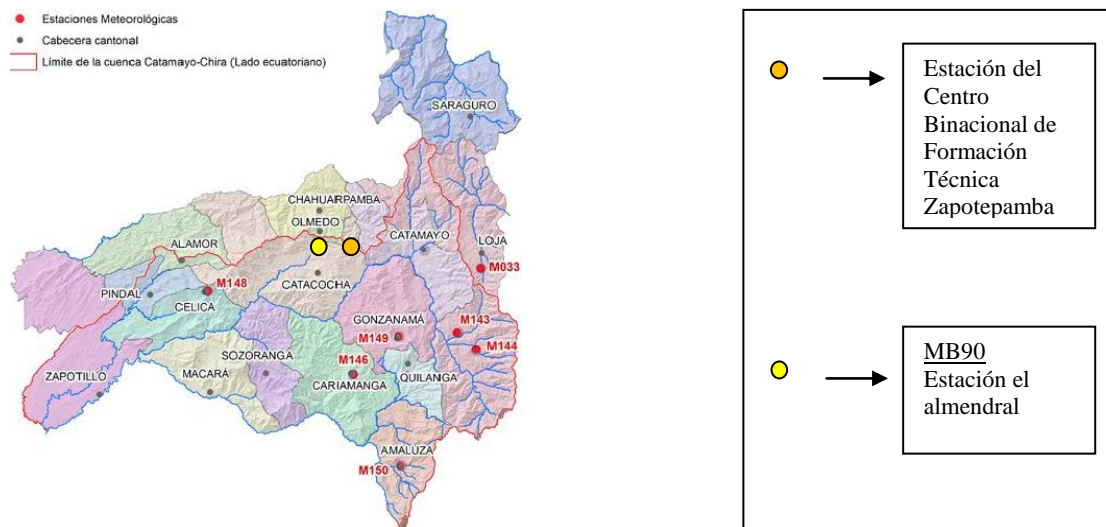


Figura 18: Estaciones Meteorológica del Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba y del Almendral.

3.6.1. Estación Meteorológica del Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba

Esta estación meteorológica es de marca Campbell Scientific en forma de trípode, ubicada a 60m de la entrada al Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba, en el área de producción agrícola, como se puede observar en la figura 19.



Figura 19: Estación Meteorológica del Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba.

Está equipada con los principales instrumentos de medición, entre los que se encuentran los siguientes:

- **Piranómetro.**

El Piranómetro de marca LI200X, es un instrumento meteorológico utilizado para medir de manera muy precisa la radiación solar incidente sobre la superficie de la tierra. Se trata de un sensor diseñado para medir la densidad del flujo de radiación solar (vatios por metro cuadrado) en un campo de 180 grados. Como se lo expone en la figura 20.



Figura 20: Piranómetro

- **Anemómetro.**

El anemómetro de marca R.M Young, es un aparato meteorológico que se usa para la predicción del tiempo y específicamente para medir la velocidad del viento como se lo puede apreciar en la figura 21.



Figura 21: Anemómetro.

- **Veleta.**

De marca R.M Young, es un sistema mecánico, perfectamente balanceado y paralelo al suelo, sirve para medir la dirección del viento como se observa en la figura 22.



Figura 22: Veleta

- **Barómetro.**

De marca Vaisala modelo HMP45C, se encuentra en la parte interna de la estación, sirve para medir la presión atmosférica.

- **Higrómetro.**

De marca Vaisala modelo HMP45C, es un instrumento que mide la humedad relativa y punto de rocío, se encuentra en el interior del abrigo meteorológico.

- **Termómetro**

De marca Vaisala modelo HMP45C, es un instrumento que mide la temperatura máxima y mínima, se encuentra en el interior del abrigo meteorológico.

- **El registrador de datos ('datalogger')**

Los datos de las velocidades y direcciones del viento obtenidos por el anemómetro son recogidos en un chip electrónico en una pequeña computadora, el registrador de datos ('datalogger') de marca Campbell Scientific modelo CR1000, batería de 12 voltios, como se observa en la figura 23.



Figura 23: Data Logger.

- **Pluviómetro.**

Instrumento de modelo CSI-TB4, consiste en un vaso cilíndrico receptor que tiene un aro de bronce para evitar salpicaduras, un embudo profundo y un recipiente colector más estrecho que conserva el agua caída. Allí queda protegida de la evaporación por el estrechamiento de la boca y por el dispositivo de dobles paredes. Todo el conjunto está pintado de blanco para evitar la radiación solar, como se puede apreciar en la figura 24.



Figura 24: Pluviómetro.



3.6.2. Estación el Almendral

Es una estación meteorológica convencional bajo la responsabilidad del Ing. José Ullauri denominada estación meteorológica El Almendral perteneciente desde el año 2005 hasta el año 2009 al CENAGUA con el código MB90 y en la actualidad está bajo la responsabilidad del INAMHI siendo esta desde el año 2010 automatizada. Se encuentra a una altitud de 1008 msnm.

Necesitan de una persona para estar recopilando información, tomando tres diferentes horas, para poder tener una mayor exactitud y poder determinar las horas de mayor radiación, velocidad del viento, humedad y temperatura, está equipada con los principales instrumentos de medición, entre los que se encuentran los siguientes:

- Anemómetro (que mide la velocidad del viento)
- Veleta (que mide la dirección del viento)
- Barómetro (que mide la presión atmosférica)
- Higrómetro (que mide la humedad relativa y punto de rocío)
- Heliógrafo (que mide las horas de luz solar)
- Pluviómetro (que mide la cantidad de precipitación)
- Termómetro (que mide la temperatura)



4. MATERIALES Y MÉTODOS.

En el transcurso de la investigación se utilizó los siguientes equipos, software, e implementos.

- Anemómetro
- Medidor de humedad de granos G-7
- Piranómetro
- GPS
- Paquete informático de Microsoft
- Traductores (Power Translator).
- Acrobat Reader 7.0
- Software AutoCAD
- Software Cropwat 8.0
- El software Paracalc

4.1. VALIDACIÓN DE LOS PRINCIPALES PARÁMETROS CLIMÁTICOS.

Para la validación de los parámetros climáticos de la estación Experimental Zapotepamba se planificó recopilar información de las estaciones meteorológicas que estén lo más cercanas al Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba. La más cerca al centro, se encuentra ubicada a 250m al oeste denominada Estación “El Almendral” con el código MB90, con una altitud de 1008 msnm; perteneciente al INAMHI actualmente, la otra estación corresponde al propio Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba.

Se pudieron obtener datos de temperatura, humedad, velocidad del viento, precipitación; pero no se pudieron obtener datos de radiación anual en ninguna de las dos estaciones, el cual es el parámetro principal para la optimización de la eficiencia energética de la

secadora solar de maní y maíz. La estación Experimental Zapotepamba por el daño a sus sensores solares y la estación El Almendral porque en esos años era convencional y no proporcionaba la información pertinente para medir radiación solar.

Para determinar la radiación en las condiciones existentes en el centro binacional de Formación Técnica Zapotepamba se utilizó el software Idrisi , el cual tiene funciones para la creación de mapas temáticos, además permite el desarrollo de cálculo estadístico matemático y algebraico de imágenes, donde una aplicación muy importante es el earth trends modeler que sirve para tener una mayor visión de los cambios de las variables climatológicas en función del tiempo como se observa en la figura 25.

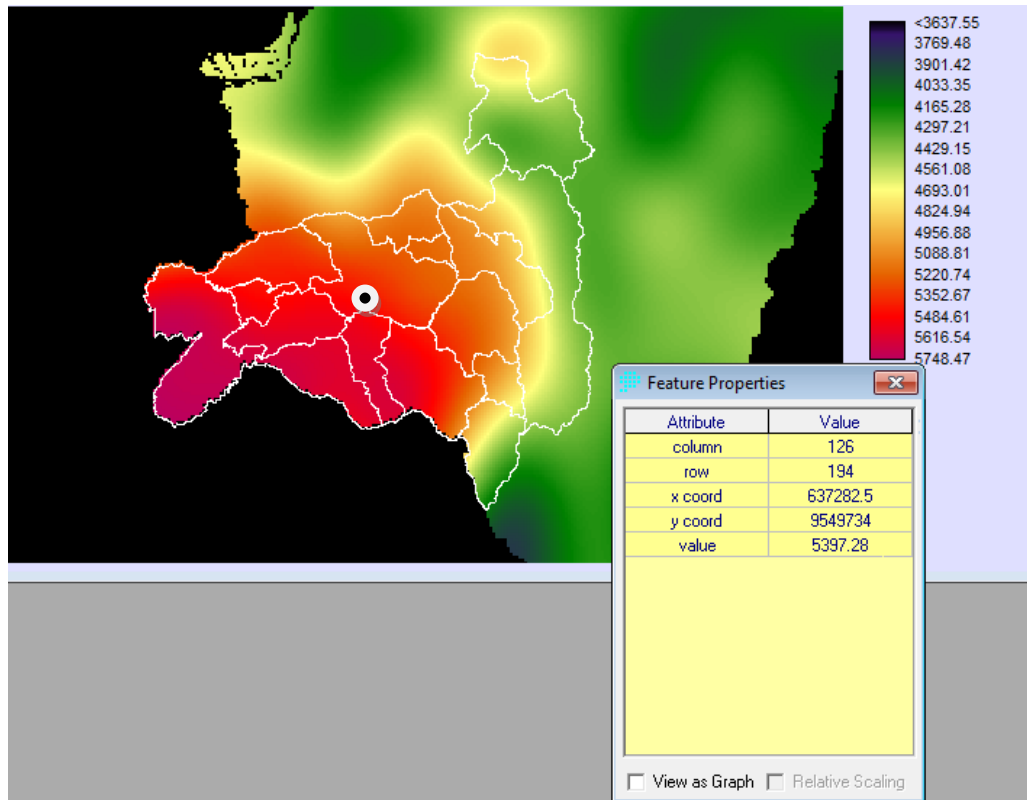


Figura 25: Insolación global anual en el sector de Zapotepamba.

El modelo de visualización gráfica del potencial solar realizado por el Ing. Freddy Rojas y el Ing. Henry Rodríguez. Fue desarrollado con una base de datos del atlas solar que se caracteriza por tener una precisión del 90%. Este modelo contiene datos de insolación global y de posiciones geográficas mediante celdas, lo cual se constituye en una buena aproximación para determinar el potencial solar en el sector de Zapotepamba

perteneciente a la parroquia Casanga, y para corroborar, estos datos este modelado utilizó imágenes del sensor Modis que dispone información temperatura ambiente, sabiendo que las temperaturas de un territorio están en relación directa con varios factores pero especialmente con la radiación solar que recibe. Paralelamente y a fin de realizar la validación correspondiente se obtuvieron datos durante el mes de julio por medio de un piranómetro en forma manual en el horario correspondiente de 11am a 15pm; que es el tiempo en donde se va a desarrollar el proceso de secado.

Los datos obtenidos han sido organizados y promediados sistemáticamente, por lo cual se determinó la irradiación media en el sector, la misma servirá como dato fundamental para el desarrollo del presente trabajo, la presente figura 26, representa los valores de irradiación vs cada día de monitoreo en las horas de trabajo mencionadas:

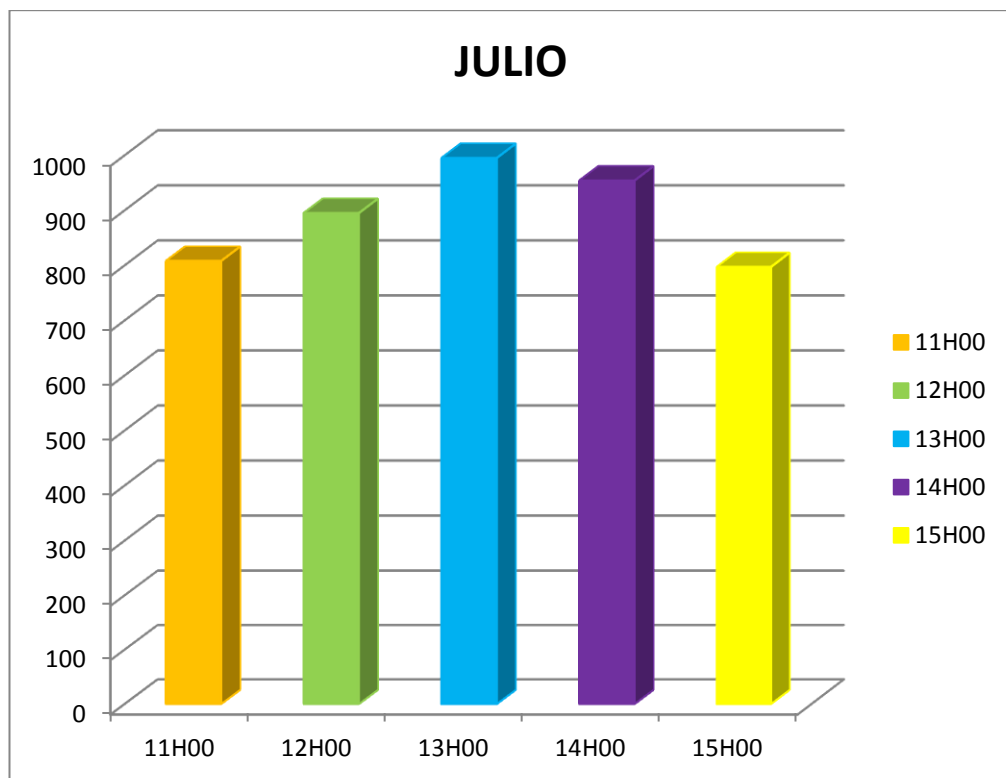


Figura 26 : Curva para la determinación de la Irradiación.



Se ha podido comprobar que los resultados obtenidos en base a las mediciones en el sitio de forma manual durante el mes de julio no difieren el pronóstico estimado en el modelo de visualización gráfica que ofrece el software Idrisi.

Por lo cual se considera que es fiable la proyección de irradiación solar en base al software Idrisi para estimar el comportamiento de este recurso a efecto de la optimización de la eficiencia energética de un secador solar de maní y maíz.

4.2. DISEÑO DE LA SECADORA

4.2.1. Densidad del maní y maíz a secar

Se realiza el cálculo de la densidad del maíz (ρ_{ma}) que se va a secar, tomando una muestra del mismo en un recipiente pequeño de $V_m = 1000\text{cm}^3$ de volumen, y con un peso de la muestra de $W_m = 0.70\text{kg}$, y del maní $W_m = 0.20\text{kg}$ realizamos el cálculo de la densidad del maíz, maní según la fórmula (22):

$$\rho_m = \frac{W_m}{V_m} \quad (22)$$

4.2.2. Volumen del silo

El tamaño o capacidad del silo debe estar adecuado a la capacidad de la secadora que en este caso se lo construyo para la capacidad de 3 quintales y se define mediante la fórmula (2).

$$V_{silo} = L * a * e \quad (2)$$

Donde:

$L =$ largo del silo

$a =$ ancho del silo

$e =$ altura del almacenaje

Volumen de aceite necesario en todo el sistema.

El volumen del aceite necesario para el secado es

$$V_{aceite} = 4 \text{ canecas} = 20 \text{ galones}$$



4.2.3. Masa de Maíz

Se define la demanda o masa de maíz, maní ($m_{maíz,maní}$) a secar se define por la formula (3):

$$m_{maíz} = \rho_{maíz} * V_{silo} \quad (3)$$

Masa de Maní

$$m_{maní} = \delta_{maní} * V_{silo} \quad (3)$$

4.2.4. Caudal de aire Caliente Total para el secado

De acuerdo a experimentaciones realizadas en seca-aireación se tiene valores promedios como para una tonelada de grano se requieren unos 800 m^3 en un periodo de 12 horas.

Por lo que se tendrá un caudal unitario $67 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$ o $1.11 \frac{\text{m}^3}{\text{min/ton}}$.

Los caudales pueden ser expresados en $\frac{\text{m}^3}{\text{min}}$ y los caudales unitarios en $\frac{\text{m}^3}{\frac{\text{min}}{\text{m}^3}}$.

Se comprobó que capas con poco espesor de grano producen enfriamientos dispares y tiempos más prolongados. Lo que esta situación sugiere el empleo de los caudales más altos cuando se usan capas delgadas menores a 4m.

Es por esto que he seleccionado el mayor valor de la tabla 5, de caudales unitarios por lo que la capa de grano en la maquina es bastante pequeña he tomado el valor de:

$$\text{caudal unitario} = 2.84 \frac{\text{m}^3}{\text{min} * \text{m}^3}$$

Se lo define con la formula (24):

$$Q_{aire\ necesario} = Q_{requerido} * V_{maíz,maní} \quad (24)$$

4.2.5. Propiedades del aceite térmico

Para el cálculo del factor de eficiencia del colector es importante definir correctamente el coeficiente de transferencia de calor h_{fi} , del fluido hacia la pared del tubo, para lo cual es muy necesario determinar las propiedades del aceite térmico, para el efecto

utilizamos la tabla presentada a través del software de fluidos térmicos Paracalc, se puede observar en la figura 27.

El software Paracalc: Pertenece a la **Paratherm Corporation** fundada en el año 1988, desde sus inicios se ha dedicado a la fabricación de fluidos de transferencia térmica no tóxicos y de alta eficiencia; aceites térmicos especializados, diseñados para aplicaciones en sistemas de circuito cerrado, para resistir temperaturas hasta de 650°F(340°C). Actualmente Paratherm cuenta con 9 productos especializados, 7 de ellos fluidos de transferencia térmica o aceites térmicos, para diferentes aplicaciones y dos más limpiadores de sistemas térmicos. Este software antiguamente no era restringido y se lo podía descargar gratuitamente pero actualmente está restringido.

Mediante el Ing. Edwin Paccha, nos facilitó el software ya que él lo utilizó antiguamente para su tesis. Pude determinar que los valores están más cerca a las propiedades del aceite térmico que actualmente está trabajando en la secadora solar.

Temp °C	Density kg/m³	Spec Grav	Spec Heat KJ/kg-K	Therm Cond W/m-K	Viscosity centiPoise	Vapor Press Psia
0	895.07	0.8942	1.85	0.1320	444.20	0.00
10	888.85	0.8880	1.89	0.1313	197.28	0.00
20	882.64	0.8818	1.93	0.1306	102.06	0.00
30	876.42	0.8755	1.97	0.1298	57.48	0.00
40	870.21	0.8693	2.01	0.1291	34.91	0.00
50	864.00	0.8631	2.05	0.1284	22.64	0.00
60	857.78	0.8569	2.09	0.1277	15.50	0.00
70	851.57	0.8507	2.13	0.1270	11.19	0.00
80	845.35	0.8445	2.17	0.1263	8.36	0.00
90	839.14	0.8383	2.21	0.1256	6.44	0.00
100	832.92	0.8321	2.25	0.1249	5.09	0.00
110	826.71	0.8259	2.29	0.1241	4.11	0.00
120	820.49	0.8196	2.33	0.1234	3.39	0.01
130	814.28	0.8134	2.37	0.1227	2.84	0.01
140	808.06	0.8072	2.41	0.1220	2.42	0.02
150	801.85	0.8010	2.45	0.1213	1.95	0.02

Figura 27: Propiedades del aceite térmico generadas mediante el software ParaCalc

5.0.

(PARATHERM CORPORATION, 1988-2003)



4.2.6. Potencia disponible para el calentamiento del aceite

La potencia disponible para el calentamiento del aceite es el resultado de la siguiente fórmula (17).

$$P_{ds} = A_{tcol} * H_t * \eta_{col} \quad (17)$$

Donde:

A_{tcol} = area total de los colectores

η_{col} = efi. del colector por ser sistema continua $C52 = 0.52$

H_t = radiación solar promedio disponible

4.2.7. Tiempo que demora en calentarse

Partiendo de la fórmula de potencia (18).

$$P_{ds} = \frac{m * Cp * \Delta T}{t} \quad (18)$$

Donde:

Temperatura inicial del aceite $T_{oac} = 24^\circ\text{C}$

Temperatura final del aceite $T_{fac} = 67^\circ\text{C}$

Volumen de aceite = 20 galones = 0.07571 m^3

Densidad del aceite = $857.78 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

Variación de temperatura ΔT

$$\Delta T = T_{fac} - T_{oac}$$

Calor específico del aceite interpolando 2090 $\frac{\text{J}}{\text{Kg} * ^\circ\text{C}}$

$$m = V_{ace} * \delta_{ace}$$



4.2.8. Coeficiente de pérdidas de calor hacia arriba del colector

Para hallar las pérdidas de calor hacia arriba del colector nos basamos en la fórmula (6):

$$U_{sup} = \frac{1}{\frac{N}{\frac{C}{T_p} \left[\frac{T_p - T_a}{N + f} \right]^{\varepsilon + 1} h_v} + 1} + \frac{\sigma (T_p + T_a) (T_p^2 + T_a^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p + 0.0059 * N * h_v} + \frac{2 * N + f - 1 - 0.133 \varepsilon_p - N}{\varepsilon_c}} \quad (6)$$

Datos:

Área del colector	1m ²
Temperatura ambiente [T _a]	24°C (297 °K)
Temperatura de la placa promedio [T _p]	78°C (351 °K)
Temperatura de entrada del fluido	26°C (299 °K)
Emitancia de la placa [ε _p]	0.90
Emitancia de la cubierta de vidrio [ε _c]	0.88
Numero de cubiertas [N]	2
Velocidad del viento [μ]	2 $\frac{m}{s}$
Inclinación del colector [θ]	15°
Conductividad térmica del aislante (lana de vidrio) [K _a]	0.038 $\frac{W}{m^{\circ}C}$
Espesor del aislante del fondo [l _a 1]	0.05m
Espesor del aislante lateral [l _a 2]	0.05m
Área lateral [A _c]	0.52m ²
Conductividad térmica de la placa y de los tubos (aluminio) [K]	211 $\frac{W}{m^{\circ}C}$

Donde:

$$h_v = 5.7 + 3.8 * \mu$$

$$f = (1 + 0.089h_v - 0.1666h_v * \varepsilon_p)(1 + 0.07866 * N)$$

$$c = 520(1 - 0.000051 * \theta^2)$$



$$\varepsilon = 0.430 \left(1 - \frac{100}{T_p} \right)$$

Coeficiente de pérdidas de calor hacia arriba del colector.

h_v = coeficiente de transferencia de calor del viento

f = constante de la ecuación

c = constante de la ecuación

ε = constante de la ecuación

4.2.9. Conductancia por la parte inferior [U_b]

Haciendo una relación de la conductividad térmica del aislante y el espesor del mismo en la parte inferior del colector, mediante la fórmula (8) tenemos:

$$U_b = \frac{1}{R_1} = \frac{K_a}{l_a} \quad (8)$$

Donde:

K_a = conductividad térmica del aislante (lana de vidrio)

l_a = espesor del aislante en el fondo.

4.2.10. Coeficiente de pérdidas de calor por los lados [U_{lad}]

Análogamente al caso anterior, considerando el área del aislante por los lados como producto de la altura h por el perímetro P del colector, y de acuerdo a la fórmula (9) tenemos:

$$U_{lad} = \frac{K_a}{l_a} * \frac{\eta_{col}}{Ac} \quad (9)$$

4.2.11. Coeficiente total de pérdidas de calor [U_L]

Este coeficiente se determina a partir de la fórmula (5):

$$U_L = U_{sup} + U_b + U_{lad} \quad (5)$$



4.2.12. Radiación absorbida

Es de mucha importancia definir la radiación absorbida por el colector por unidad de área de superficie de absorción, S , como la diferencia entre la radiación total solar promedio H_T y las pérdidas ópticas mediante la fórmula (4).

$$S = H_T * \varepsilon_c * \varepsilon_p \quad (4)$$

Tiempo aproximado de llenado por una bomba de ½ HP =3min=180s

Utilizando la fórmula (20) y (21), determinaremos el flujo másico del aceite.

$$Q = \frac{v}{t} \quad (20)$$

$$\dot{m}_{ace} = Q * \rho_{aceite} \quad (21)$$

4.2.13. Cálculo de la transferencia real de calor

Para determinar el calor real nos basamos en la fórmula (19).

$$q = \dot{m}_{aceite} * C_{p_{aceite}} * (T_{ci} - T_{co}) \quad (19)$$

4.2.14. Cálculo del factor de remoción

Mediante la fórmula (11) podemos determinar el flujo másico para luego determinar el factor de remoción utilizando la fórmula (10):

$$\dot{m}_{aceite} = 0.360 \text{Kg/s}$$

N= Numero de tubos es 13

$$\dot{m}_{col} = \frac{\dot{m}_{aceite}}{N} \quad (11)$$

$$FR = \frac{\dot{m}_{col} * C_{p_{aceite}} * (T_{fo} - T_{fi})}{Ac * (S - UL) * (T_f - T_a)} \quad (10)$$



4.2.15. Cálculo del Calor útil

El calor útil en el colector está determinado por la fórmula(12).

$$Q_u = A_c * FR[S - UL(T_p - T_a)] \quad (12)$$

Donde:

A_c Área del colector

$[T_p]$ Temperatura de la placa promedio

$[T_a]$ Temperatura ambiente

S Radiación absorbida

UL Coeficiente total de pérdidas de calor

FR Factor de remoción

4.2.16. Eficiencia de los colectores

Para el Cálculo de la Eficiencia se utiliza una expresión muy sencilla, en el que se utilizan algunos de los datos calculados anteriormente. La Fórmula(13) para la Eficiencia del Colector es:

$$\eta_c = \frac{Q_{UT}}{H_t * A_c} \quad (13)$$

Donde:

Q_{UT} calor útil

H_t radiación solar promedio disponible

A_c área del colector

4.2.17. Eficiencia del sistema entre la potencia entregada de los colectores y potencia de salida del silo

Para determinar la eficiencia del sistema se toma la potencia de salida al maíz y la potencia entregado por los colectores a través de la fórmula (14).

$$\eta_{sistema} = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} \quad (14)$$



Se calcula primero la potencia de salida por la fórmula (1):

$$P_{sal} = Q_{aire} * \rho_{aire} * C_{paire} * \Delta T_p \quad (1)$$

Donde:

T_{∞} = Temperatura promedio del sector 24°C

T_{pm} = Temperatura promedio de monitoreo a la entrada del radiador 73°C

$$\Delta T_p = T_{pm} - T_{\infty}$$

Q_{aire} = Caudal del aire a calentar para el secado 0.0142 m³/s

C_{paire} = Calor específico del aire a 24°C del anexo I = 1.0059 $\frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C}$

ρ_{aire} = Densidad de aire a 24°C del anexo I = 1.1908 Kg/m³

4.2.17.1. Eficiencia global de todo el sistema

Con la energía global monitoreada del sistema y el área total de los colectores se determina la potencia global mediante la fórmula (15):

$$P_g = H_t * A_{colt} \quad (15)$$

Donde:

H_t radiación solar promedio disponible

A_{colt} área total de los colectores

La eficiencia global del sistema se determina mediante la fórmula (16):

$$\eta_g = \frac{P_{sal}}{P_g} \quad (16)$$



4.3. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL GRANO DE MAÍZ, MANÍ.

Primeramente partimos escogiendo muestras en todo un quintal de maíz, por leyes internacionales se realizan ensayos de 6 a 10 muestras mínimas para determinar la eficiencia de humedad total que se encuentra en el quintal de maíz.

Personalmente realizamos 10 muestras, escogiendo los granos de la mitad para una mayor exactitud del porcentaje de humedad que se haya en el quintal

Datos antes del secado.

Datos del porcentaje de maíz.

16.2

15.7

17.8

16.3

17

16

15.9

16.1

16.2

16.2

$He = 16.34\%$



Datos después del secado.

Datos del porcentaje del maíz.

14.7

13.2

13.9

13.5

14.2

13.1

14

14.1

14.3

13.5

13.85 %

$$H_f = 13.85\%$$

Por medio de la fórmula (23) determinamos el porcentaje de humedad

$$TH = He - Hs \quad (23)$$

5. RESULTADOS.

5.1. RESULTADOS DEL DESARROLLO DE LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

5.1.1. Validación de las estaciones meteorológicas.

Esta validación se la realizo mediante datos anuales de temperatura, humedad, velocidad del viento, precipitación; en el caso de la estación del Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba, desde el año 2006-2008; y en el caso de la estación El Almendral, es desde el año 2006-2009. Aquí se indica referencia de los mismos donde se observa una diferencia entre estas dos estaciones meteorológicas de un promedio de error del 10% .

Tabla 6. Temperatura Máxima.

TEMPERATURA MÁXIMA°C				
ESTACIONES	DATOS ANUALES			
	2006	2007	2008	2009
ESTACIÓN "EL ALMENDRAL"	30	30	29	30
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ZAPOTEPAMBA.	29	28	27	

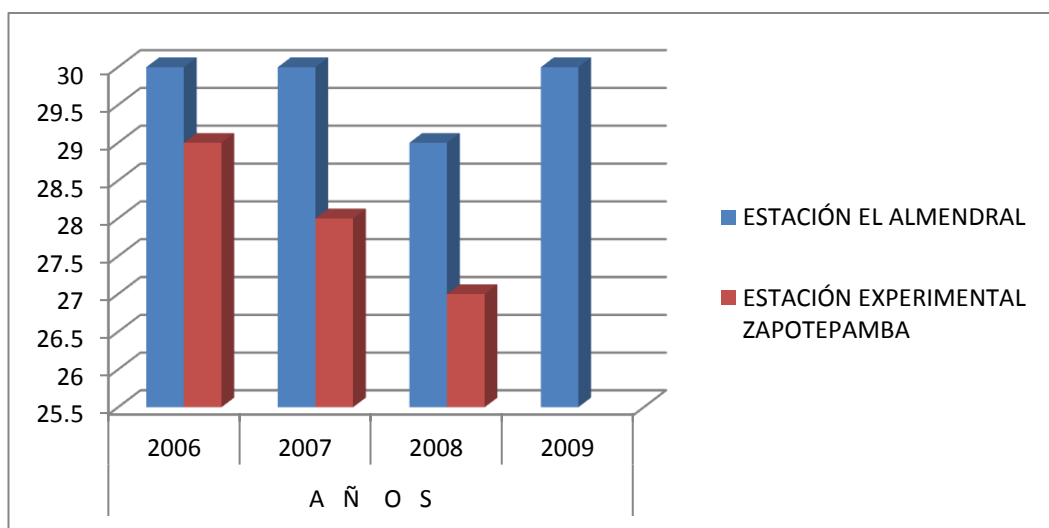


Figura 28: Promedio anual de las dos estaciones meteorológicas con respecto a la temperatura máxima.



Tabla 7. Temperatura Mínima.

TEMPERATURA MÍNIMA°C				
ESTACIONES	DATOS ANUALES			
	2006	2007	2008	2009
ESTACIÓN "EL ALMENDRAL"	17	17	17	17
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ZAPOTEPAMBA.	26	26	26	

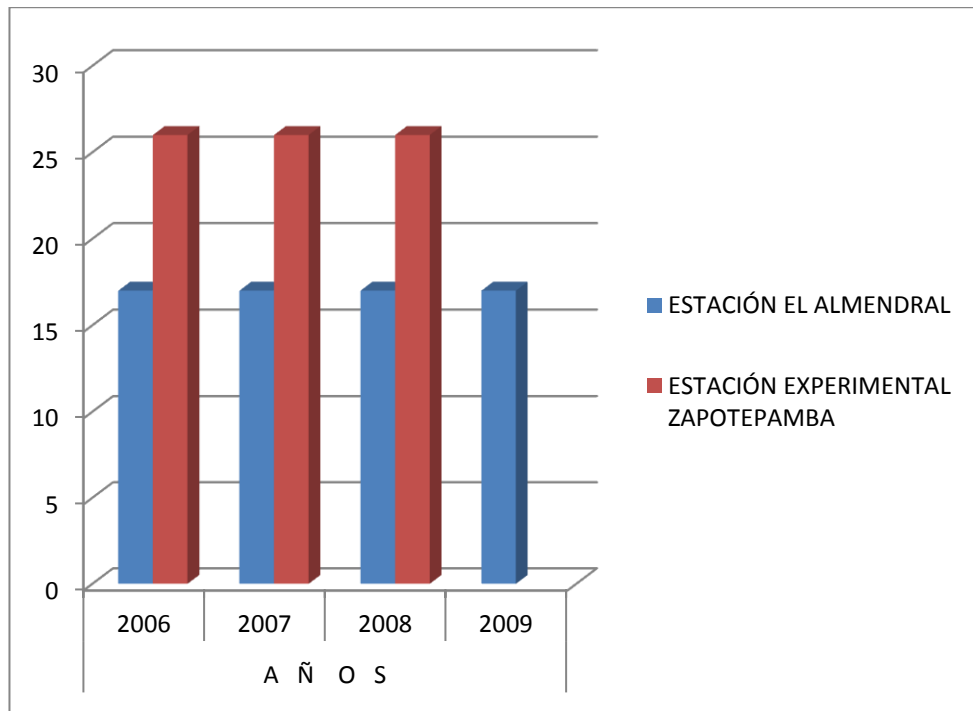


Figura 29: Promedio anual de las dos estaciones meteorológicas con respecto a la temperatura mínima.



Tabla 8. Temperatura Media.

TEMPERATURA MEDIA°C				
ESTACIONES	DATOS ANUALES			
	2006	2007	2008	2009
ESTACIÓN "EL ALMENDRAL"	23	23	23	24
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ZAPOTEPAMBA.	27	27	26	

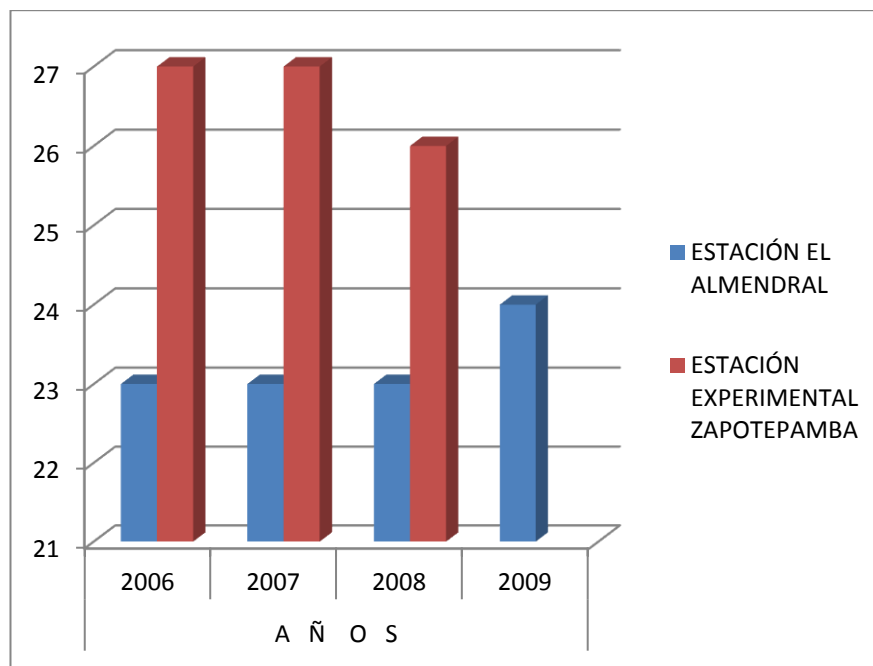


Figura 30: Promedio anual de las dos estaciones meteorológicas con respecto a la temperatura media.



Tabla 9. Humedad Máxima.

HUMEDAD MÁXIMA %				
ESTACIONES	DATOS ANUALES			
	2006	2007	2008	2009
ESTACIÓN "EL ALMENDRAL"	65	60	65	65
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ZAPOTEPAMBA.	51	54	58	

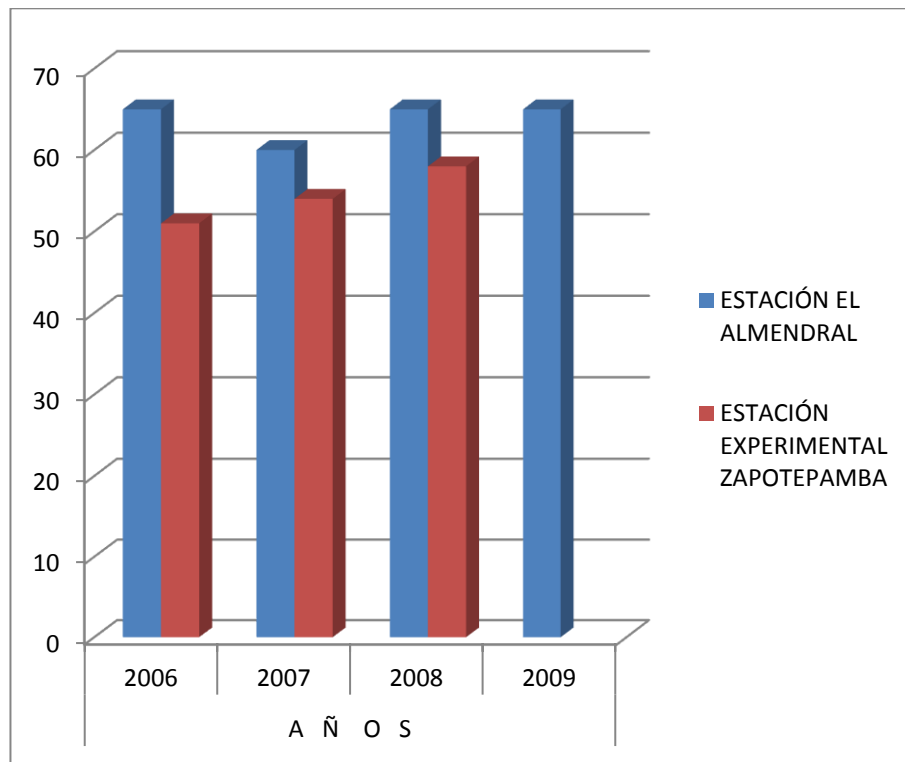


Figura 31: Promedio anual de las dos estaciones meteorológicas con respecto a la humedad máxima.



Tabla 10. Humedad Mínima.

HUMEDAD MÍNIMA %				
ESTACIONES	DATOS ANUALES			
	2006	2007	2008	2009
ESTACIÓN "EL ALMENDRAL"	71	70	74	74
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ZAPOTEPAMBA.	41	44	49	

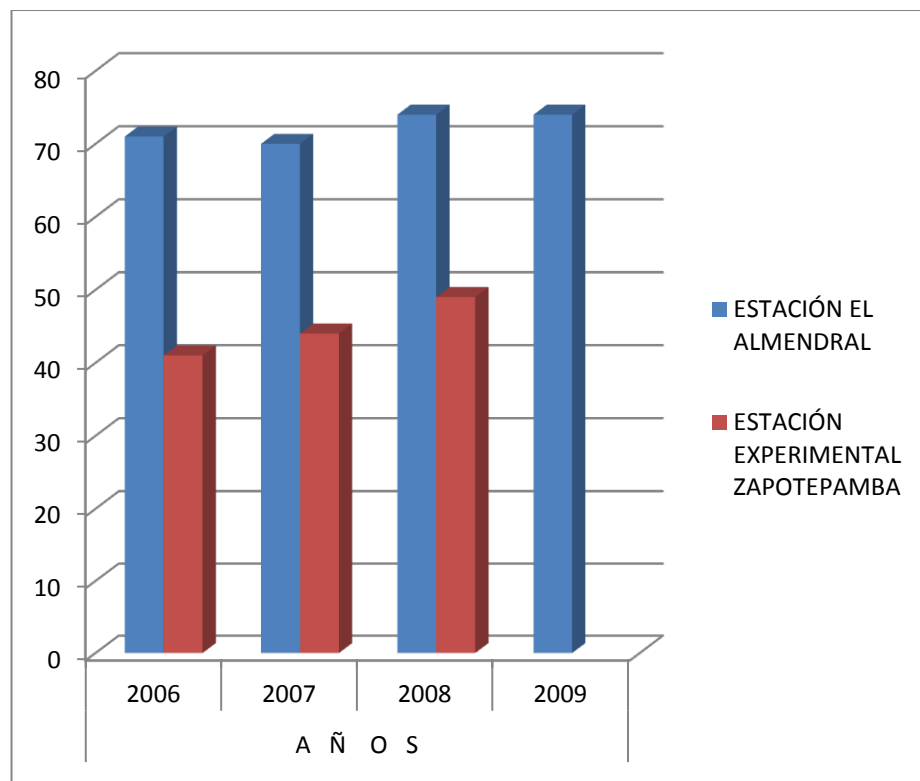


Figura 32: Promedio anual de las dos estaciones meteorológicas con respecto a la humedad mínima.



Tabla 11. Humedad Media.

HUMEDAD MEDIA %				
ESTACIONES	DATOS ANUALES			
	2006	2007	2008	2009
ESTACIÓN "EL ALMENDRAL"	66	64	71	68
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ZAPOTEPAMBA.	46	49	54	

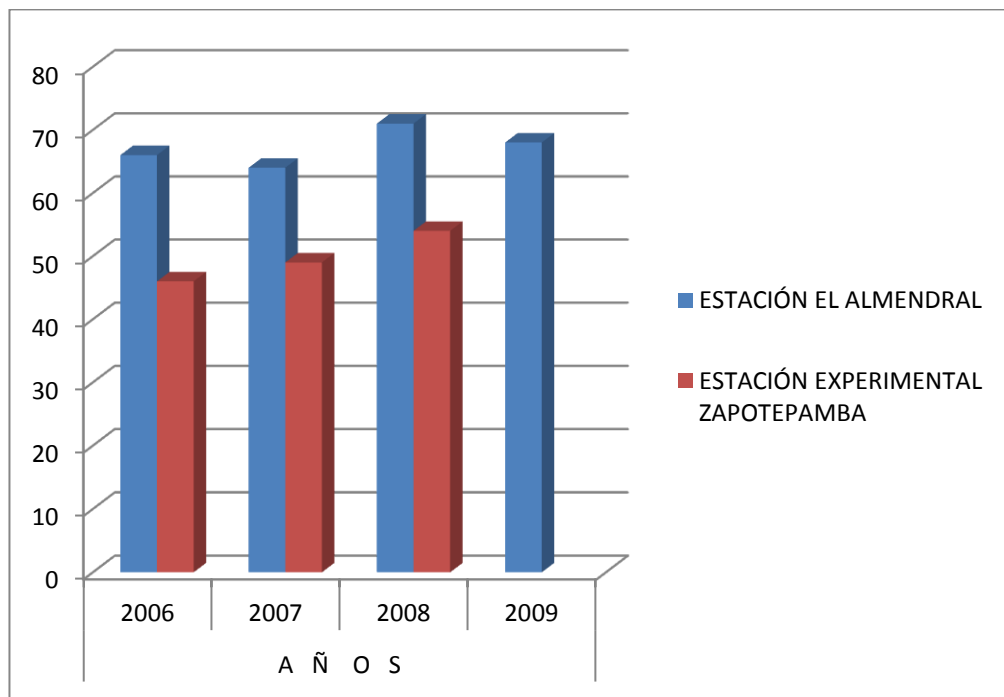


Figura 33: Promedio anual de las dos estaciones meteorológicas con respecto a la humedad media.



Tabla 12. Velocidad máxima del viento.

VELOCIDAD MÁXIMA DEL VIENTO (m/seg)				
ESTACIONES	DATOS ANUALES			
	2006	2007	2008	2009
ESTACIÓN "EL ALMENDRAL"	4	5	4	4
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ZAPOTEPAMBA.	5	4	5	

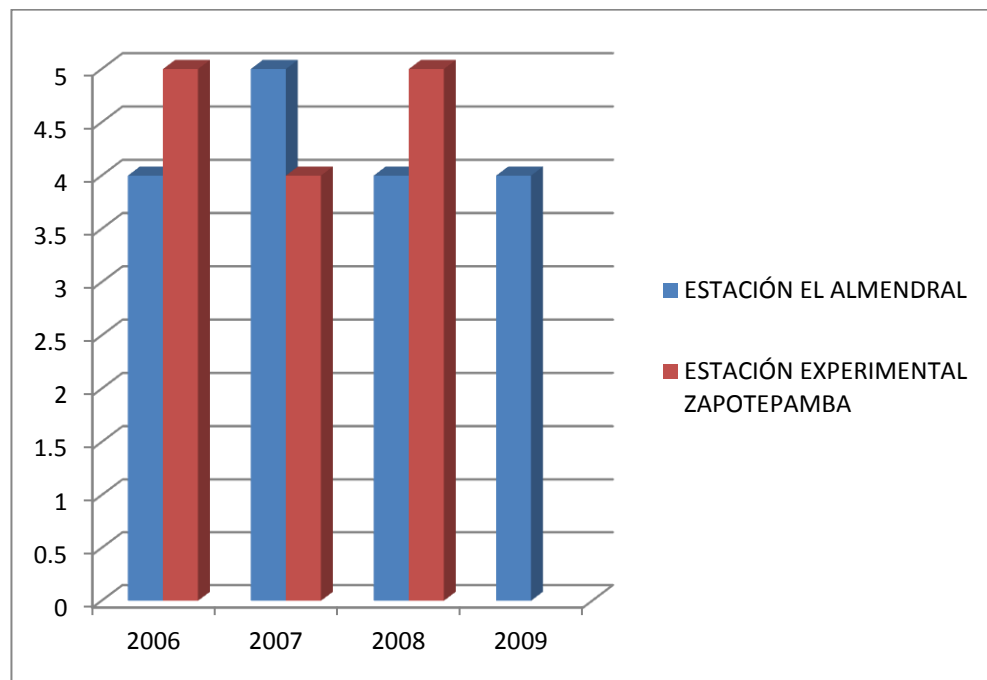


Figura 34: Promedio anual de las dos estaciones meteorológicas con respecto a la velocidad máxima del viento.



Tabla 13. Velocidad mínima del viento.

VELOCIDAD MÍNIMA DEL VIENTO (m/seg)				
ESTACIONES	DATOS ANUALES			
	2006	2007	2008	2009
ESTACIÓN "EL ALMENDRAL"	1	1	0.5	1
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ZAPOTEPAMBA.	0	0	0	

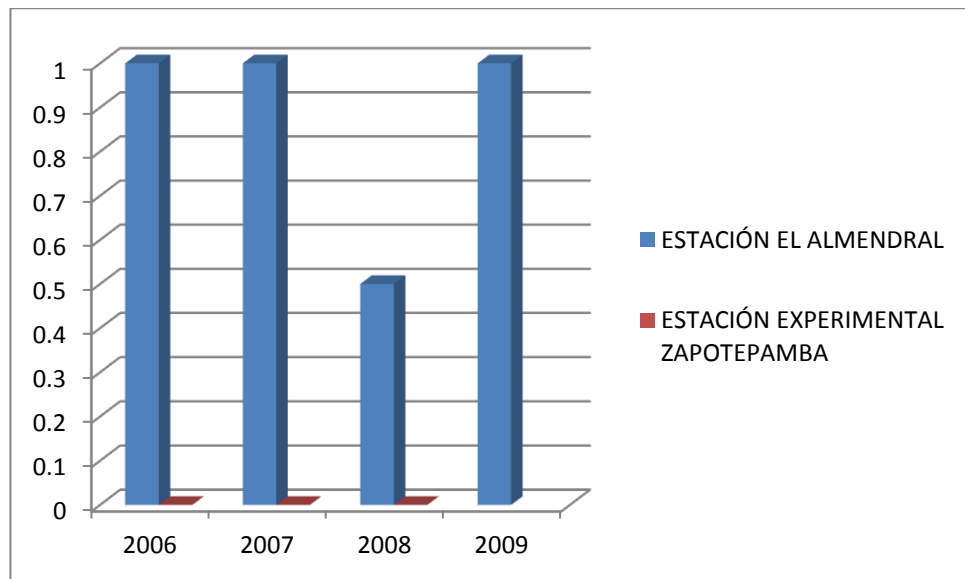


Figura 35: Promedio anual de las dos estaciones meteorológicas con respecto a la velocidad mínima del viento.



Tabla 14. Velocidad media del viento.

VELOCIDAD MEDIA DEL VIENTO (m/seg)				
ESTACIONES	DATOS ANUALES			
	2006	2007	2008	2009
ESTACIÓN "EL ALMENDRAL"	2	3	2	2
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ZAPOTEPAMBA.	2	1	2	

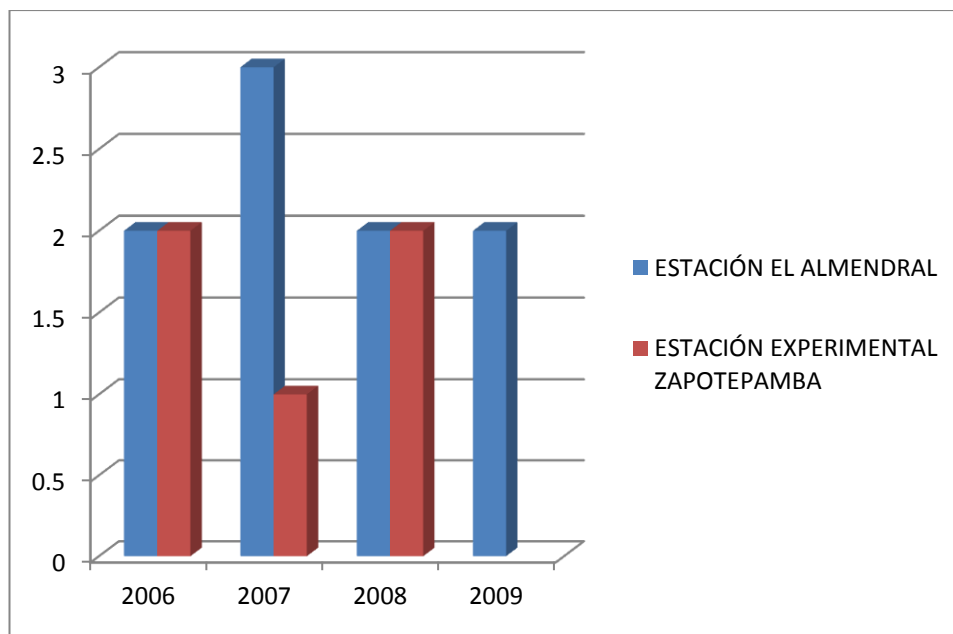


Figura 36: Promedio anual de las dos estaciones meteorológicas con respecto a la velocidad media del viento.



Tabla 15. Precipitación.

PRECIPITACIÓN (mm)				
ESTACIONES	DATOS ANUALES			
	2006	2007	2008	2009
ESTACIÓN "EL ALMENDRAL"	882	513	1328	1033
ESTACIÓN EXPERIMENTAL ZAPOTEPAMBA.	849	659	1562	

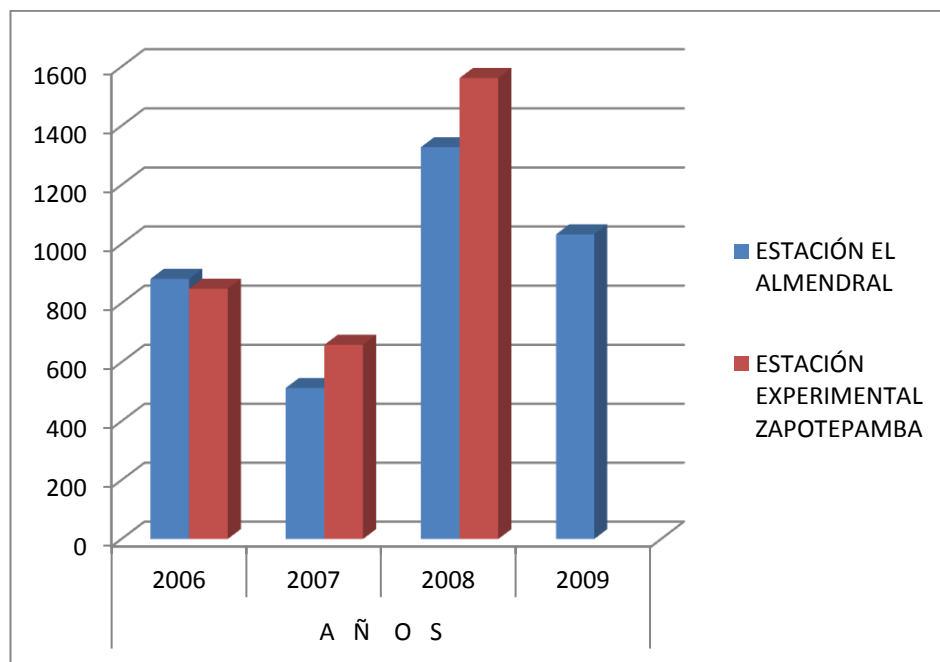


Figura 37: Promedio anual de las dos estaciones meteorológicas con respecto a la precipitación.



Tabla 16. Radiación Solar promedio.

Radiación Solar media (W/m²)		
FUENTES DE INFORMACIÓN	Radiación solar anual mediante el software IDRISI	Monitoreo promedio durante el proceso de secado en el mes de julio.
ENERO	704	
FEBRERO	701	
MARZO	713	
ABRIL	701	
MAYO	747	
JUNIO	761	
JULIO	763	890
AGOSTO	829	
SEPTIEMBRE	857	
OCTUBRE	851	
NOVIEMBRE	822	
DICIEMBRE	804	
PROMEDIO	771	

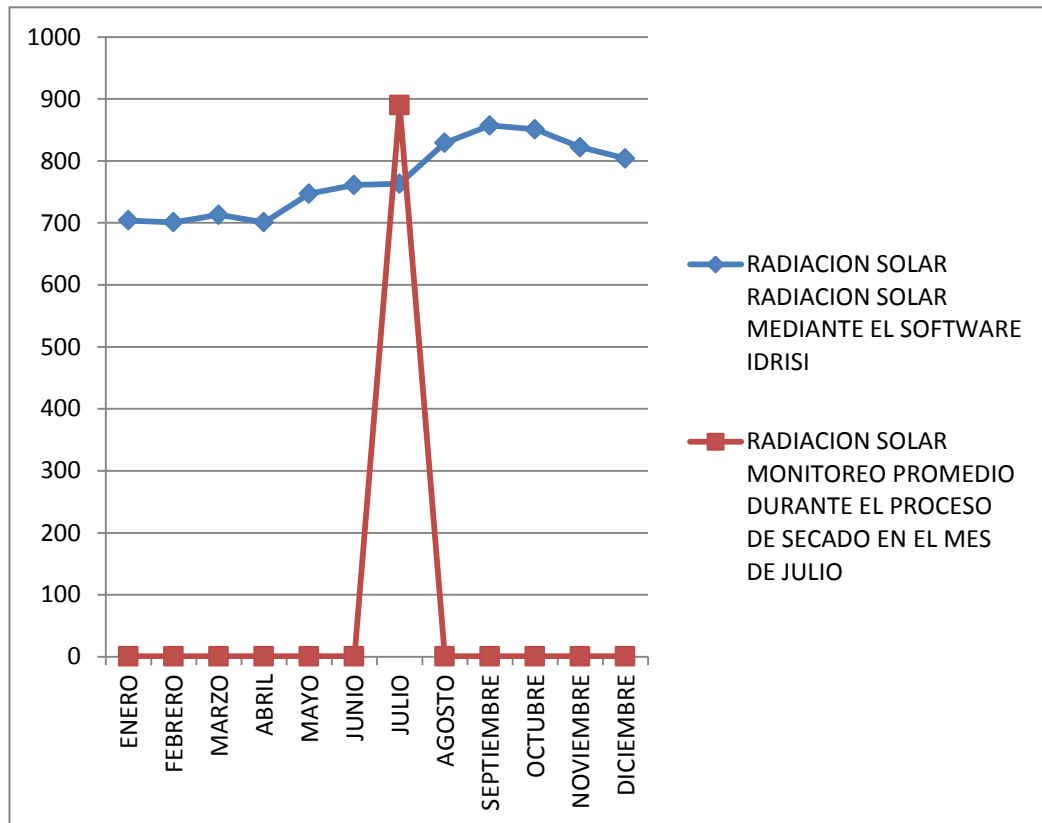


Figura 38: Promedio anual de las fuentes de información para determinar la radiación solar promedio anual.

En la tabla 16, se puede observar el resultado mensual aplicando el software Idrisi, y en la figura 38, se determinó que existe una mínima diferencia de margen de error del $\pm 1.17\%$ utilizando este software con los datos obtenidos por el piranómetro en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba donde se pondrá en marcha el sistema de secado.

Por lo cual consideramos que los datos de insolación en el sector de Zapotepamba, son confiables para emplear cualquier tipo de tecnología aprovechando la energía solar.



5.2. DISEÑO DE LA SECADORA

5.2.1. Densidad del maní y maíz a secar

Aplicando la fórmula (22) tenemos.

$$\text{Densidad del grano del maíz}(\delta) = 700 \frac{Kg}{m^3}$$

$$\text{Densidad del grano del maní}(\delta) = 200 \frac{Kg}{m^3}$$

Estos valores fueron determinados en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba.

5.2.2. Volumen del silo

El volumen del silo se define mediante la fórmula (2).

$$V_{silo} = (1m)(1m)(0.30m)$$

$$V_{silo} = 0.3m^3 \text{ (Para el maíz y maní)}$$

5.2.3. Masa de Maíz

Se define la masa de maíz, maní por la formula (3).

$$m_{maíz} = \left(700 \frac{Kg}{m^3}\right) * (0.3m^3)$$

$$m_{maíz} = 210Kg.$$

Se define la masa del maní.

$$m_{maní} = \left(200 \frac{Kg}{m^3}\right) * (0.3m^3)$$

$$m_{maní} = 60Kg$$



5.2.4. Caudal de aire Caliente Total para el secado

Se lo define con la fórmula (24) tenemos:

$$Q_{\text{aire necesario}} = 2.84 \frac{m^3}{\text{min}} * 0.3m^3$$

$$Q_{\text{aire necesario}} = 0.852 \frac{m^3}{\text{min}}$$

$$Q_{\text{aire necesario}} = 0.0142 \frac{m^3}{s}$$

5.2.5. Propiedades del aceite térmico

El software ParaCalc nos genera los siguientes datos , tomando para esta aplicación a temperatura media (60°C)

Densidad del aceite [ρ]	857.78 Kg/m ³
Viscosidad dinámica [μ]	15.50centiPoisie
Calor específico [Cp_a]	2090J/Kg°K
Conductividad térmica [K_a]	0.1277W/mK

5.2.6. Potencia disponible para el calentamiento del aceite

Determinamos la potencia disponible mediante la fórmula(17) tenemos:

$$P_{ds} = (2m^2) \left(890 \frac{W}{m^2} \right) (0.52)$$

$$P_{ds} = 925.6W$$

5.2.7. Tiempo que demora en calentarse

Partiendo de la fórmula (18) tenemos:

$$t = \frac{(64.942Kg) \left(2090 \frac{J}{Kg^{\circ}C} \right) (43^{\circ}C)}{925.6W}$$

$$t = 6305.464seg = 105.091 \text{ min aproximadamente}$$



5.2.8. Coeficiente de pérdidas de calor hacia arriba del colector

Aplicando la fórmula (6) tenemos:

$$U_{sup} = \frac{1}{\frac{514.03}{351} \left[\frac{351-297}{2+0.22} \right]^{0.307} + 15.23} + \frac{5.76 \times 10^{-8} (351 + 297)(351^2 + 297^2)}{\frac{1}{0.90 + 0.0059 \times 2 \times 13.3} + \frac{2 \times 2 + 0.22 - 1 - 0.133(0.90) - 2}{0.88}}$$

$$U_{sup} = 1.73 + 3.592$$

$$U_{sup} = 5.322 \frac{W}{m^2 \circ K}$$

5.2.9. Conductancia por la parte inferior [U_b]

Aplicando la fórmula (8) tenemos:

$$U_b = \frac{\frac{0.038W}{m^{\circ}K}}{0.05m}$$

$$U_b = 0.76 \frac{W}{m^2 \circ K}$$

5.2.10. Coeficiente de pérdidas de calor por los lados [U_{lad}]

Utilizando la fórmula (9) tenemos:

$$U_{lad} = \frac{0.038}{0.05} * \frac{0.52}{1}$$

$$U_{lad} = 0.40 \frac{W}{m^2 \circ K}$$

5.2.11. Coeficiente total de pérdidas de calor [U_L]

Aplicando la fórmula (5) tenemos:

$$U_L = 5.322 + 0.76 + 0.40$$

$$U_L = 6.482 \frac{W}{m^2 \circ K}$$



5.2.12. Radiación absorbida

Aplicando la fórmula (4) tenemos:

$$S = \left(890 \frac{W}{m^2}\right) (0.88)(0.90)$$

$$S = 704.88 \frac{W}{m^2}$$

Tiempo aproximado de llenado por una bomba de ½ HP = 3min=180s

Aplicando la fórmula (20) y (21) tenemos.

$$Q = \frac{0.07571}{180s}$$

$$Q = 4.206 \times 10^{-4} m^3/s$$

$$\dot{m}_{aceite} = (4.206 \times 10^{-4} m^3/s)(857.78 Kg/m^3)$$

$$\dot{m}_{aceite} = 0.360 Kg/s$$

5.2.13. Cálculo de la transferencia real de calor

Utilizando la fórmula (19) tenemos:

$$q = \frac{0.360 Kg}{s} * \frac{854.231 J}{Kg. ^\circ C} * (67 - 26) ^\circ C$$

$$q = 12608.449 W$$

5.2.14. Cálculo del factor de remoción

Aplicando las fórmulas (11) y (10):

$$\dot{m}_{col} = \frac{0.360 Kg/s}{13}$$

$$\dot{m}_{col} = 0.0276 Kg/s$$

$$FR = \frac{(0.0276)(857.78)(67 - 26)}{1(704.88 - 6.482)(26 - 24)}$$

$$FR = 0.7$$



5.2.15. Cálculo del Calor útil

Utilizando la fórmula(12) tenemos:

$$Q_u = (1) \cdot 0.7 [704.88 - 6.482(78 - 24)]$$

$$Q_u = 248.396W \text{ Por cada colector disponible}$$

El calor útil total en el sistema

$$Q_{UT} = 248.396W * 2 \text{ colectores}$$

$$Q_{UT} = 496.792W$$

5.2.16. Eficiencia de los colectores

Aplicando la fórmula (13) tenemos:

$$\eta_c = \frac{496.792W}{890 \frac{W}{m^2} * 1m^2}$$

$$\eta_c = 55.82\%$$

5.2.17. Eficiencia del sistema entre la potencia entregada de los colectores y potencia de salida del silo

Aplicando las fórmulas (1) y (14) tenemos:

$$P_{sal} = 0.0142 \frac{m^3}{s} * 1.1908 \frac{Kg}{m^3} * 1.0059 \frac{KJ}{Kg \cdot ^\circ C} * 49^\circ C$$

$$P_{sal} = 833.44W$$

$$\eta_{sistema} = \frac{833.44W}{925.6W} = 0.90 = 90\%$$

5.2.17.1. Eficiencia global de todo el sistema

Aplicando la fórmulas (15) y (16) tenemos:

$$P_g = 890 \frac{W}{m^2} * 2m^2 = 1780W$$

$$\eta_g = \frac{833.44W}{1780W}$$

$$\eta_g = 0.468 = 46.8\%$$

5.3. PROMEDIO DE TEMPERATURA DEL ACEITE AL ENTRAR Y SALIR DEL COLECTOR.

Temperatura del aceite a la entrada de los colectores

En la figura 39, se representan los promedios monitoreados de temperaturas del aceite al ingresar al colector, desde el día 11 hasta el 24 del mes de julio por las semanas de secado en el que se puso en funcionamiento el secador para su experimentación:

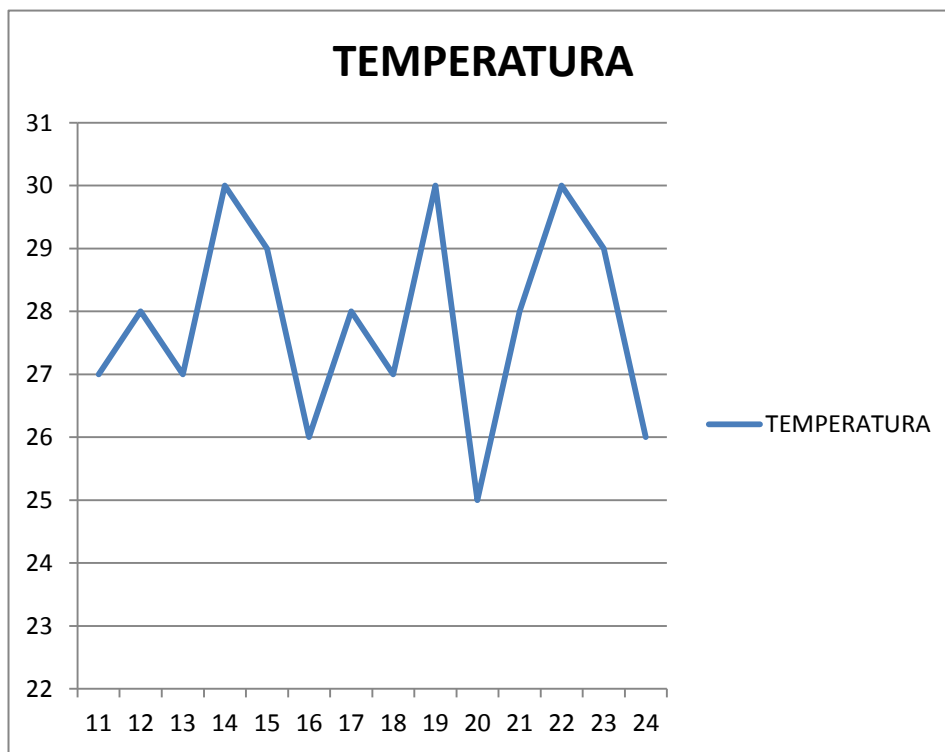


Figura 39: Curva para la determinación de temperatura del aceite al ingresar al colector.

Aquí obtuvimos un promedio de la temperatura del aceite a la entrada del colector que es de 26 °C.

Temperatura del aceite a la salida de los colectores

En la figura 40, se representan los promedios monitoreados de temperaturas de salida del colector, desde las 11h00 hasta las 15h00 al entrar al tanque de reserva por las 2 semanas de secado en el que se puso en funcionamiento el secador para su experimentación:

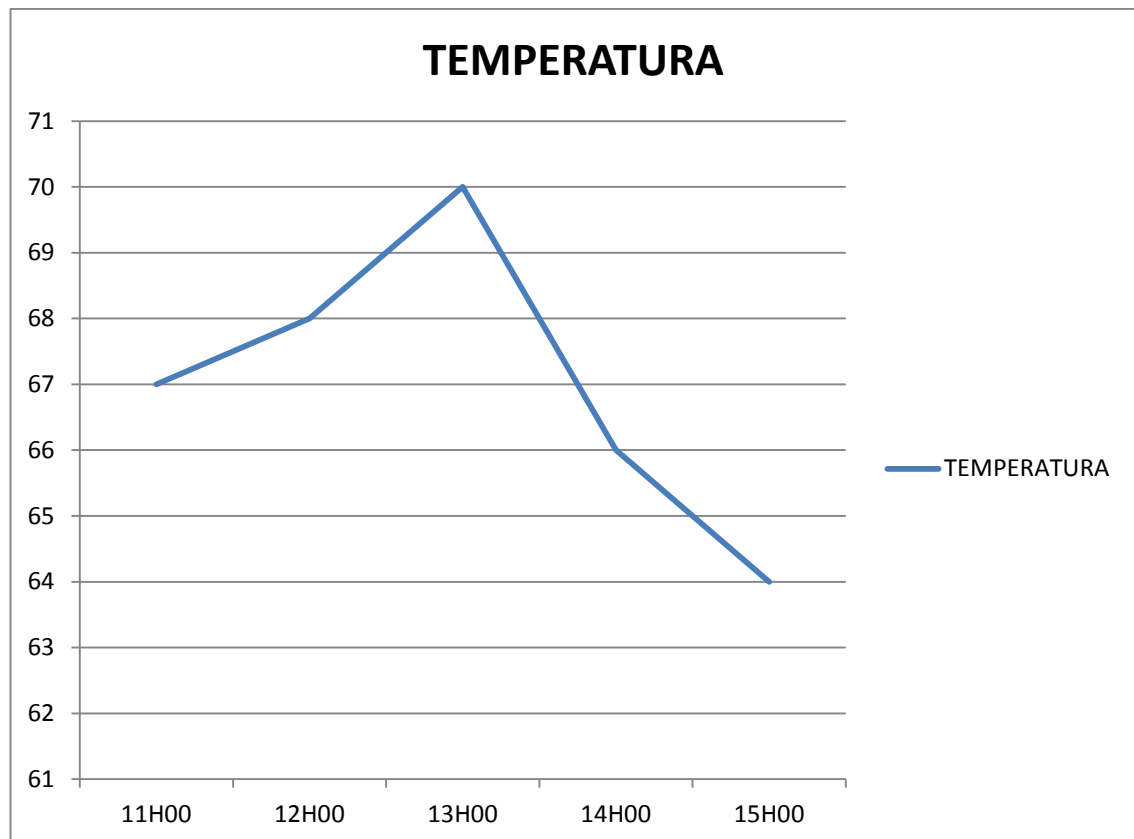


Figura 40: Curva para la determinación de temperatura del aceite a la salida del colector .

Aquí obtuvimos un promedio de la temperatura del aceite a la salida del colector que es de 67 °C.

5.4. PROMEDIO DE TEMPERATURA DEL ACEITE AL ENTRAR Y SALIR DEL RADIADOR.

Temperatura del aceite a la entrada del radiador

En la figura 41, se representan los promedios monitoreados de temperaturas a la entrada del radiador, la segunda y tercer semana de julio desde las 11h00 hasta 15h00, en el que se puso en funcionamiento el secador para su experimentación

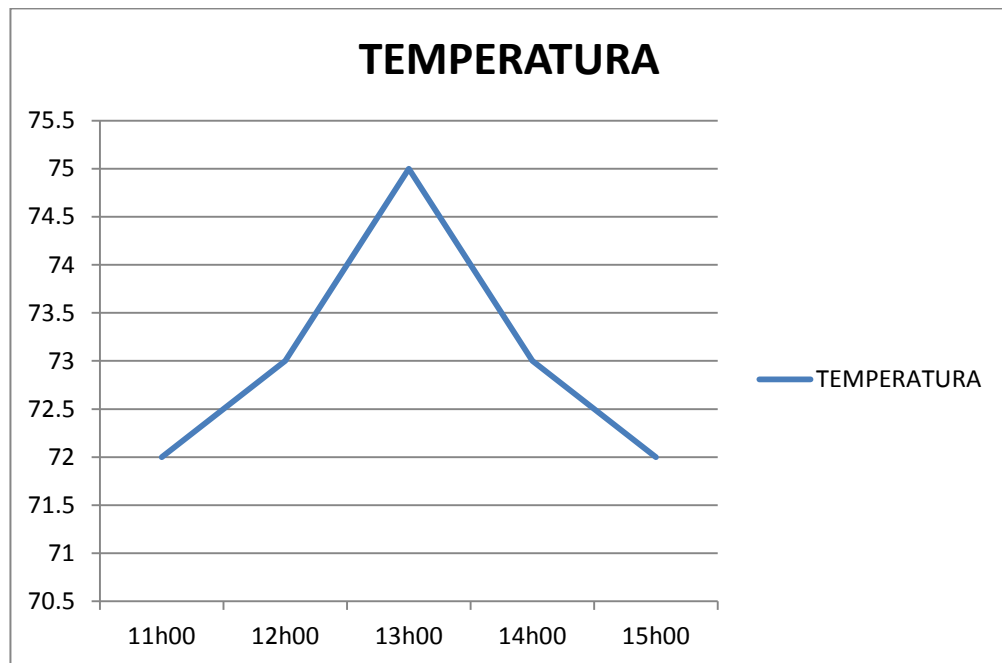


Figura 41: Curva para la determinación de temperatura del aceite a la entrada del radiador .

Aquí obtuvimos un promedio de la temperatura del aceite a la entrada del radiador que es de 73 °C

Temperatura del aceite a la salida del radiador

En la figura 42, se representan los promedios monitoreados de temperaturas a la salida del radiador, la segunda y tercer semana de julio desde las 11h00 hasta 15h00, en el que se puso en funcionamiento el secador para su experimentación.

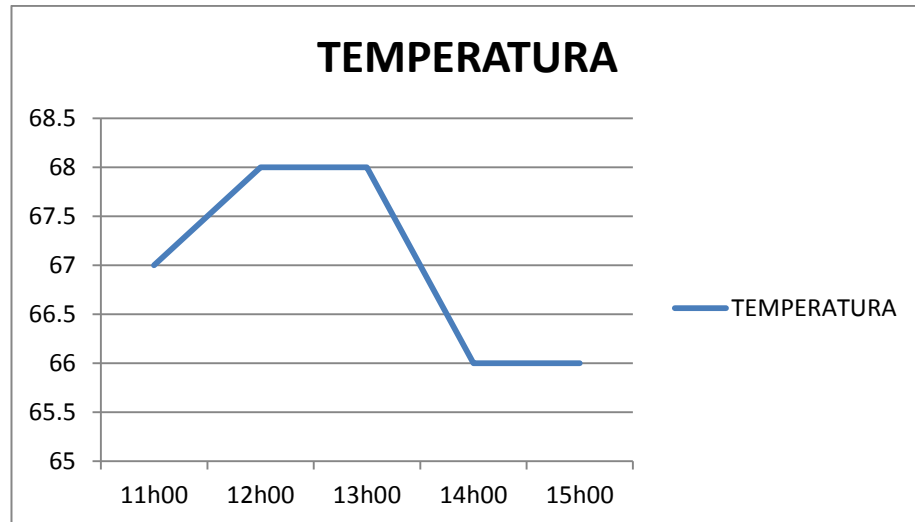


Figura 42: Curva para la determinación de temperatura del aceite a la salida del radiador .

Aquí obtuvimos un promedio de la temperatura del aceite a la salida del colector que es de 67 °C

5.5. EFICIENCIA GLOBAL DE TODO EL SISTEMA DE SECADORES SOLARES DE FLUJO CRUZADO.

Aquí observamos en la tabla17, resultados globales de la eficiencia de sistemas de secadores solares con silo en el país.

Tabla17. Eficiencia de secadoras de granos

CANTÓN	COMBUSTIBLE	SECADO DE GRANOS	EFICIENCIA GLOBAL DEL SISTEMA
MACARA	ACEITE QUEMADO	ARROZ	22%
PALTAS	ACEITE TERMICO	MANÍ, MAÍZ	46.8%
GUAYAQUIL	DIESEL OIL	ARROZ	60%

Podemos comparar nuestra máquina con las anteriores , en donde conseguimos determinar que se encuentra en segundo lugar, pero a diferencia de la primera; no realiza gastos de combustible diariamente y no realiza ningún impacto ambiental, justificando su construcción que a pesar de ser un costo elevado al inicio de su instalación, su vida útil es de 15 años por lo que al 2 año recupera la inversión, siendo este una secadora más eficiente a la anteriores.

5.6. CÁLCULO TOTAL DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD DEL GRANO DE MANÍ, MAÍZ.

Aplicando la formula (23) tenemos:

$$TH = 16.34 - 13.85 = 2.49 \approx 2.5\%$$

Para una mayor exactitud utilizamos un instrumento que se observa en la figura 43, es un medidor de humedad de granos G-7. Y estos fueron los resultados.



Figura 43: Se determina la humedad del maíz antes de ponerlo en la secadora solar.

Como resultado determinamos que por el buen potencial solar existente en el Centro Binacional de formación técnica de Zapotepamba se determinó que el porcentaje de humedad bajo a 2.5% de humedad del maíz en mazorca y maní en cascara durante cada



hora y se determinó que el porcentaje de humedad bajo a 3.5% el maíz desgranado o sin mazorca.

Estos resultados fueron avalados, por medio del Ing. Ramiro Jiménez.

5.7. CONSUMO DEL SISTEMA DE SECADO SOLAR DE MAÍZ Y MAÍZ

Consumo de Bomba 1/2 Hp:

Tiene un consumo de $C_b = 0.61$ kw en un tiempo de trabajo de $t = 4$ horas.

$$C_B = C_b \times t \approx C_B = 0.61 \times 4 \approx 2.44 \text{kw.h}$$

Consumo de Ventilador 4”:

Tiene un consumo de $C_v = 0.66$ en un tiempo de trabajo de $t = 3$ horas.

$$C_v = C_{v1} \times t \approx C_v = 0.66 \times 3 \approx 1.98 \text{kw.h}$$

Consumo total del sistema de secado solar

En el Centro Experimental de Formación Técnica Zapotepamba el kilowatio hora tiene un costo de \$0.08, expondremos el consumo del sistema solar al secar 90 quintales en un tiempo 5 horas diarias en 30 días.

$$C_{\text{total}} = (C_{Bt} + C_{vt}) \times 30 \text{días} = (2.44 + 1.98) \times 30 = 132.6 \times 0.08 \text{cents} = \$10.61 \text{cents.}$$

6. DISCUSIÓN

El desarrollo de esta investigación se inicia con una extensa recopilación, análisis e interpretación de información acerca de la secadora solar. Determinamos que no solo los factores internos afectan al funcionamiento eficiente en el secado de granos, sino también los externos y estos son los parámetros climáticos entre los principales tenemos: radiación solar, humedad, velocidad del viento, temperatura, precipitación

Para poder determinar estos parámetros climáticos se debería realizar un monitoreo, pero mediante una observación determinamos que el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba contaba con una estación meteorológica automatizada bajo la responsabilidad del Ing. Franco Reinoso funcionando desde el año 2006 y dejando de funcionar desde el año 2009 en adelante como se observa en la figura 44, pero para comprobar si estos valores eran correctos tocaba validar con otra estación que se encontrará lo más cerca al sector donde sería instalada la secadora solar. Se encontró una estación a 250 m al oeste siendo una estación meteorológica convencional bajo la responsabilidad del Ing. José Ullauri denominada estación meteorológica El Almendral perteneciente desde el año 2005 hasta el año 2009 al CENAGUA con el código MB90 y en la actualidad está bajo la responsabilidad del INAMHI siendo esta desde el año 2010 automatizada.



Figura 44: Instalación de la estación meteorológica en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba.



El principal inconveniente fue en la recopilación de información de las dos estaciones por ser una convencional y otra automatizada existen una gran diferencia respecto a los datos obtenidos en: velocidad del viento, humedad, temperatura en el caso de la radiación solar. La estación del Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba no contaba con datos correctos de la radiación solar por encontrarse sus sensores dañados desde el funcionamiento de la estación recopilando información alterada. Mientras que la estación El Almendral en esos años por ser convencional esta estación no disponía de sensores solares sino que para calcular la radiación solar utilizan fajas heliográficas que mide horas sol y mediante fórmulas se calcula la radiación solar, pero por falta de material (fajas heliográficas) no se encontraron datos de ningún año.

Para poder determinar la radiación solar en el sector me base en el modelo de visualización gráfica del potencial solar realizado por el Ing. Freddy Rojas y el Ing. Henry Rodríguez utilizando el software Idrisi. Fue desarrollado con una base de datos del atlas solar que se caracteriza por tener una precisión del 90%. Este modelo contiene datos de insolación global y de posiciones geográficas mediante celdas. Y a fin de realizar la validación correspondiente se obtuvieron datos del mes de julio por medio de un piranómetro en forma manual en el horario de 11am a 15pm horas, que es el tiempo en donde se va a desarrollar el secado, me proporcionó una radiación solar promedio anual de $890 \frac{W}{m^2}$ y una velocidad promedio del viento de $2 \frac{m}{s}$ estas condiciones son favorables para el funcionamiento, teniendo inconvenientes los meses de invierno debido a que las lluvias y la nubosidad del cielo no prestan las condiciones óptimas para el trabajo de la máquina secadora de maíz y maní. Como resultado determinamos que el modelado constituye un margen de error del $\pm 1.17\%$ resultando una buena aproximación para determinar el potencial solar en el sector de Zapotepamba perteneciente a la parroquia Casanga.

Según los datos obtenidos en el sector de Zapotepamba es posible la aplicación del secador solar en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba (CBFTZ) debido a su ubicación geográfica, la mayor parte del año cuenta con un potencial solar de radiación directa aprovechable de aproximadamente 7 horas desde las 09H00 de la mañana hasta las 16H00 de la tarde.

Anteriormente la secadora solar funcionaba con aceite quemado produciendo un gran impacto ambiental al momento de fugas o en el mantenimiento del mismo como se observa en la figura 45.



Figura 45: Contaminación en los accesorios del colector debido al aceite quemado.

Por eso procedimos a buscar otro aceite térmico que sea de fácil adquisición en cantidades pequeñas en el mercado, pero las marcas como: TEXACO, VALVOLINE se conseguía solo en tanques de 55 galones y ahí existía un problema ya que no podían ofrecer menos cantidad de aceite térmico. Procedí a buscar detenidamente en otras marcas de aceite y encontré una marca que cumplía con las especificaciones técnicas de la secadora solar es de la compañía GULF procedente de España, se dedica a la elaboración de todo tipo de aceite ya sea hidráulico o térmico, denominado GULF THERM que es un aceite térmico que cuenta con una elevada capacidad calorífica y una prolongada vida útil de 2 a 3 años, de fácil adquisición en el mercado mínimo de 5 canecas en adelante, cada caneca contiene 5 galones.

Existía un problema en el depósito de reserva al momento de haber fugas en el sistema, no llegaba a la salida del depósito donde era absorbida por la bomba provocando que entre en vacío, deteriorando a su vez la bomba. Así que se cambió la posición, donde estaba la válvula de desfogue se puso la salida del depósito; y donde estaba

anteriormente instalada la salida del depósito, se puso la válvula de desfogue como se observa en anexos (IV), con el fin de que en caso de que haya fugas, pueda seguir absorbiendo, provocando que se produzca un vacío en la bomba y no exista problemas como en la instalación anterior.

Para regular la temperatura del fluido cuenta con un termostato que permite el encendido y apagado de la bomba, para evitar que la temperatura sobrepase los 75°C en el radiador logrando transmitir una temperatura al aire que no sobrepase de 60°C a 75°C que es la temperatura ideal para el secado ideal de maíz en mazorca y maní con cascara, evitando que se produzcan daños en el grano.

Gracias a la aportación de instrumentos nuevos al Área de la Energía las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables, conseguimos tener el acceso a un medidor de granos G-7 como se observa en la figura 46, por lo que pude realizar el monitoreo del secado del maíz y maní, logrando determinar con la humedad que ingresa el maíz en mazorca y maní que fue del 21% y tomando muestras cada hora de secado logrando bajar un 2.5%, logrando un secado eficiente, mientras con el maíz desgranado fue del 4% por cada hora, obteniendo un secado óptimo para su almacenaje y esto se lo realizo debido a la ayuda del medidor de granos.



Figura 46: Medidor de humedad G-7.



6.1. VALORACIÓN TÉCNICO ECONÓMICA.

Para el presente, se considera costos directos en la tabla 1, 2, 3,4 y se presenta el total en la tabla 5 e indirectos en la tabla 6, en la tabla 7 se indica el costo total de la instalación del secador solar de granos.

Los que a continuación se detallan:

Costos directos

Los costos directos del presente proyecto son:

- Adquisición de materiales
- Transporte
- Mano de obra

Tabla1: Costo de materiales para la obra civil

Descripción	Costo unit.	Cant.	Total	Observ.
Vidrio de 4 mm	8.00	2	16.00	-
Lana de vidrio de 6 cm	4.00	6	24.00	-
Lana de vidrio de 4 cm	2.50	8	20.00	-
Pintura negro mate (esmalte) ¼ galón	2.51	1	2.51	-
Pintura martillada (esmalte) ¼ galón Amarilla	2.97	1	2.97	
Esmalte Ultra Gris perla 1/32Gal	1.00	2	2.00	-
Masilla epóxica Rally	1.70	3	5.10	-
Remaches de 3/16" x 1/2" (aluminio)	0.02	50	1.00	-
Envoltura exterior de tanque (Cinta adhesiva)	3.00	10	30.00	
Diluyente	1.30	1	1.30	Litro
termocuplas	5	4	20.00	
Disco de lijar (4-1/2in x 1/32in x 7/8in) para amolador pequeño	1.80	2	3.60	
Disco de desgaste (4-1/2in x 1/32in x 7/8in) para amolador pequeño	1.80	1	1.80	-
Gasolina	1.48	3	4.44	Galones
Papel de aluminio para envoltura de tubería de agua caliente.	1.00	4	4.00	Rollos
Silicona	3.00	7	21.00	
Brocha de 1"	0.30	2	0.60	
Aceite Térmico Gulftherm	100.00	4	400.00	canecas(4galones)
Medidor de temperatura (termómetro digital)	29.00	1	29.00	
Termóstato	20.00	1	20.00	
SUBTOTAL EQUIPO			609.32	



Tabla2: Costo de los materiales para la instalación hidráulica.

Descripción	Unidad	Cantidad	Pr. Unitario (USD)	Subtotal (USD)
Tubería PVC de Ø½ in para agua caliente	U	3	8.25	24.75
Tubería PVC de Ø¾ in para agua caliente	U	1	12.60	12.60
Tee de Ø½ in para agua caliente.	U	5	0.60	3.00
Tee de Ø¾ in para agua caliente.	U	2	0.90	1.80
Válvula de presión (check) de Ø½ in para agua caliente	U	1	10.37	10.37
Válvula de presión (check) de Ø¾ in para agua caliente	U	1	11.13	11.13
Codo HH90° de Ø½ in para agua caliente.	U	14	0.45	6.30
Codo HH90° de Ø¾ in para agua caliente.	U	1	0.59	0.59
Unión Universal de Ø½ in para agua caliente.	U	10	0.96	9.60
Unión Universal de Ø¾ in para agua caliente.	U	2	1.80	3.60
Codo MH90° de Ø¾ in para agua caliente.	U	2	0.59	1.18
Union R.R. de Ø 1¼ in	U	2	2.00	4.00
Teflón para tubería grande de agua caliente	U	6	0.80	4.80
Abrazadera de Ø1¼in	U	4	0.63	2.52
Cortadoras de Ø½ in de hierro galvanizado. (edesa)	U	2	3.69	7.38
Reductor Bushing de Ø1¼ in * Ø½ in de agua caliente	U	1	1.43	1.43
Reductor Bushing de Ø1¼ in * Ø¾ in de agua caliente	U	1	2.00	2.00
Neploflex de Ø1 in	U	1	0.33	0.33
Adaptador para tanque de Ø¾ in para agua caliente.	U	9	2.35	21.15
TOTAL				128.53



Tabla3: costo de transporte.

DESCRIPCIÓN	Subtotal (USD)
Zapotepamba- Loja	80.00
Loja- Zapotepamba	80.00
Transporte (Zapotepamba- Loja) Loja- Zapotepamba	40.00
Viáticos(30 días)	150.00
TOTAL	350.00

Tabla4: Para la cerca para el secador

Postes	1.10	12	13.20	
Alambre de púas	9.00	1	9.00	-
Grampas	1.00	2	2.00	Libra
TOTAL			24.20	

Tabla 5: Costo directo del proyecto.

DESCRIPCIÓN	Subtotal (USD)
Costo de materiales para la obra civil	609.32
Costo de materiales para la instalación hidráulica.	128.53
Costo de transporte	350.00
Costo para la cerca del secador	24.20
TOTAL	1112.05



Costos indirectos.

Los costos indirectos del proyecto son:

- Costo ingenieril
- Imprevistos

Tabla 6: Costo indirecto del proyecto.

DESCRIPCIÓN	Subtotal (USD)
Costo ingenieril	150
Imprevistos	50
TOTAL	200

A continuación se muestra la tabla del costo total de la instalación del secador solar de granos.

Tabla 7: Costo total del proyecto.

DESCRIPCIÓN	Subtotal (USD)
Costo directo	1112.05
Costo indirecto	200
TOTAL	1312.05



6.2. VALORACIÓN AMBIENTAL.

Con el estudio realizado se podrá fomentar el uso de energía alternativa solar, especialmente en los sectores rurales de la provincia de Loja.

Puesto que el funcionamiento de la secadora solar es un sistema cerrado, no produce impacto negativo en el medio ambiente, la secadora solar produce su secado sin emisiones contaminantes al aire. A diferencia del sistema a gas que emana contaminantes al aire.

Desde el punto de vista solar esta energía no contamina, es inagotable y frena el agotamiento de combustibles fósiles contribuyendo a evitar el cambio climático. Es una tecnología de aprovechamiento totalmente madura.



7. CONCLUSIONES

- Para que existe una base de datos factibles en la estación meteorológica ubicada en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba, se debe realizar un mantenimiento ya que actualmente recopila información inconclusa, ocasionando problemas al momento de validar la información con otra estación meteorológica.
- La operación postcosecha en la que se presenta mayor porcentaje de pérdida es el desgrane de las mazorcas de maíz en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba, por las siguientes causas: descalibración de la desgranadora y; someter un grano con alto contenido de humedad a esta operación.
- El rango de humedad adecuado para poder almacenar un grano de maíz por largo tiempo está entre el 13% a 14% ya que el 90% de la producción maicera de la zona está destinada a la industria de los balanceados, por los que los controles de calidad en el secado son importantes. Para el maní entre el 7% y 9%, lo que se logra con una eficiente operación de secado y un manejo adecuado del grano.
- Este sistema de secado solar utilizando aceite térmico gulftherm, no provoca ningún daño al medio ambiente y se obtiene un ahorro económico, la cual comparado con un sistema de secado a gas no se obtiene un ahorro económico; además realiza combustión y emite daños perjudiciales al medio ambiente.



8. RECOMENDACIONES

- Se debe realizar una verificación de que instrumentos se encuentran dañados y realizar una calibración anual de los instrumentos instalados en la estación ubicada en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba, para que existe una base de datos factibles.
- Es de suma importancia realizar un pre-secado en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba para disminuir las pérdidas en la operación de desgrane y percibir un mejor precio por el producto que está vendiendo.
- Para su óptimo funcionamiento se debe hacer un mantenimiento semestral, evitando de esta manera fallas en el sistema como: fisuras en los colectores que se dan con mucha frecuencia, limpieza en la bomba y accesorios evitando que exista una mala circulación del aceite térmico provocando una mala eficiencia en el sistema.
- Los colectores en tiempo de lluvias deben estar herméticamente bien tapados para que no sufra filtraciones que produzcan daños al sistema, así como cuando se de la nubosidad deben ser encubiertos para que conserven más tiempo la acumulación térmica en ellos.
- El fluido térmico utilizado en el secador solar posee una gran potencialidad térmica la cual hace que el secado se realice en un menor tiempo, y puede ser utilizado en un período extendido de 2 a 3 años ,además es de fácil adquisición al comprar mínimo 5 canecas en adelante, no menos por políticas de empresa.



9. BIBLIOGRAFÍA

LIBROS DE CONSULTA:

- CONELEC. (2008). Atlas solar del Ecuador. Quito.
- CRUZ, D. (2006). Secadores solares tipo domo para café pergamino la experiencia en Huehuetenango. Guatemala: PUBLICACIONES CEDICAFE.ES.
- DELGADO, L. (1994). Estudio diseño y evaluación de un colector plano con el uso de un concentrador solar. Ingeniería energética n.1, 45p.
- FUNDACIÓN CELESTINA PÉREZ DE ALMADA. (s.f.). Guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes. Montevideo: EDUCACIÓN MERCOSUR.ES.
- PARATHERM CORPORATION. (1988-2003). PARACALC.ES. Estados Unidos.

TESIS

- CHICAIZA RIVERA, M. E. (2007). Diseño de una secadora de arroz con intercambiador de calor para una piladora. Escuela Politécnica del Litoral, mecánica, Guayaquil.
- PARDO, C., & TACURY, C. (2009). Diseño, construcción y monitoreo de un sistema de secado de arroz por aire forzado con fuente de energía solar utilizando aceite térmico en la piladora de arroz Don Lucho en el cantón Macara. Loja.
- RUIZ, L. (2010). Plan de mejoramiento del proceso de manejo poscosecha y de las operaciones de los sistemas de secado de maíz para el sector agrícola en el cantón Ventanas, en la provincia de los Ríos. Quito.

PÁGINAS WEB:

- CORPORACIÓN CATAMAYO, <http://www.corporación.catamayo.com>
- OBJETIVOS DEL SECADO, <http://www.scielo.cl>: <http://www.scielo.cl>
- WIKIPEDIA. 2011. Solares en régimen Estacionario Instituto Térmico. [En línea]. [<http://www.solasur.com>], [Consulta: 18 Mayo, 2011]
- DEFINICIÓN DE SECADO, <http://www.virtual.unal.edu.com>: <http://www.virtual.unal.edu.com>



10. ANEXOS

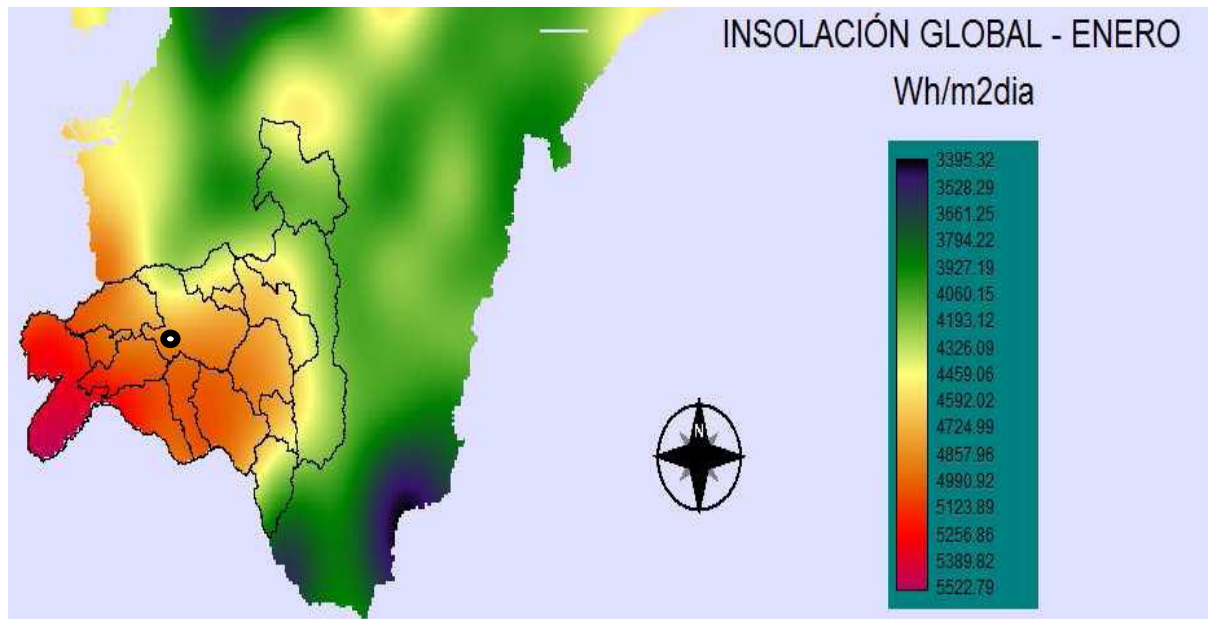


ANEXO I: CARACTERÍSTICAS DEL AIRE

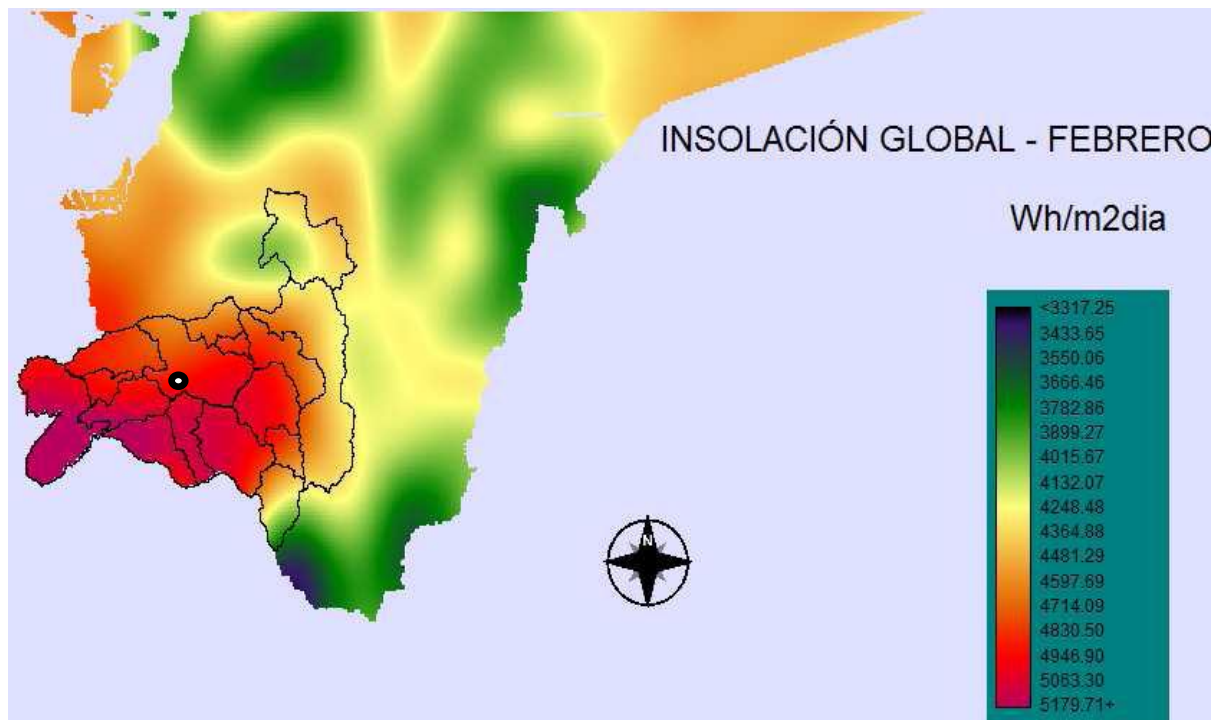
Temperatura °K	Densidad ρ (Kg/m ³)	Calor específico c_p kJ/Kg°C	Visc. dinám. $\eta \cdot 10^5$ (Kg/m.seg)	Visc. cinem. $\nu \cdot 10^6$ (m ² /seg)	Conductiv. térmica "k" W/m°C	Dif. térmica $\alpha \cdot 10^4$ (m ² /seg)	Nº de Prandtl Pr
100	3,6010	1,027	0,692	1,92	0,0092	0,0250	0,770
150	2,3675	1,010	1,028	4,34	0,0137	0,0575	0,753
200	1,7684	1,006	1,329	7,49	0,0181	0,1017	0,739
250	1,4128	1,005	1,488	10,53	0,0223	0,1316	0,722
300	1,1774	1,006	1,983	16,84	0,0262	0,2216	0,708



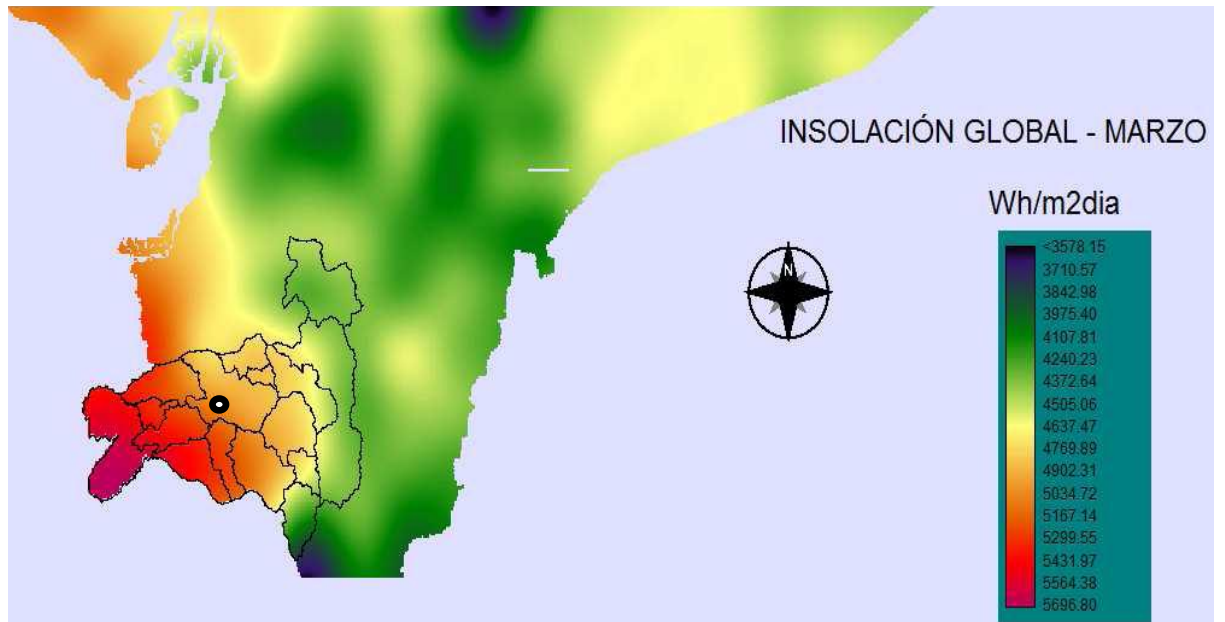
ANEXO II: MODELO DE VISUALIZACIÓN GRÁFICA, DE INSOLACIÓN GLOBAL DEL SECTOR ZAPOTEPAMBA.



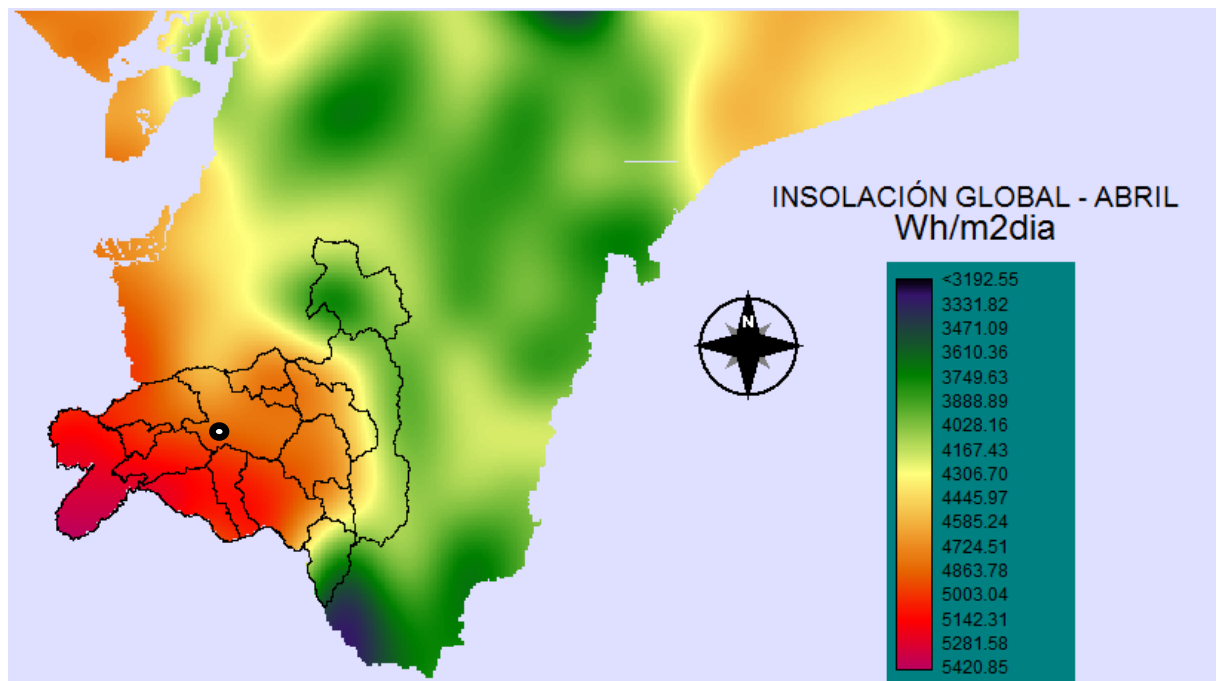
Insolación Global en el mes de enero.



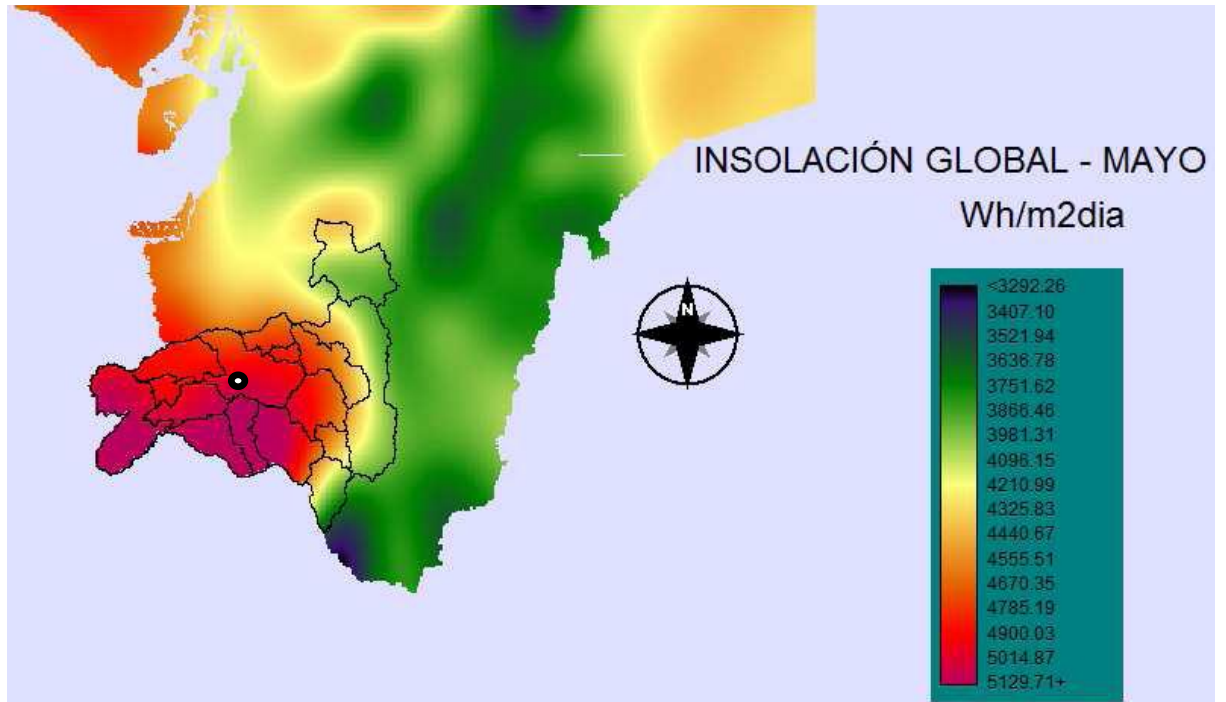
Insolación Global en el mes de febrero.



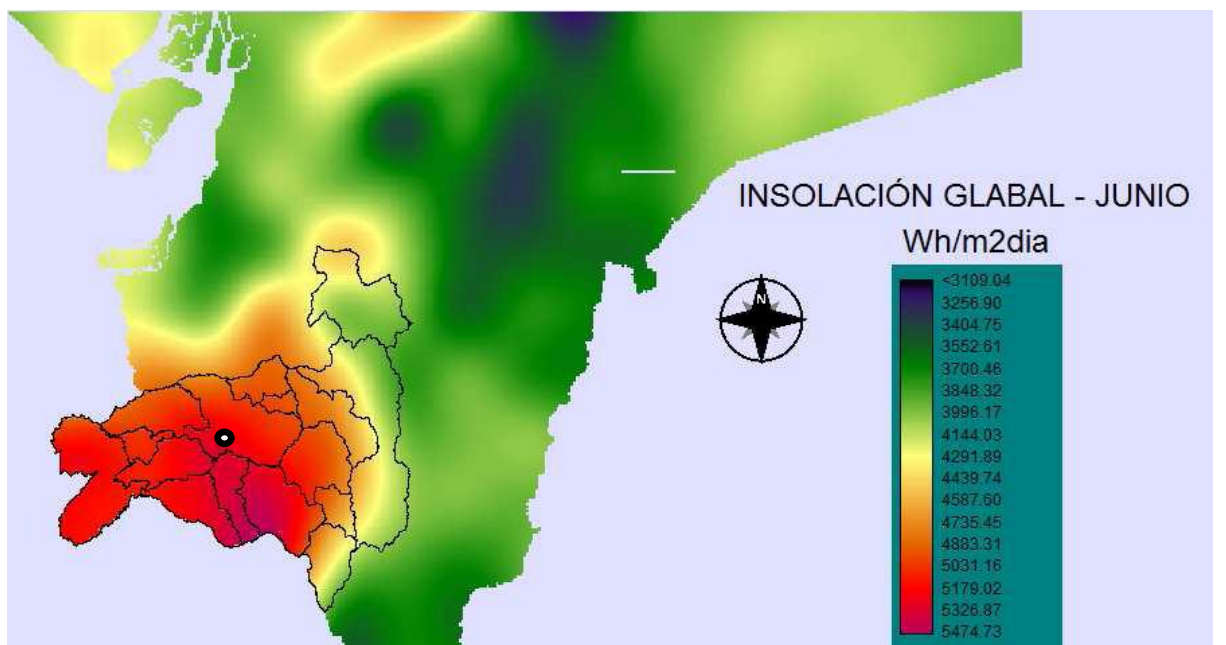
Insolación Global en el mes de marzo.



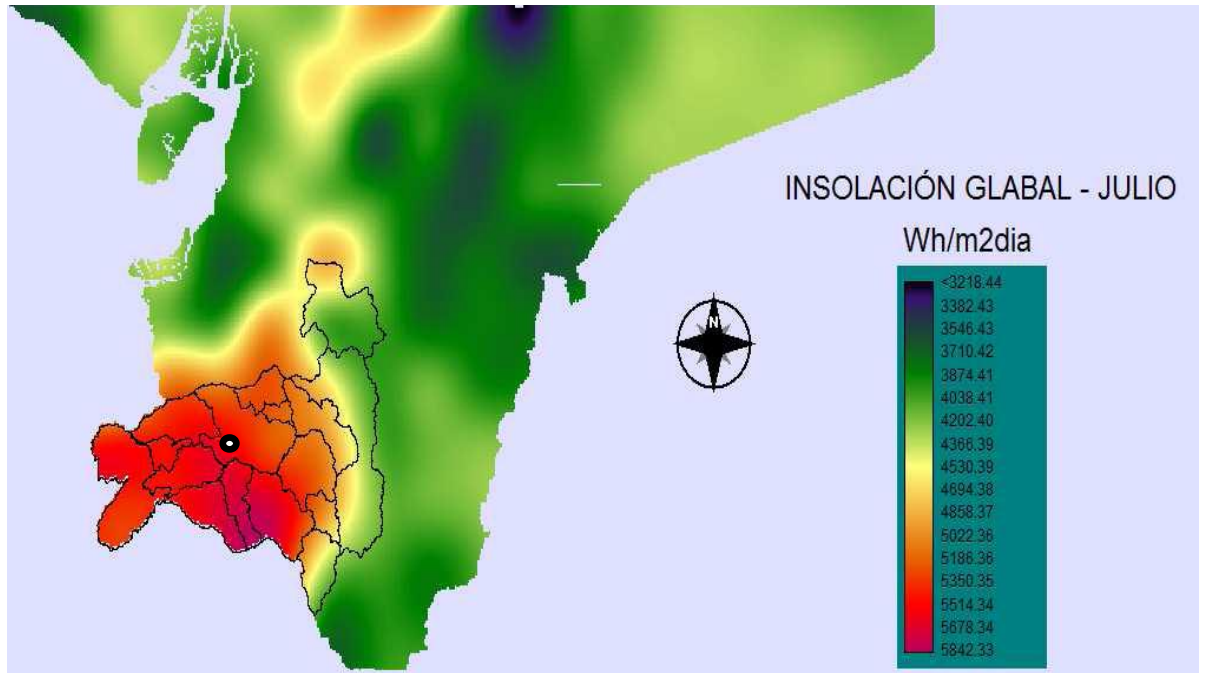
Insolación Global en el mes de abril.



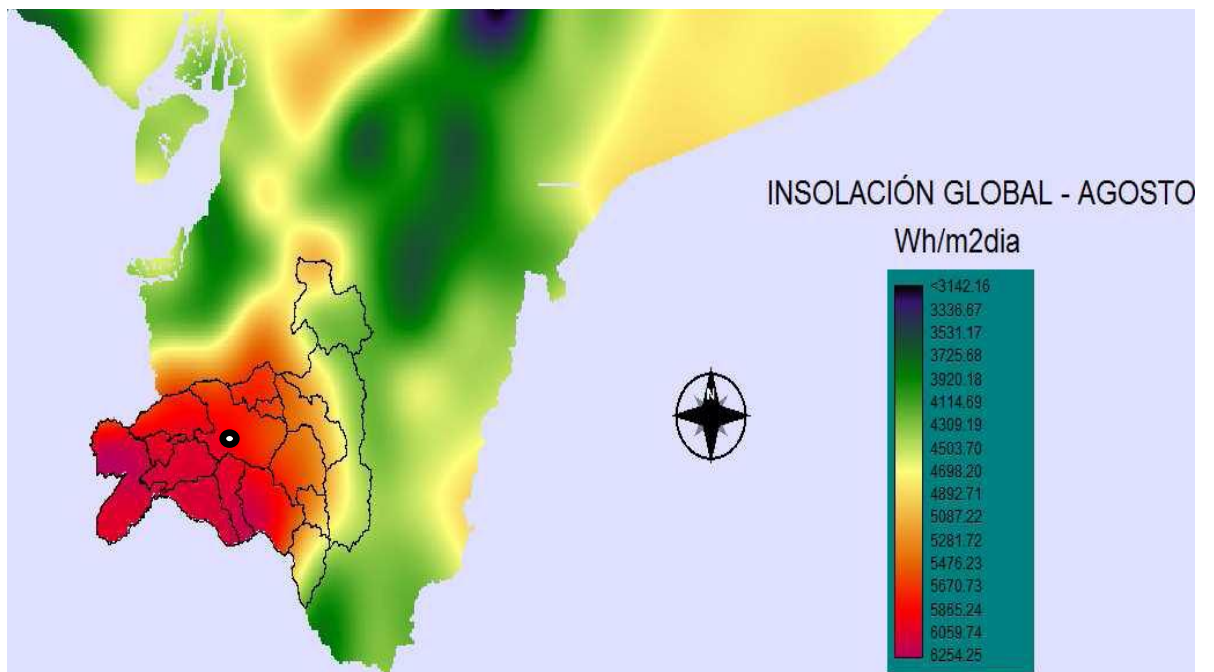
Insolación Global en el mes de mayo.



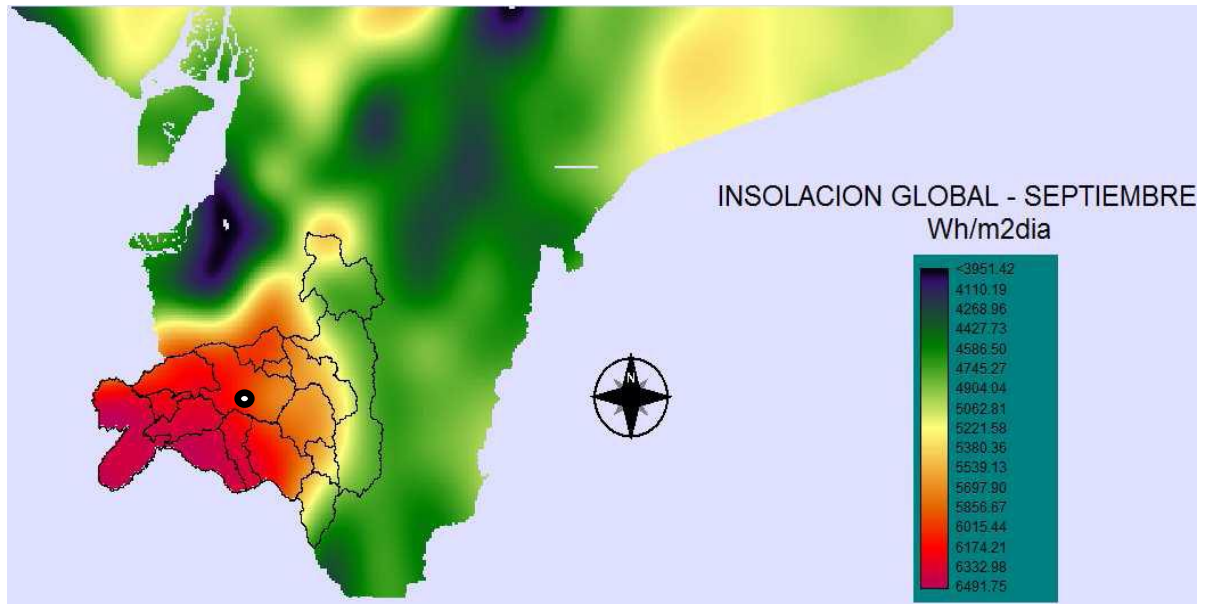
Insolación Global en el mes de junio.



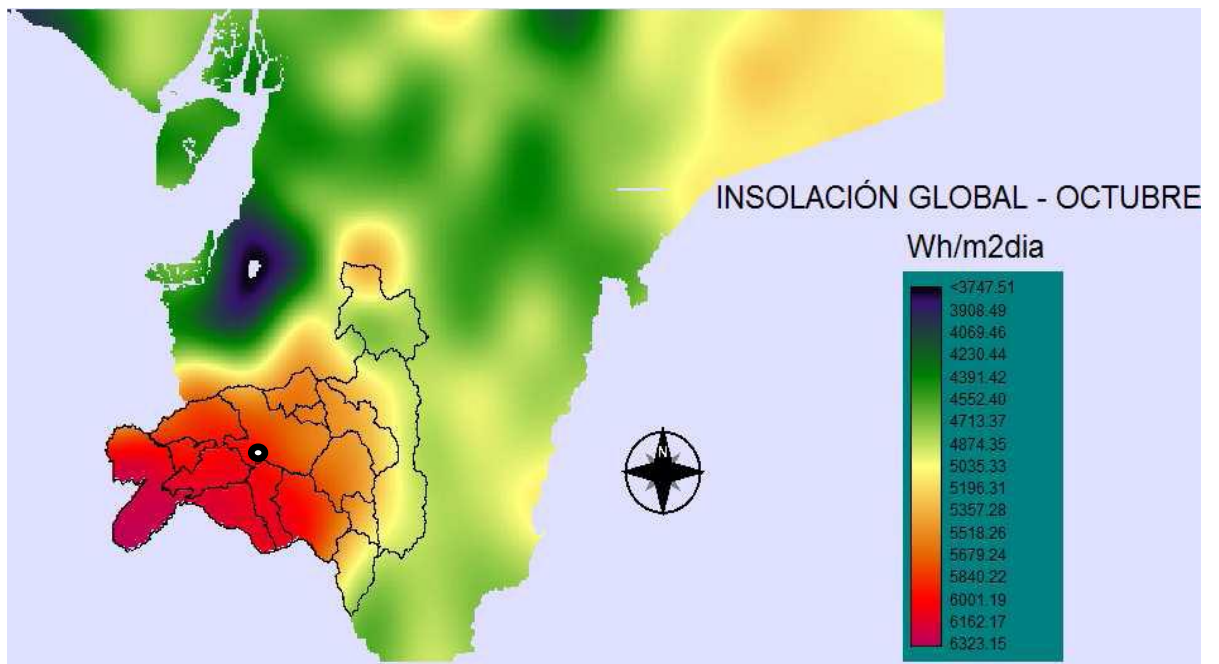
Insolación Global en el mes de julio.



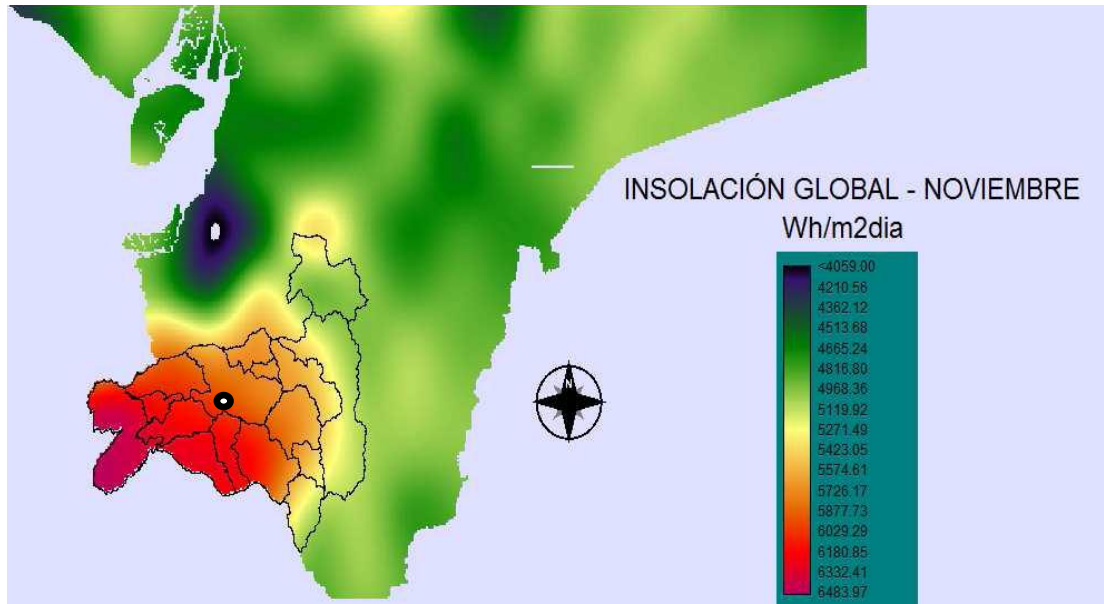
Insolación Global en el mes de agosto.



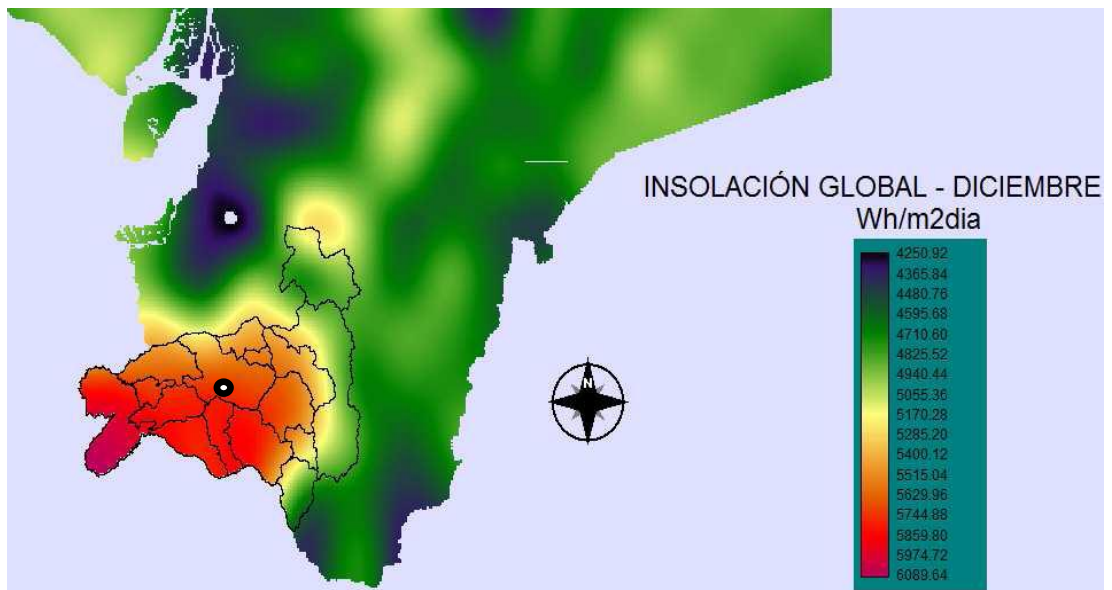
Insolación Global en el mes de septiembre.



Insolación Global en el mes de octubre.



Insolación Global en el mes de noviembre.



Insolación Global en el mes de diciembre.



ANEXO III: CONDICIONES DE LA SECADORA SOLAR PREVIAMENTE ANTES DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO DE TESIS.



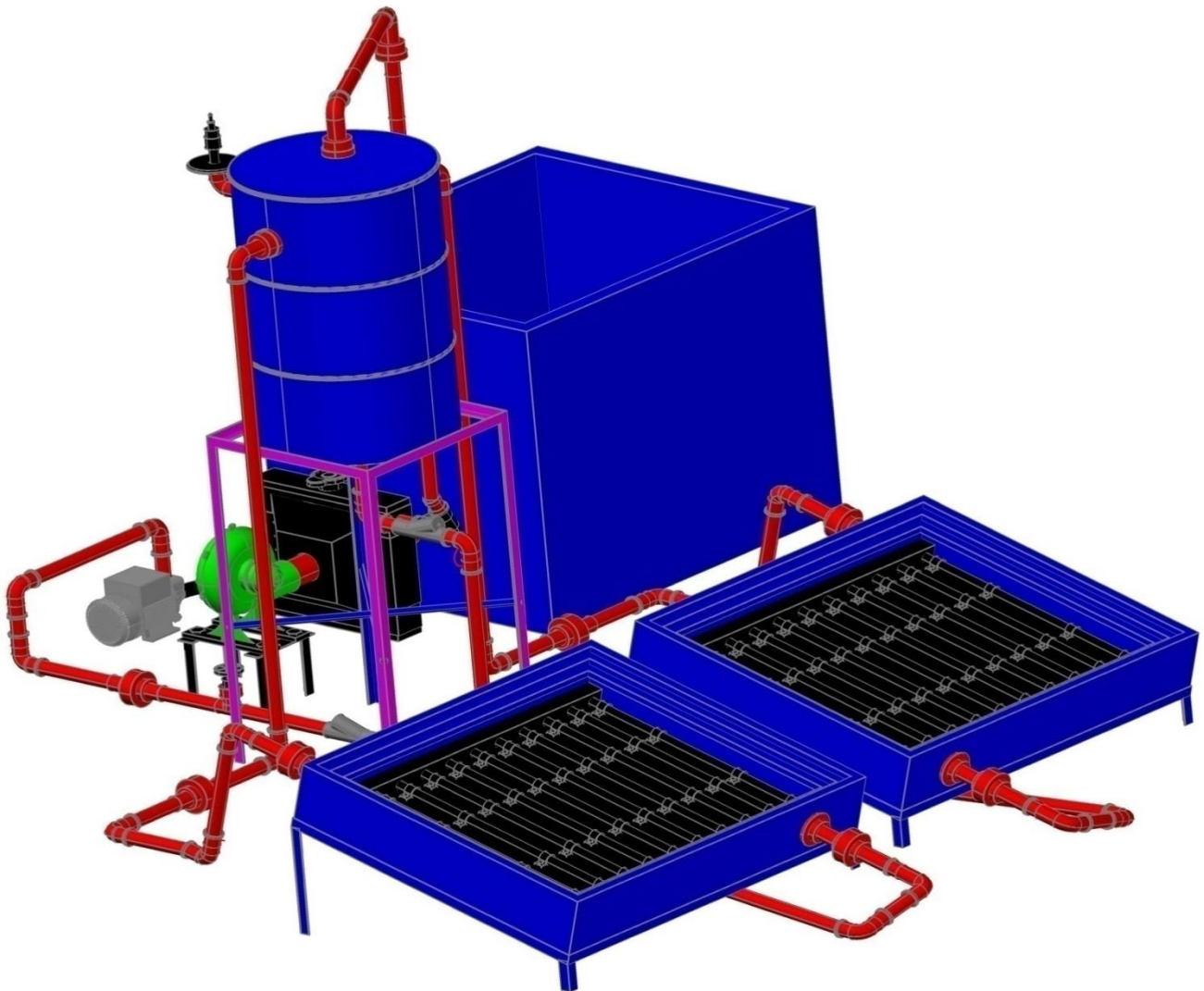
Ubicación de la secadora solar de arroz.



Deterioro de los colectores solares de la secadora solar de arroz.



ANEXO IV: DISEÑO DE LA MÁQUINA



*Diseño de la secadora solar de maní y maíz en el Centro Binacional de Formación
Técnica Zapotepamba (CBTZ).*



ANEXO V: INSTALACIÓN ACTUAL DE LA SECADORA SOLAR DE MAÍZ Y MANÍ EN EL CENTRO BINACIONAL DE FORMACIÓN TÉCNICA ZAPOTEPAMBA (CBTZ).



Instalación actual de la secadora solar de maíz y maní en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba (CBTZ).



OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN SECADOR SOLAR DE MANÍ Y MAÍZ,
EXISTENTE EN EL CENTRO BINACIONAL DE FORMACIÓN TÉCNICA ZAPOTEPAMBA (CBFTZ) CANTÓN PALTAS.



Secado de mazorcas de maíz en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba (CBTZ).



Secado de maíz desgranado en el Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba (CBTZ).



*OPTIMIZACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN SECADOR SOLAR DE MANÍ Y MAÍZ,
EXISTENTE EN EL CENTRO BINACIONAL DE FORMACIÓN TÉCNICA ZAPOTEPAMBA (CBFTZ) CANTÓN PALTAS.*

ANEXO VI: DISEÑO DEL ANTIPROYECTO