



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SECADOR SOLAR PARA
FRUTILLA (*Fragaria vesca*) UTILIZANDO MODELOS
MATEMÁTICOS”**

TRABAJO DE TITULACIÓN

TIPO: PROYECTO TÉCNICO

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO INDUSTRIAL

AUTOR: BRAULIO ISRAEL YUMBILLO CUJI

DIRECTORA: ING. EUGENIA MERCEDES NARANJO VARGAS

Riobamba–Ecuador

2020

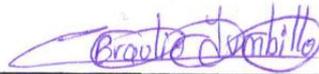
©2020, Braulio Israel Yumbillo Cuji

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

Yo, **BRAULIO ISRAEL YUMBILLO CUJI**, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

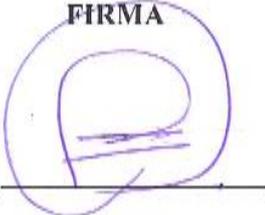
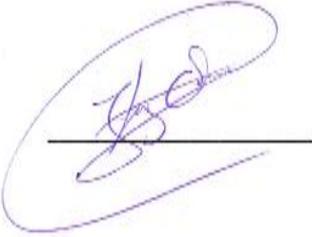
Riobamba, 15 de Enero 2020.



Yumbillo Cuji Braulio Israel
Cédula de Identidad: 230018999-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: Tipo: Proyecto Técnico, “**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SECADOR SOLAR PARA FRUTILLA (Fragaria vesca) UTILIZANDO MODELOS MATEMÁTICOS**” realizado por la señorita: **BRAULIO ISRAEL YUMBILLO CUJI**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Marco Homero Almendáriz Puente PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2020-01-15
Ing. Eugenia Mercedes Naranjo Vargas DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2020-01-15
Ing. Jhonny Marcelo Orozco Ramos MIEMBRO DE TRIBUNAL		2020-01-15

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico primeramente a Dios, mi Madre Maria Magdalena Cuji que estuvo siempre conmigo y alentarme a lo largo de esta travesía académica, a mi Padre Hector Yumbillo que supo aconsejarme y darme el impulso para continuar, mi hermano Moises por enseñarme que con esfuerzo y dedicación todo se alcanza, lograr esta meta añorada es un ejemplo de ello.

Braulio Israel Yumbillo Cuji

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la Escuela de Ingeniería Industrial y a sus docentes, por permitirme formarme y obtener mi título profesional y ser una persona útil para la sociedad.

A la Ing. Eugenia Mercedes Naranjo Vargas, director y al Ing. Jhonny Orozco miembro de trabajo de titulación; por su contribución a la ejecución y culminación del presente trabajo.

Y en especial para mis padres, hermanos, abuelos y tios por ser los impulsores para culminar esta meta de manera exitosa.

Braulio Israel Yumbillo Cuji

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xv
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1 MARCO REFERENCIAL.....	2
1.1 Antecedentes	2
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Justificación.....	4
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 <i>Objetivo general.</i>	4
1.4.2 <i>Objetivos específicos:</i>	4
CAPÍTULO II	
2 MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 La Frutilla (<i>Fragaria vesca</i>).....	5
2.1.1 <i>Producción de frutilla en el Ecuador</i>	5
2.1.2 <i>Características botánicas</i>	5
2.1.3 <i>Tipos de frutilla</i>	7
2.1.3.1 <i>Varietades cultivadas en el Ecuador</i>	7
2.2 Secado de alimentos.....	7
2.3 Energía solar	8
2.3.1 <i>Secado tradicional</i>	8
2.3.2 <i>Secador solar</i>	9
2.3.3 <i>Tipos de secadores</i>	10
2.3.3.1 <i>Sistemas de secado con convección natural</i>	10
2.3.3.2 <i>Secadores con convección forzada</i>	11
2.3.3.3 <i>Secadores con colector y efecto invernadero</i>	11
2.3.3.4 <i>Secadores tipo túnel</i>	12
2.4 Modelo matemático para la verificación del diseño del secador solar	13
2.4.1 <i>Modelo para el colector</i>	13

2.4.1.1	<i>Rendimiento del colector y temperatura del aire a la salida</i>	13
2.4.1.2	<i>Modelo matemático para la temperatura a la salida del colector</i>	14
2.4.2	<i>Modelo para la cámara de secado</i>	19
2.4.2.1	<i>Balances de masa y energía en sistema genérico de secado</i>	19
2.4.2.2	<i>Modelo matemático para la temperatura de la cámara de secado</i>	21
CAPÍTULO III		
3	DISEÑO DEL SECADOR SOLAR	24
3.1	Parámetros de Diseño	24
3.2	Variables de diseño	24
3.3	Selección del producto	25
3.3.1	<i>Criterios de valorización</i>	25
3.4	Selección del tipo de secador	26
3.4.1	Criterios de valorización	27
3.5	Modelado del prototipo del secador solar	28
3.6	Datos meteorológicos	29
3.6.1	<i>Zona</i>	29
3.6.1.1	<i>Microlocalización</i>	30
3.6.2	<i>Radiación solar</i>	31
3.6.3	<i>Temperatura</i>	32
3.6.4	<i>Humedad</i>	33
3.6.5	<i>Velocidad del viento</i>	35
3.6.6	<i>Presión atmosférica</i>	36
3.7	Ratio de secado	38
3.7.1	<i>Porcentaje de humedad durante el proceso de secado</i>	38
3.7.2	<i>Linealización del ratio de humedad</i>	39
3.7.3	<i>Curvas de secado</i>	40
3.7.4	<i>Determinación del coeficiente de secado “A”</i>	41
3.7.5	<i>Determinación del coeficiente de secado “B”</i>	42
3.8	Inclinación del colector solar	43
3.9	Diseño mecánico	43
3.9.1	<i>Dimensionamiento de las Bandejas</i>	43
3.9.2	<i>Dimensionamiento del colector solar</i>	45
3.10	Determinación del material de la bancada para el secador solar	50

3.10.1	<i>Análisis por flexión viga</i>	50
3.10.2	<i>Análisis por pandeo columnas</i>	51
3.10.2.1	<i>Relación de esbeltez</i>	51
3.11	Selección de los materiales para la construcción del secador solar	52
3.11.1	<i>Materiales para el colector solar</i>	52
3.11.1.1	<i>Cubierta del colector</i>	52
3.11.1.2	<i>Placa absorbedora del colector solar</i>	53
3.11.1.3	<i>Aislante para el colector solar</i>	54
3.11.2	<i>Material para la cámara de secado</i>	54
3.12	Designación de materiales para el secador solar	54
3.13	Modelo matemático para la verificación del diseño del secador solar	55
3.13.1	<i>Programación</i>	56
3.14	Interfaz del programa	67
3.14.1	<i>Interfaz para el colector</i>	67
3.14.2	<i>Interfaz para la cámara de secado</i>	68
3.15	Ejecución del programa	68
3.15.1	<i>Colector solar</i>	68
3.15.2	<i>Cámara de secado</i>	69
3.16	Modelado CAD	75
3.16.1	<i>Análisis térmico</i>	77
3.16.2	<i>Análisis estático de la bancada para el secador solar</i>	78
CAPÍTULO IV		
4	Construcción del secador solar	81
4.1	Procedimiento de construcción	81
4.1.1	<i>Construcción del soporte</i>	81
4.1.2	<i>Construcción de la cámara de secado</i>	83
4.1.3	<i>Construcción del colector solar</i>	84
4.2	Pruebas de funcionamiento	85
4.2.1	<i>Medidor de temperatura</i>	86
4.2.2	<i>Resultados</i>	88
4.2.2.1	<i>Verificación de resultados</i>	89
4.3	Tiempo de secado	89
4.3.1	<i>Propiedades organolépticas</i>	91

4.3.2	<i>Secado al aire libre</i>	92
4.3.3	<i>Secado en horno utilizando una temperatura de 50 °C</i>	93
4.3.4	<i>Comparación del secado tradicional vs secador solar</i>	93
4.4	Mantenimiento	95
4.4.1	<i>Tareas de mantenimiento</i>	95
4.4.2	<i>Manual de máquina</i>	96
4.4.3	<i>Reglamento de buenas prácticas para alimentos procesados.</i>	97
4.4.4	<i>Plan de operación</i>	98
4.5	Costos del secador solar	100
	CONCLUSIONES	102
	RECOMENDACIONES	103
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Características botánicas	6
Tabla 1-3: Alternativas para la selección del producto	25
Tabla 2-3: Niveles para la ponderación	25
Tabla 3-3: Criterios de valorización.....	26
Tabla 4-3: Ponderación de los criterios de valorización	26
Tabla 5-3: Alternativas para la selección del secador.....	27
Tabla 6-3: Niveles para la ponderación	27
Tabla 7-3: Criterios de valorización.....	28
Tabla 8-3: Ponderación de los criterios de valorización	28
Tabla 9-3: Radiación mensual tomada desde las 8 am hasta las 17 pm (W/m^2)	31
Tabla 10-3: Radiación solar promedio anual	31
Tabla 11-3: Temperatura ($^{\circ}C$) promedio mensual tomada desde las 8 am hasta las 17 pm	32
Tabla 12-3: Temperatura promedio anual.....	33
Tabla 13-3: Humedad promedio mensual tomada desde las 8 am hasta las 17 pm	34
Tabla 14-3: Porcentaje de humedad promedio anual	34
Tabla 15-3: Velocidad de viento (m/s) mensual tomada desde las 8 am hasta las 17 pm	35
Tabla 16-3: Velocidad de viento promedio anual	36
Tabla 17-3: Presión atmosférica (mBar).....	37
Tabla 18-3: Presión atmosférica promedio anual.....	37
Tabla 19-3: Linealización del ratio de secado de la frutilla a $60^{\circ}C$	39
Tabla 20-3: Linealización del ratio de secado de la frutilla a $55^{\circ}C$	39
Tabla 21-3: Linealización del ratio de secado de la frutilla a $50^{\circ}C$	39
Tabla 22-3: Determinación de la constante A.....	41
Tabla 23-3: Determinación de constante B.....	42
Tabla 24-3: Determinación del área de una rodaja de frutilla monterrey	44
Tabla 25-3: Propiedades del aire empleado	47
Tabla 26-3: Selección del tipo de material para la cubierta del colector solar.....	53
Tabla 1-4: Componentes del secador solar	81
Tabla 2-4: Componentes del secador solar	82
Tabla 3-4: Construcción de la cámara de secado	83
Tabla 4-4: Componentes del colector solar.....	84
Tabla 5-4: Estructura del medidor de temperatura.....	86
Tabla 6-4: Resultados del secador solar.....	88
Tabla 7-4: Proceso para el secado de frutilla	90

Tabla 8-4: Propiedades organolepticas	91
Tabla 9-4: Comparación del secado tradicional vs secador solar	93
Tabla 10-4: Plan de Mantenimiento.....	95
Tabla 11-4: Plan de Mantenimiento.....	96
Tabla 12-4: Costo de materiales y mano de obra.....	101
Tabla 13-4: Costos para la construcción del medidor de temperatura.....	101
Tabla 14-4: Costo total	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Variedades de frutilla: fragaria vesca.....	7
Figura 2-2: Secado al aire libre.....	9
Figura 3-2: Secadores por convección natural.....	10
Figura 4-2: Secadores por convección forzada.....	11
Figura 5-2: Secadores con colector y efecto invernadero.....	12
Figura 6-2: Secadores tipo túnel.....	12
Figura 7-2: Modelo Duffie y Beckam.....	14
Figura 8-2: Modelo matemático para la temperatura de la cámara de secado.....	21
Figura 1-3: Modelado del prototipo del secador solar.....	29
Figura 2-3: Croquis de Riobamba.....	30
Figura 3-3: Localización, parroquia Cacha.....	30
Figura 4-3: Carta Psicométrica para el cálculo de las propiedades del aire.....	47
Figura 5-3: Modelo matemático.....	56
Figura 6-3: Interfaz del colector solar.....	67
Figura 7-3: Interfaz de la cámara de secado.....	68
Figura 8-3: Ejecución del programa, colector solar.....	69
Figura 9-3: Ingreso de parámetros.....	70
Figura 10-3: Temperatura de salida, tiempo 1 hora.....	70
Figura 11-3: Temperatura de salida, tiempo 2 horas.....	71
Figura 12-3: Temperatura de salida, tiempo 3 horas.....	71
Figura 13-3: Temperatura de salida, tiempo 4 horas.....	72
Figura 14-3: Temperatura de salida, tiempo 5 horas.....	72
Figura 15-3: Temperatura de salida, tiempo 6 horas.....	73
Figura 16-3: Temperatura de salida, tiempo 7 horas.....	73
Figura 17-3: Temperatura de salida, tiempo 8 horas.....	74
Figura 18-3: Modelado CAD.....	76
Figura 19-3: Análisis térmico, flujo del calor.....	77
Figura 20-3: Análisis térmico, delimitación del espacio.....	78
Figura 21-3: Análisis térmico, temperatura.....	78
Figura 22-3: Modelado de la estructura.....	79
Figura 23-3: Análisis de la presión.....	79
Figura 24-3: Análisis de la deformación.....	80
Figura 25-3: Análisis del factor de seguridad.....	80
Figura 1-4: Proceso de construcción del soporte.....	82
Figura 2-4: Proceso de construcción de la cámara de secado.....	83

Figura 3-4: Proceso de construcción del colector solar	85
Figura 4-4: Secador solar.....	85
Figura 5-4: Sistema eléctrico	86
Figura 6-4: Diagrama de conexión electrico.....	87
Figura 7-4: Conexión del medidor de temperatura.....	87
Figura 8-4: Producto fresco	89
Figura 9-4: Producto seco.....	90
Figura 10-4: Presentación del producto	92
Figura 11-4: Producto seco.....	92
Figura 12-4: Producto seco.....	93
Figura 13-4: Equipo de protección para la manipulación de alimentos.....	97

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3: Radiación Solar	32
Gráfico 2-3: Temperatura.....	33
Gráfico 3-3: Humedad	35
Gráfico 4-3: Velocidad	36
Gráfico 5-3: Presión atmosférica	38
Gráfico 6-3: LN MR vs tiempo de la frutilla a 60 °C	40
Gráfico 7-3: LN MR vs tiempo de la frutilla a 55 °C	40
Gráfico 8-3: LN MR vs tiempo de la frutilla a 50 °C	41
Gráfico 9-3: Variable "A" de la frutilla.....	42
Gráfico 10-3: Variable "B" de la frutilla.....	43
Gráfico 11-3: Curva de secado.....	75
Gráfico 1-4: Temperatura del secador	88
Gráfico 2-4: Comparación de los tipos de secado.....	94

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Estación meteorológica.

Anexo B. Planos del secador solar.

Anexo C. Catalogo de DIPAC.

Anexo D. Resultados de Laboratorio.

Anexo E. Encuesta.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como finalidad diseñar un prototipo de secador solar para frutilla, para lo cual se determinó las condiciones ambientales medias en las cuales funcionara el secador solar y se desarrollo la metodología del modelo matemático de Duffie y Beckman para el colector solar y la cámara de secado en el software Visual Basic verificando la temperatura y el rendimiento del secador solar. Para el diseño del secador solar se procedió a la selección del tipo de frutilla que se utilizó siendo la mejor opción la frutilla monterey, determinamos el tipo de secador solar que se construyó siendo la mejor opción el secador de convección natural, determinamos el área requerida en la cámara de secado para la cantidad de producto de 2 kg de frutilla monterey, definiendo las dimensiones de la cámara de secado, calculamos el requerimiento energético para secar esa cantidad de producto y con ese requerimiento se dimensiono el colector solar, asignamos los tipos de materiales para la construcción del secador solar tomando en cuenta los requerimientos físicos de cada sección del secador, para la verificación del diseño y la asignación de los materiales simulamos en el software educativo SolidWorks el comportamiento que tendrá el secador solar obteniendo en la simulación una temperatura máxima de secado de 50 grados centígrados. El secado de la frutilla se hizo en un tiempo de 8 horas obteniendo una temperatura promedio en la cámara de secado de 44,8 grados centígrados, de 2 kg de frutilla que se secó se obtuvo 230 gramos de producto seco con un 12,2 % de humedad. Debido al calentamiento global que afecta las condiciones ambientales se recomienda automatizar el regulador de salida de aire en la chimenea para tener una temperatura óptima de secado y no afectar las propiedades físicas, químicas y organolépticas del producto.

Palabras Clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <VARIABLES CLIMATOLÓGICAS>, <DISEÑO MECÁNICO>, <MODELOS MATEMÁTICOS>, <CONSTRUCCIÓN >, <FRUTILLA (*Fragaria Vesca*)>, < SOLIDWORKS (*Software*) >.

REVISADO

21 ENE 2020

Ing. Jhonatan Parreño Uquillas. MDA
(ANALISTA DE BIBLIOTECA 1)



ABSTRACT

The purpose of this situation work is to design a prototype of a solar dryer for strawberries, for which the average environmental conditions in which the solar dryer will work were determined and the methodology of the mathematical model of Duffie and Beckman for the solar collector was developed and the drying chamber in the Visual Basic software verifying the temperature and performance of the solar dryer. For the design of the solar dryer we proceeded to the selection of the strawberry theme that was used being the best option the Monterey strawberry, we determined the type of solar dryer that was built being the best option the natural convection dryer, we determined the required area in The drying chamber for the quantity of products of 2 kg of Monterey strawberry, defining the dimensions of the drying chamber, we calculate the energy requirement to dry that quantity of product and with that requirement the solar collector is sized, we assign the types of materials for the construction of the solar dryer taking into account the physical requirements of each section of the dryer, for the verification of the design and the assignment of the materials we simulate in the SolidWorks educational software the behavior that the solar dryer will have obtaining in the simulation a maximum temperature of drying of 50 degrees Celsius. The drying of the strawberry was done in a time of 8 hours obtaining an average temperature in the drying chamber of 44.8 degrees Celsius, of 2 kg of strawberry that was dried, 230 grams of dry product were obtained with 12.2% humidity. Due to the global warming that affects the environmental conditions it is recommended to automate the air outlet regulator in the chimney to have an optimal drying temperature and not to affect the physical, chemical and organoleptic properties of the product.

Key Words: <ENGINEERING TECHNOLOGIES AND SCIENCES>, <CLIMATOLOGICAL VARIALS>, <MECHANICAL DESIGN>, <MATHEMATICAL MODELS>, <CONSTRUCTION>, <FRUTILLA (Fragasa Vesca)>, <SOLIDWORKS (Software)>.



INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad el secado de alimentos es un método de conservación. Hoy en día este proceso se ha constituido en una alternativa de producción y comercialización nacional e internacional ya que la tendencia de la población mundial por el consumo de productos naturales y sanos crece de manera paulatina debido a la concientización de la población en temas de salud.

Según “La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA, o más conocida como FAO un tercio de los productos cosechados no llegan a las manos del consumidor a causa de la descomposición temprana del producto. Alimentos, como la frutilla (fragaria vesca), pueden ser preservados mediante la reducción de su contenido de agua a través de un proceso de deshidratación o secado, lo cual, extiende la vida útil del alimento garantizando sus propiedades físicas, químicas y nutricionales.

La fragaria vesca llamada comúnmente fresa salvaje o frutilla silvestre es una planta rastrera, inofensiva y confiable. Es la frutilla más cultivada en el Ecuador, según la Asociación Ecuatoriana de Fruticultores la variedad más cultivada es: Oso grande, Monterrey, Diamante y Albión.

En el Ecuador se puede encontrar al cultivo de frutilla agrupado en zonas como Pichincha, específicamente en Yaruquí, Pifo, El Quinche y el valle del noroccidente que comprende las parroquias de Pomásqui, San Antonio de Pichincha y Calacalí. Sin embargo, se ha expandido a otros lugares como Tungurahua, Chimborazo, siendo sus principales mercados de destino Quito, Guayaquil, Cuenca y algunas zonas de la costa del país. En estos lugares el cultivo ha mostrado una tendencia de crecimiento del 20 % anual desde 2007. Para obtener un buen rendimiento de dicho cultivo, se ha logrado la tecnificación de la mayoría de los sectores anteriormente mencionados (Vázquez, 2007).

CAPÍTULO I

1 MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

Desde la antigüedad el secado de alimentos se ha convertido en un método tradicional para su conservación asegurando su disponibilidad durante todo el año. Hoy en día el secado de alimentos no se aplica únicamente como un medio de abastecimiento como se lo hacía en el pasado sino que se ha constituido en una alternativa de producción y comercialización nacional e internacional ya que la tendencia de la población mundial por el consumo de productos naturales y sanos crece de manera paulatina, entre los productos tenemos frutas secas, plantas medicinales y aromáticas, entre otros. Por un lado, existen para muchos productos perecederos excedentes temporarios en épocas de cosecha, que generan millonarias pérdidas para los productores y por otro lado, nuestro país dispone de una oferta abundante de radiación solar para ser aprovechada a fines energéticos, entre otros para la deshidratación de estos excedentes. (Almada, y otros, 2015)

Como antecedentes investigativos se establece las siguientes investigaciones relacionadas con el objeto de estudio del presente trabajo de integración curricular:

- Un primer trabajo realizado por Haro y otros en 2017 propone una investigación sobre la “Modelación de un secador solar a convección natural para el altiplano ecuatoriano” cuyo objetivo principal fue diseñar un modelo matemático de un secador solar mixto en las condiciones de las tierras altas ecuatorianas, basado en Duffie y Beckman. Trabaja sobre el colector solar, la energía y los balances de masa en el área de secado, que forman parte de las propiedades termofísicas del aire considerando las condiciones de la zona, que se consideran y comparan según las condiciones normales, para ajustar los diseños de los secadores solares a las condiciones propuestas, los resultados se verifican mediante un prototipo de secador solar diseñado para este fin.
- Guevara y otros en 2017 propone un “Diseño y construcción de un deshidratador solar para fresa” cuyo objetivo fue fabricar un secador mediante la selección adecuada de elementos

como la madera (retiene el calor), el vidrio (incidencia de los rayos del sol en la fruta) y el plástico (fabricación de las bandejas para la cámara de secado). La selección de los materiales facilitan las tareas de limpieza y mantenimiento del secador, además a diferencia del metal estos materiales no se oxidan y por tanto no daña el producto.

- García y otros en 2018 propone un “Modelado numérico del proceso de secado solar de manzanas” en cuyo trabajo se menciona que el secado de frutas es un proceso en el cual se disminuye la cantidad de humedad contenida dentro del fruto. En el proceso intervienen diversas variables físicas, como la temperatura, la velocidad del aire, la humedad de la fruta, el tiempo de secado y para garantizar una calidad óptima en la fruta se deben controlar dichas variables, los fenómenos de transferencia de calor a utilizar son: la convección de calor producida en el aire con los sólidos, la radiación del sol, y la conducción entre los sólidos que componen la estructura de un equipo secador.

1.2. Planteamiento del problema

Según La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA, o más conocida como FAO un tercio de los productos cosechados no llegan a las manos del consumidor a causa de la descomposición temprana del producto. Alimentos, como la frutilla (fragaria vesca), pueden ser preservados mediante la reducción de su contenido de agua a través de un proceso de deshidratación o secado, lo cual, extiende la vida útil del alimento garantizando sus propiedades físicas, químicas y nutricionales. Los procesos de secado tradicionales se ejecutan a través de mecanismos convectivos (exposición de la superficie del producto a aire caliente), en los cuales la superficie del producto se calienta con el aire, generando la evaporación del líquido. El método comúnmente utilizado por el pequeño agricultor es el secado al sol o al aire libre, este proceso presenta diversos inconvenientes: es lento por el alto porcentaje de humedad que existe en el ambiente, en ocasiones el producto al no secarse bien generalmente cuando posee un contenido alto de agua se pudre o enmohece. Otro factor negativo del secado al sol es que se expone el producto al polvo, impurezas, insectos y otros animales que pueden dañar el producto y provocar enfermedades en el consumidor, debido a que el producto está a la intemperie se debe dar especial atención para protegerlos de lluvias, aguaceros, etc. Por último los rayos solares ultravioletas al caer directamente sobre el producto influyen de forma perjudicial en su calidad (pérdida del color natural, destrucción de vitaminas y valor nutritivo). (Almada, y otros, 2015)

Todo lo expuesto en el párrafo anterior genera pérdidas económicas para el agricultor de 1 dólar por cada kilogramo de frutilla (valor en el mercado nacional) que se descompone y no puede ser comercializada. Por tal motivo surge la necesidad de diseñar un secador para realizar el proceso

de deshidratación de la frutilla, en la parroquia Cacha, del cantón Riobamba utilizando energía solar, sin comprometer la calidad del producto obtenido por los agricultores del sector durante el proceso de secado.

1.3. Justificación

El consumo de productos orgánicos como los frutos secos ha incrementado a nivel mundial debido fundamentalmente a la concientización de la población en temas de salud y protección al ambiente. Según VECO (2018) Riobamba se posiciona como la segunda ciudad del Ecuador en el consumo de productos orgánicos. Además, la provincia de Chimborazo es uno de los mayores productores de frutilla, solo por debajo de Pichincha y Tungurahua. Bajo este contexto se plantea el presente trabajo de titulación a fin de construir un secador solar para el deshidratado de frutilla.

El presente trabajo de titulación tiene la finalidad de diseñar un secador solar que permita: conservar la frutilla durante un tiempo mayor, asegurar la calidad del producto al no exponerlo directamente con los rayos ultravioletas del sol, aprovechar la energía gratis y limpia del sol, facilitar el proceso de deshidratación del producto, evitando que se descomponga o que aparezcan mohos. Además, beneficia a la economía del pequeño productor ya que elimina las pérdidas monetarias a causa de la frutilla que no se ha comercializado debido a la descomposición temprana de los frutos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general.

Diseñar un prototipo de secador solar para frutilla (fragaria vesca) utilizando modelos matemáticos.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Determinar las condiciones ambientales medias en la zona donde funcionará el secador solar.
- Diseñar y ejecutar el modelo matemático en un software de programación a fin de determinar la temperatura y el rendimiento del secador solar.
- Diseñar el prototipo del secador solar empleando un software CAD que permita simular el comportamiento del secador.
- Construir el secador solar y comparar sus resultados con los datos obtenidos en el software.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. La Frutilla (*Fragaria vesca*)

2.1.1. Producción de frutilla en el Ecuador

En el Ecuador se puede encontrar al cultivo de frutilla agrupado en zonas como Pichincha, específicamente en Yaruquí, Pifo, El Quinche y el valle del noroccidente que comprende las parroquias de Pomásqui, San Antonio de Pichincha y Calacalí. Sin embargo, se ha expandido a otros lugares como Tungurahua, Chimborazo, siendo sus principales mercados de destino Quito, Guayaquil, Cuenca y algunas zonas de la costa del país. En estos lugares el cultivo ha mostrado una tendencia de crecimiento del 20 % anual desde 2007. Para obtener un buen rendimiento de dicho cultivo, se ha logrado la tecnificación de la mayoría de los sectores anteriormente mencionados. Dentro de las zonas de producción en el Ecuador, la región Sierra cuenta con Pichincha, provincia que trabaja con cerca de 400 ha de cultivo, seguida de Tungurahua con 240 ha, Chimborazo, Cotopaxi, Imbabura y Azuay con 40 ha aproximadamente (Arias, 2016). El 60% de las plantaciones de este cultivo se realiza en campo abierto, mientras que el 40% restante se lo produce bajo invernadero (Vázquez, 2007).

2.1.2. Características botánicas

La *Fragaria vesca*, llamada comúnmente fresa salvaje o frutilla silvestre, según (Ruiz, 2015) es una planta rastrera, inofensiva y confiable cuyas principales características se detallan en la *Tabla 1-2 Características botánicas*. No es la variedad silvestre del fresón o frutilla ananá (*Fragaria x ananassa*), la variedad más consumida actualmente, sino una especie completamente independiente.

Tabla 1-2: Características botánicas

Componentes	Características botánicas	Imagen
Corona	Es el tallo de la planta, mide 2 a 3 cm de largo y desde ahí se desarrollan las demás partes de la planta.	 <p>Corona Raíces viejas Nuevas raíces</p>
Hoja	La hoja es pequeña, compuesta, trifoliada con borde dentado y aserrado, tiene entre 300 a 400 estomas por mm ² , vive entre 1 y 3 meses.	
Estolones	Salen de la corona y son considerados un tallo rastrero que generan nuevas plantas cuando se alimentan y se afirman en el suelo. Luego de formar Otra planta se debe cortar el estolón que une a las dos plantas.	
Raíces	Las raíces de la planta de frutilla alcanzan una profundidad aproximada de 2 m, conducen el agua y alimentan a la planta, son de tipo ramificada con raíces primarias de color café y raíces secundarias o raicillas.	
Flores	La flor de la planta que está formada por 6 o 7 pétalos blancos, con 20 a 35 estambres y entre 50 a 50 pistilos. Las flores pueden ser masculinas (estaminadas), femeninas (pistiladas) o hemafroditas.	
Fruto	El fruto tipo poliaquenio, internamente está formado por el corazón en la parte central, pulpa que conserva las semillas en la parte sobresaliente y un peciolo	 <p>corazón pulpa corazón</p>

Fuente: Ruiz (2015)

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

2.1.3. Tipos de frutilla

Según (Carmona, 2009) la frutilla mundialmente se clasifica como se detalla a continuación:

- Diploides: *Fragaria daltoniana*, *Fragaria nipponica*, *Fragaria nubicola*, *Fragaria vesca* (fresa silvestre), *Fragaria viridis*
- Tetraploides: *Fragaria moupinensis*, *Fragaria orientalis*
- Hexaploides, *Fragaria moschata* (fresa alemana)
- Octaploides, *Fragaria ananassa* (fresa o frutilla), *Fragaria chiloensis* (fresa chilena), *Fragaria virginiana*, *Fragaria ovalis*.

2.1.3.1. Variedades cultivadas en el Ecuador

La frutilla más cultivada en el Ecuador es la *Fragaria Vesca* y según la Asociación Ecuatoriana de Fruticultores Ecuador la variedad más cultivada es: Oso grande, Monterrey, Diamante y Abión.

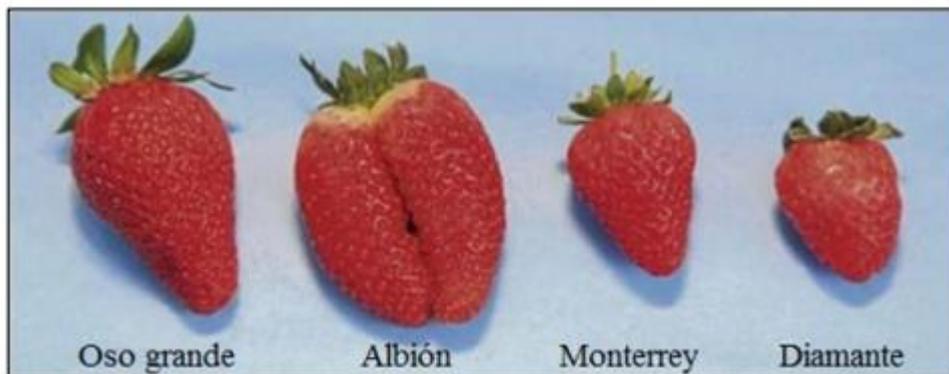


Figura 1-2: Variedades de frutilla: *fragaria vesca*
Fuente: (Ruiz, 2015)

2.2. Secado de alimentos

Según (Mendez, 2017) el secado es el proceso mediante el cual se evapora el agua o humedad de un alimento. A medida que el aire de secado pasa a través de la masa del alimento evapora el agua del producto, que a su vez se va enfriando, es decir la temperatura disminuye; la humedad absoluta, la humedad relativa y la temperatura de rocío, aumentan, mientras que la entalpía y la temperatura de bulbo húmedo se puede decir que permanecen constantes. El aire usado para secado tiene dos funciones básicas:

- Retirar la humedad del grano.
- Proporcionar el calor necesario para retirar dicha humedad.

Según (Almada, y otros, 2015) los motivos por los cuales secar los alimentos son diversos:

- Conservar los alimentos durante muchos meses y consumirlos conservados.
- Asegurar la calidad del producto.
- Aprovechar la energía gratis y limpia del sol y la gran cantidad de frutas que todos los años se producen.
- Generar trabajo. Las frutas y otros alimentos, se pueden secar, guardar adecuadamente y preparar para la venta, de esta manera se puede abrir una nueva fuente de trabajo.
- La elaboración de frutas secas para consumo directo, en galletas, o en panes es ahora, muy valorado por el azúcar y las vitaminas que poseen.

2.3. Energía solar

Desde los inicios de la historia, el hombre, como todos los demás de los seres vivos ha aprovechado la energía solar. No solo como fuente de vida, ha servido como soporte a plantas y es una base en la cadena alimenticia, nuestro desarrollo y evolución nos ha permitido el conocimiento e ingeniería para el aprovechamiento de esta fuente primaria: nuestro sol. (Lemus, 2015)

El hombre ha utilizado la energía del sol para secar productos perecederos desde hace miles de años, logrando conservar una gran variedad de alimentos de forma natural. A diferencia de otras formas de conservación a temperaturas extremas como la esterilización o la congelación, el deshidratado es un método sumamente respetuoso con las propiedades y el contenido nutricional de los alimentos. Existen dos formas de efectuar el secado solar de alimentos, al aire libre o con un deshidratador solar. (Lemus, 2015)

2.3.1. *Secado tradicional*

El secado solar natural o secado al aire libre es el método más simple y consiste en aprovechar las condiciones ambientales naturales para deshidratar los alimentos. El calor ambiental remueve lentamente la humedad de los alimentos que con ayuda del viento es eliminada gradualmente, es una forma de secado artesanal que se viene utilizando desde hace siglos. (Lemus, 2015)



Figura 2-2: Secado al aire libre

Fuente: <https://gastronomiasolar.com/deshidratador-solar-secado-alimentos/>

Según (Lemus, 2015) el tipo de producto y la disponibilidad de los recursos materiales, se suelen deshidratar los alimentos empleando diversas técnicas:

- Colocando el producto directamente en el suelo sobre una manta o lona.
- Utilizando bandejas planas, o colocándolos directamente sobre una mesa u otra superficie.
- Poniendo los alimentos en rejillas o bastidores provistos de malla, y dispuestas sobre apoyos de modo que estas queden suspendidas en el aire para facilitar la eliminación de la humedad.
- Atando el producto mediante un hilo o gancho y colgándolo al aire libre.

Según (Almada, y otros, 2015) este método natural tiene los siguientes inconvenientes:

- Los altos niveles de humedad presentes en el ambiente generan que el proceso sea lento.
- El alto porcentaje de agua en los alimentos, provoca que la humedad no se elimine totalmente del producto provocan enmohecimientos y putrefacciones.
- La exposición de productos a la interperie puede provocar su deterioro y causar enfermedades en el ser humano.
- La exposición directa de los alimentos a los rayos solares puede ser perjudicial en cuanto a su calidad (pérdida del color natural, destrucción de vitaminas y valor nutritivo), debido a la acción de los rayos ultravioletas.

2.3.2. Secador solar

Según (Almada, y otros, 2015) en el secador solar los rayos luminosos del Sol son transformados en calor a través del efecto invernadero en un llamado colector solar, que tiene los siguientes elementos:

- Una superficie metálica oscura, preferiblemente de color negro, generalmente orientada hacia la dirección del Sol, que recibe y absorbe los rayos luminosos. El calor producido de esta manera es transferido al aire, que está en contacto con dicha superficie.
- Una cobertura transparente (vidrio o plástico), que deja pasar la radiación luminosa y que evita el escape del aire caliente

El proceso del secado se produce por la acción de aire cálido y seco, que pasa por los productos a secar, ubicados generalmente en bandejas en el interior del secadero. De esta forma la humedad contenida en los alimentos se evapora a la superficie de los mismos y pasa en forma de vapor al aire, que los rodea. (Almada, y otros, 2015)

2.3.3. Tipos de secadores

2.3.3.1. Sistemas de secado con convección natural

Se caracterizan por el acomodo de múltiples superficies de secado en posición y para vencer la resistencia al flujo del aire de ascenso se aplica el concepto de chimenea solar o con un ventilador. Ejemplos de ellos se presentan en la siguiente figura. Son de fácil instalación y bajo costo. De estos sistemas también existen estudios para el diseño y estimación de la eficiencia de secado. (Lemus, 2015)

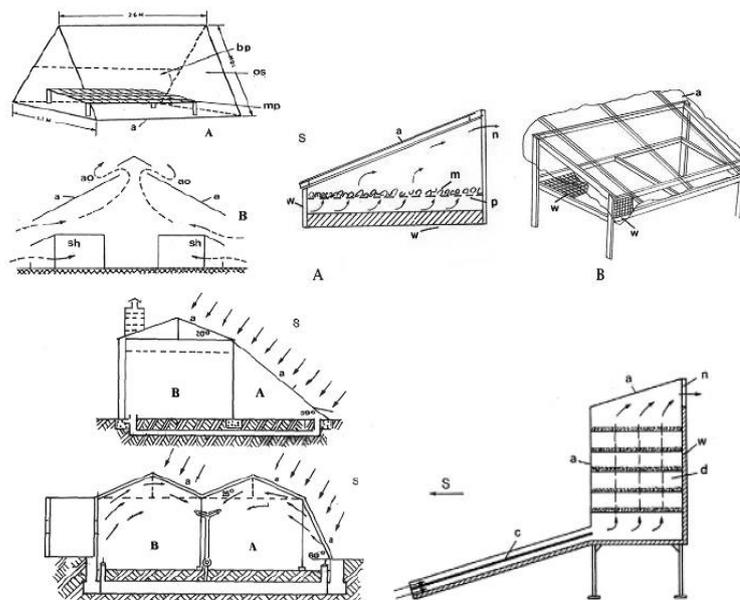


Figura 3-2: Secadores por convección natural
Fuente: (Lemus, 2015)

2.3.3.2. Secadores con convección forzada

O secadores activos, se recomiendan para mayores demandas de secado. Requieren de un sistema de colección de energía solar o de cubiertas transparentes y muchas veces son sistemas híbridos auxiliados con recursos energéticos convencionales como hidrocarburos, biomasa, gas, etc. Estos sistemas son más complicados en su instalación y operación que los sistemas activos debido a que necesitan ventiladores para lograr la circulación del aire. Belghit et al (1997) citado en (Belessiotis & Delyannis, 2011) describe modelos matemáticos para la simulación de sistemas de este tipo. Ejemplos se presentan en la siguiente figura. (Lemus, 2015)

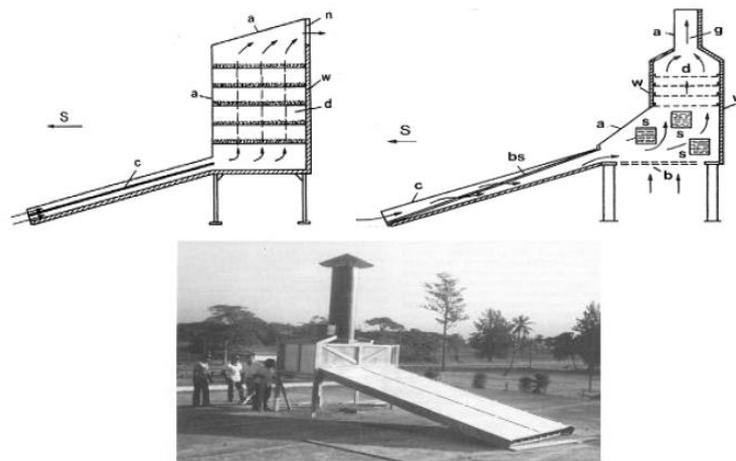


Figura 4-2: Secadores por convección forzada
Fuente: (Lemus, 2015)

2.3.3.3. Secadores con colector y efecto invernadero

Consisten en un túnel con una cubierta transparente y un colector. Estos sistemas tienen la capacidad de manejar grandes cantidades de materiales. Un ejemplo de tipo túnel se muestra en la figura de continuación, tiene dimensiones de 78 m de longitud, 4 m de ancho y 2,1 m de altura. Su inclinación es de 18° y una orientación siguiendo hacia el sur. El fondo del túnel está constituido por una hoja de plástico negra. Se utiliza para secar frutas, vegetales, hierbas aromáticas como el laurel, y eneldo. (Lemus, 2015)

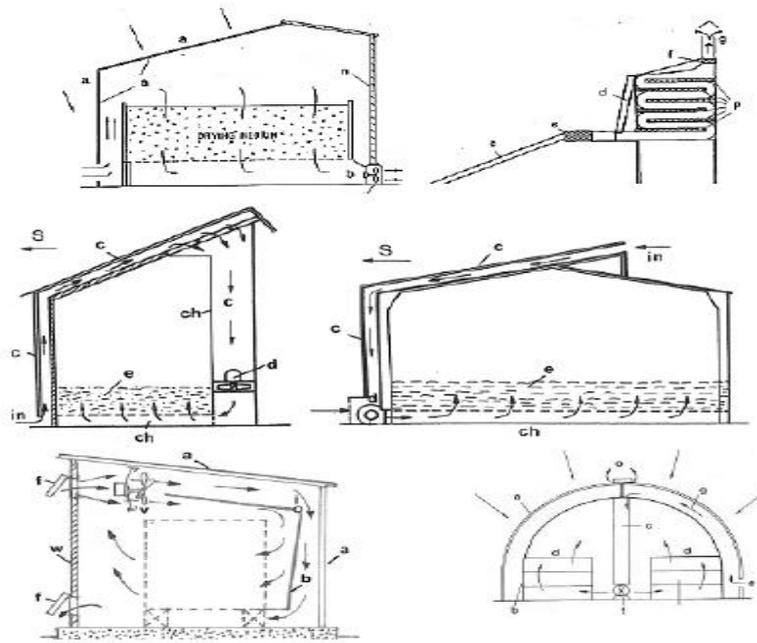


Figura 5-2: Secadores con colector y efecto invernadero
Fuente: (Lemus, 2015)

2.3.3.4. Secadores tipo túnel

Son utilizados para secar grandes cantidades de material. Consisten en sistemas con cubiertas y paredes transparentes para permitir el paso de la radiación solar y efecto invernadero. El túnel también está construido con paredes transparentes. En su interior las charolas permiten poner en contacto el material con el aire caliente. Por su configuración permite fácilmente la carga y descarga de materiales. Ver la siguiente figura. (Lemus, 2015)

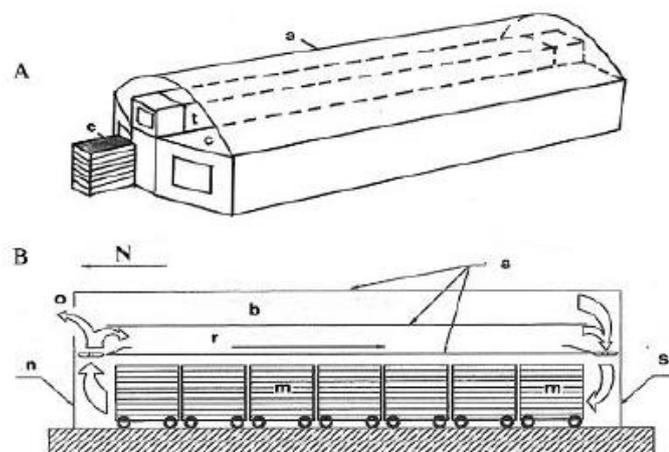


Figura 6-2: Secadores tipo túnel
Fuente: (Lemus, 2015)

2.4. Modelo matemático para la verificación del diseño del secador solar

El modelo matemático para la verificación del secador solar es una herramienta importante para simular el comportamiento de diversos parámetros climatológicos y su influencia en el secador, obteniendo de esta forma un sistema de secado eficiente en términos energéticos. El modelo matemático que se presenta a continuación se basa en las ecuaciones que describen el proceso en el colector y en la cámara de secado.

2.4.1. Modelo para el colector

El colector es el elemento necesario en una instalación de secado solar para precalentar el aire ambiente (y disminuir su humedad relativa a humedad absoluta constante) y guiarlo e introducirlo en la cámara de secado de subproductos. Para caracterizar el proceso las dos variables más importantes a conocer son la temperatura del aire a la salida del calentador y su rendimiento.

2.4.1.1. Rendimiento del colector y temperatura del aire a la salida

Según (Montero, 2015), para obtener el rendimiento de un captador solar, es necesario definir el factor de disipación en el colector, (F_R)

$$F_R = \frac{m_a c_{pa} (T_{fo} - T_{fi})}{A_c [S - U_L (T_{fi} - T_a)]} \quad (1)$$

Siendo m_a el caudal másico de aire (Kg/s), c_{pa} el calor específico del aire (J/Kg°C), A_c la superficie del colector (m^2), S la energía absorbida por la placa (W/m^2), U_L el coeficiente global de las pérdidas en el colector ($W/m^2°C$), T_a la temperatura de aire ambiente ($°C$), T_{fo} la temperatura de salida del aire en el colector ($°C$) y T_{fi} la temperatura de entrada de aire del colector ($°C$).

El calor útil en función de las variables descritas se calcula con la siguiente ecuación.

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_{fi} - T_a)] \quad (2)$$

De esta forma, el rendimiento del colector, η , a partir de las expresiones dadas anteriormente, se indica en la siguiente ecuación:

$$\eta = \frac{Q_u}{I_T A_c} = \frac{m_a c_{pa} (T_{fo} - T_{fi})}{I_T A_c} \equiv F_R (\tau \alpha)_e - F_R U_L \frac{(T_{fi} - T_{fo})}{I_T} \quad (3)$$

Siendo I_T la radiación total incidente sobre la superficie inclinada del colector (W/m^2) y $(\tau \alpha)_e$ el producto transmisividad-absortividad efectivo.

Asumiendo una variación lineal de temperatura a lo largo del colector, la temperatura a la salida del mismo, T_{fo} resulta:

$$T_{fo} = T_{fi} + \frac{Q_u}{m_a c_{pa}} \quad (4)$$

2.4.1.2. Modelo matemático para la temperatura a la salida del colector

El modelo implementado para el colector de aire está basado en los estudios previos realizados por Duffie y Beckman que se detalla en el trabajo realizado por (Montero, 2015) en la siguiente figura se muestran las principales variables que intervienen en el modelo y que se definirán a continuación.

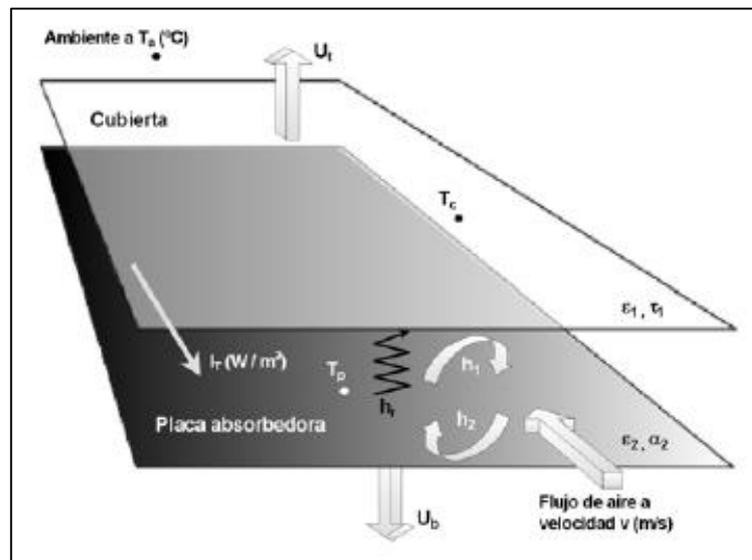


Figura 7-2: Modelo Duffie y Beckam
Fuente: (Lemus, 2015)

De forma esquemática, la energía solar absorbida, S , de la radiación incidente, I_T , función de la emisividad y transmisividad de la cubierta (ϵ_1, τ_1) y de la emisividad y transmisividad de la placa (ϵ_2, τ_2), calienta a esta última a una temperatura T_p . Por un lado, la energía absorbida por la placa se transfiere de diferentes formas: desde la placa hasta el aire ambiental, a través del aislamiento, mediante el coeficiente de pérdidas inferiores U_b ; hasta el fluido a T_f , a través del coeficiente de

transferencia de calor h_2 , y hasta la base de la cubierta a través del coeficiente de transferencia de calor por radiación h_r . Y por otro lado, la energía se transfiere desde el fluido de trabajo a la cubierta (a una temperatura T_c) a través del coeficiente de transferencia de calor h_1 , y se pierde al aire ambiental a través del coeficiente de pérdidas superiores U_t .

De esta forma, los balances energéticos en la cubierta, la placa y el fluido se dan respectivamente en las siguientes ecuaciones:

$$U_t(T_a - T_c) + h_r(T_p - T_c) + h_1(T_f - T_c) = 0 \quad (5)$$

$$S + U_b(T_a - T_p) + h_r(T_c - T_p) + h_2(T_f - T_p) = 0 \quad (6)$$

$$h_1(T_c - T_f) + h_2(T_p - T_f) = q_u \quad (7)$$

Siendo U_t el coeficiente global de pérdidas superiores ($\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$), U_b el coeficiente global de pérdidas inferiores ($\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$), T_a la temperatura ambiente ($^\circ\text{C}$), T_c la temperatura de la cubierta ($^\circ\text{C}$), T_p la temperatura de la placa absorbadora ($^\circ\text{C}$), T_f temperatura del fluido (aire) que circula por el interior ($^\circ\text{C}$), h_1 el coeficiente convectivo entre el aire y la cubierta ($\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$), h_2 el coeficiente convectivo entre el aire y la placa ($\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$), h_r el coeficiente de radiación entre la cubierta y la placa ($\text{W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$), S la cantidad de energía absorbida por la placa (W/m^2) y q_u la ganancia de calor útil por unidad de área del colector (W/m^2).

Utilizando las ecuaciones 5, 6 y 7 mediante artificios matemáticos se alcanza la expresión final de q_u :

$$q_u = F' [S - U_L(T_f - T_a)] \quad (8)$$

Donde F' se define como el factor de eficiencia del colector y U_L como el coeficiente global de pérdidas del colector.

$$F' = \frac{h_1 h_r + U_t h_2 + h_2 h_r + h_1 h_2}{(U_t + h_r + h_1)(U_b + h_2 + h_r) - h_r^2} \quad (9)$$

$$U_L = \frac{(U_b + U_t)(h_1 h_r + h_2 h_r + h_1 h_2) + [U_b U_t (h_1 + h_2)]}{h_1 h_r + U_t h_2 + h_2 h_r + h_1 h_2} \quad (10)$$

Para determinar F' , U_L y de esta forma q_u es necesario determinar los siguientes parámetros:

- **Coefficiente global de pérdidas superiores e inferiores en el colector.**

El coeficiente global de pérdidas en el colector, U_L , es función de otros dos coeficientes globales de pérdidas, el de la parte superior U_t (pérdidas por convección y radiación) y el de la parte inferior U_b (pérdidas por características del aislante).

$$U_t = \left(\frac{N}{\frac{C}{T_{pm}} \left[\frac{(T_{pm} - T_a)}{N+f} \right]^e} + \frac{1}{h_w} \right)^{-1} + \frac{\sigma(T_{pm} + T_a)(T_{pm}^2 + T_a^2)}{(\varepsilon_2 + 0,000591Nh_w)^{-1} + \frac{2N+f-1+0,133\varepsilon_1}{\varepsilon_1} - N} \quad (11)$$

Donde N es el número de cubiertas en el colector f , C y e son coeficientes que se obtienen mediante las expresiones 12, 13 y 14, respectivamente (β_{rad} es la inclinación del colector en radianes), ε_1 es la emisividad de la cubierta, ε_2 es la emisividad de la superficie absorbadora, T_a la temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$), T_{pm} la temperatura media de la superficie absorbadora ($^{\circ}\text{C}$) y h_w el coeficiente de transferencia debido al viento entre la cubierta y el aire ambiente ($\text{W/m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$).

$$f = (1 + 0,089h_w - 0,1166h_w\varepsilon_2)(1 + 0,07866N) \quad (12)$$

$$C = 520(1 - 0,000051\beta_{rad}^2) \quad (13)$$

$$e = 0,430 \left(1 - \frac{100}{T_{pm}} \right) \quad (14)$$

Para calcular las pérdidas de energía que sufren los colectores debido al viento, h_w , se considerará, por su simplicidad y generalidad, la expresión dada por Watmuff.

$$h_w = 2,8 + 3v \quad (15)$$

Siendo v la velocidad del viento en m/s.

Las pérdidas que se producen por la parte inferior del colector, U_b , se expresa con la ecuación:

$$U_b = \frac{k_{ais}}{e_{ais}} \quad (16)$$

Siendo k_{ais} y e_{ais} la conductividad térmica (W/m °C) y el espesor del aislante (m) respectivamente.

- **Coefficientes convectivos**

Para el colector de estudio se puede suponer que los coeficientes convectivos entre el aire y la cubierta y entre el aire y la placa son iguales ($h_1 = h_2 \equiv h$). Este coeficiente se obtendrá a partir del número de Nusselt, mediante la expresión.

$$h = N_u \frac{K_v}{D_h} \quad (17)$$

Siendo h el coeficiente convectivo (W/m²°C), K_v la conductividad térmica del aire (W/m°C) y D_h la longitud característica en el colector, esto es, su diámetro hidráulico (m²), que para superficies paralelas se considera como dos veces la distancia entre placas.

Para determinar el número de Nusselt, según Duffe y Beckman, es posible utilizar la expresión:

$$N_u = 0,0158Re^{0,8} \quad (18)$$

Supuesta conocida la temperatura media del aire dentro del colector, se pueden obtener sus propiedades y, por tanto, el número de Reynolds mediante la ecuación.

$$Re = \frac{\rho v D_h}{\mu} = \frac{m_a D_h}{A_f \mu} \quad (19)$$

Siendo ρ la densidad del aire (kg/m³), μ su viscosidad dinámica (Kg/m.s) y A_f la sección transversal del conducto por donde circula (m²).

- **Temperatura media del fluido y de la superficie absorbadora.**

La temperatura media del fluido T_{fm} para la que se evaluarán las propiedades del fluido, se puede calcular mediante la expresión:

$$T_{fm} = \frac{1}{L} \int_0^L T_f(y) dy = T_i + \frac{Q_u}{A_c F_R U_L} (1 - F'') \quad (20)$$

Donde F'' es el factor de flujo del colector. Por otro lado, la temperatura media de la superficie absorbidora, T_{pm} , será siempre mayor que la temperatura media del fluido, T_{fm} . La ganancia útil del colector a partir de la temperatura media de la placa con la siguiente ecuación:

$$Q_u = A_c [S - U_L (T_{pm} - T_a)] \quad (21)$$

La relación para determinar la temperatura media de la superficie absorbidora es:

$$T_{pm} = T_{fi} + \frac{Q_u}{A_c F_R U_L} (1 - F_R) \quad (22)$$

- **Coefficiente de radiación entre la cubierta y la placa.**

El coeficiente de radiación entre la cubierta y la placa se determina mediante la expresión:

$$h_r = \frac{4\sigma T_{fm}^3}{\frac{1}{\varepsilon_2} + \frac{1}{\varepsilon_1} - 1} \quad (23)$$

Siendo σ la constante de Steffan-Boltzmann, cuyo valor es $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}^4$.

- **Factor de disipación de calor, de eficiencia del colector y de flujo.**

Existe una relación entre el factor de disipación de calor, F_R , el factor de eficiencia del colector, F' , y el factor de flujo, F'' .

$$F_R = F' F'' \quad (24)$$

El calor útil cedido al aire depende del factor F_R y se puede determinar mediante la expresión:

$$F_R = \frac{m_a c_{pa}}{A_c U_L} \quad (25)$$

La expresión para obtener F'' es:

$$F'' = \frac{m_a c_{pa}}{A_c U_L F'} \left[1 - \exp\left(-\frac{A_c U_L F'}{m_a c_{pa}}\right) \right] \quad (26)$$

- **Producto transmisividad-absortividad ($\tau\alpha$)**

Este producto es el resultado de las sucesivas reflexiones que se producen entre la placa absorbedora y la cubierta translúcida. Así, si τ es la transmisividad del recubrimiento en un determinado ángulo de incidencia y α es la absortividad angular de la superficie absorbedora, de toda la energía incidente, $(\tau\alpha)$ es absorbida por la placa y $(1 - \alpha)\tau$ es reflejado hacia la cubierta, siendo de esta última la cantidad $\tau(1 - \alpha)\rho_d$ reflejada de nuevo hacia la superficie absorbedora (ρ_d es la reflectividad para radiación difusa de la cubierta). Este fenómeno se repite indefinidamente, de forma que la fracción de la energía incidente que es finalmente absorbida, resulta:

$$(\tau\alpha) = \tau\alpha \sum_{n=0}^{\infty} [(1 - \alpha)\rho_d]^n = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho_d} \quad (27)$$

De forma general, la radiación absorbida por la placa para la inclinación del colector, S , viene dada por la expresión:

$$S = I_T(\tau\alpha) \quad (28)$$

Debido al calentamiento de la cubierta se reducen las pérdidas térmicas a través de la misma. Para tener en cuenta este hecho, es habitual utilizar el producto transmisividad-absortividad efectivo, llamado $(\tau\alpha)_e$, el cual es ligeramente superior al producto $(\tau\alpha)$.

$$(\tau\alpha)_e = 1,02 \tau\alpha \quad (29)$$

2.4.2. *Modelo para la cámara de secado*

La cámara de secado es el elemento de una instalación de secado solar que recibe el aire precalentado del captador y en la que se produce propiamente el secado de los productos. En general, el establecimiento de los balances de masa y energía, junto con un modelo empírico que represente la cinética del proceso, va a permitir la simulación de la operación y mejora de las diferentes configuraciones de dispositivos de secado térmico.

2.4.2.1. *Balances de masa y energía en sistema genérico de secado.*

Según (Montero, 2015), el flujo de aire caliente produce un intercambio entre el propio agente desecante, el producto y las paredes internas del secadero dado en la ecuación:

$$m_{as}cp_{as}\Delta T = h_{as,ph}S_{ph}(T_{as} - T_{ph}) + 4h_{as,pi}S_{pi}(T_{as} - T_{pi}) \quad (30)$$

Siendo m_{as} el caudal másico de aire seco (Kg/s), cp_{as} el calor específico del aire (J/kg°C), ΔT la diferencia de temperatura del aire que entra y sale (°C), $h_{as,ph}$ el coeficiente de transmisión de calor convectivo aire-producto (W/m² °C), S_{pi} la superficie de intercambio (m²), T_{as} la temperatura del agente desecante (°C), T_{ph} la temperatura del producto húmedo (°C), $h_{as,pi}$ el coeficiente de transmisión de calor convectivo airepared (W/m² °C), S_{pi} la superficie de una de las paredes de la cámara (m²) y T_{pi} la temperatura de la pared interna (°C).

El producto húmedo recibe energía del aire, una parte es acumulada y otra se emplea en evaporar su humedad según la ecuación.

$$m_{ph}cp_{ph}\left(\frac{dT_{ph}}{dt}\right) = h_{as,ph}S_{ph}(T_{as} - T_{ph}) - m_{ms}L_v\left(\frac{dM}{dt}\right) \quad (31)$$

Donde m_{ph} es la masa del producto húmedo (kg), cp_{ph} el calor específico del producto húmedo (J/kg °C), m_{ms} la masa de la materia seca (kg), L_v el calor latente de vaporización (J/kg) y M el contenido en humedad (kg/kg_{db}).

La energía es transmitida a las paredes interiores del secadero por convección y conducción; el intercambio térmico entre las paredes exteriores y el medio sucede por convección y radiación.

En la superficie interna de la pared se cumple la ecuación:

$$m_{pi}cp_{pi}\left(\frac{dT_{pi}}{dt}\right) = 4[k_{pi}S_{pi}(T_{ais} - T_{pi}) + h_{as,pi}S_{pi}(T_{as} - T_{pi})] \quad (32)$$

Siendo m_{pi} la masa de la pared de la cámara de secado (kg), cp_{pi} el calor específico de la pared interna (J/kg °C), k_{pi} el coeficiente de intercambio por conducción de la pared interna (W/m² °C) y T_{ais} la temperatura del aislamiento (°C).

El intercambio entre la pared y el aislamiento viene dado por la expresión

$$m_{ais}cp_{ais}\left(\frac{dT_{ais}}{dt}\right) + 4[k_{ais}S_{ais}(T_{ais} - T_{ae})] = m_{pi}cp_{pi}\left(\frac{dT_{ais}}{dt}\right) + 4[k_{pi}S_{pi}(T_{ais} - T_{ai})] \quad (33)$$

Siendo m_{ais} la masa del aislamiento (kg), cp_{ais} el calor específico del aislamiento (J/kg°C), k_{ais} el coeficiente de intercambio por conducción del aislamiento (W/m²°C), S_{ais} la superficie de una de

las paredes de aislamiento (m^2), T_{ae} la temperatura exterior del aislamiento ($^{\circ}C$) y T_{ai} la temperatura interior del aislamiento ($^{\circ}C$).

Por último, el intercambio en la superficie externa del aislamiento está dado por la ecuación:

$$m_{ais}c_{p_{ais}} \left(\frac{dT_{ae}}{dt} \right) = 4 \left[k_{ais}S_{ais}(T_a - T_{ae}) + h_{med,ac}S_{ais}(T_{med} - T_{ae}) + h_tS_{ais}(T_r - T_{ae}) \right] \quad (34)$$

Con $h_{med,ac}$ el coeficiente de transmisión de calor convectivo medio-aislamiento exterior (W/m^2 $^{\circ}C$), T_{med} la temperatura del medio exterior-aire ($^{\circ}C$), h_r el coeficiente de intercambio por radiación (W/m^2 $^{\circ}C$) y T_r la temperatura media radiante del exterior ($^{\circ}C$).

2.4.2.2. Modelo matemático para la temperatura de la cámara de secado

El esquema de las variables para la cámara de secado modelada se muestra en la figura:

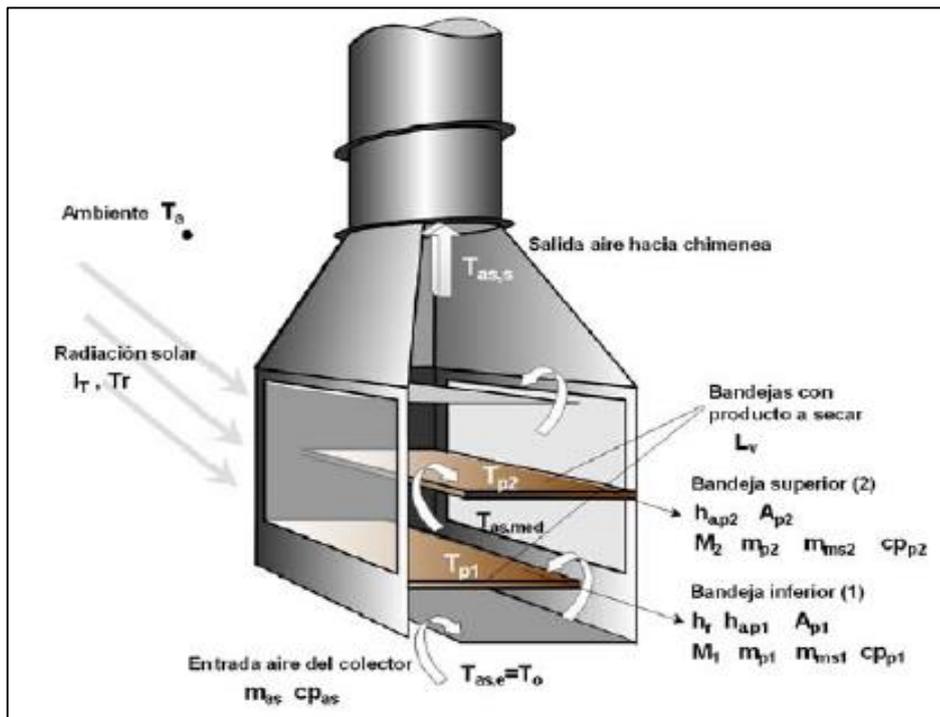


Figura 8-2: Modelo matemático para la temperatura de la cámara de secado
Fuente: (Lemus, 2015)

Siguiendo la secuencia en las balanzas para instalación genérica, particularizada para la provisión en cuestión, estableciendo las siguientes ecuaciones:

- Intercambio entre el flujo de aire caliente, el producto y las paredes internas de la secadora.

$$m_{as}cp_{as}(T_{as,e} - T_{as,s}) = h_{a,p1}A_{p1}(T_{as,e} - T_{p1}) + h_{a,p2}A_{p2}(T_{as,med} - 2) + 2h_{a,ip1}S_{pi1}(T_{as,e} - T_{pi1}) + 2h_{a,ip2}S_{pi2}(T_{as,e} - T_{pi2}) \quad (35)$$

Donde: m_{as} : flujo de masa de aire seco (kg /s); cp_{as} : calor específico del aire (J / kg ° C); $T_{as, e}$ y $T_{as, s}$: temperatura del agente de secado (aire) en la entrada y la salida de la cámara de secado respectivamente (° C); $T_{as, med}$: temperatura del aire entre dos bandejas de producto (°C); $h_{a, p1}$. Y $h_{a, p2}$: coeficientes de entrada de aire por convección para la bandeja superior e inferior (W / m² ° C); A_{p1} y A_{p2} : superficie de las bandejas inferior y superior que contienen el producto (m²); T_{p1} y T_{p2} : temperatura del producto húmedo de la bandeja inferior y la bandeja superior respectivamente (° C); $h_{a, ip1}$: El coeficiente de transmisión del aire de la pared de calor por convección translúcido (W / m² ° C); S_{pi1} : Superficie de las paredes de la cámara translúcida (m²); T_{pi1} : temperatura de la pared interior translúcida (° C); $h_{a, pi2}$: El coeficiente de transmisión del calor convectivo de la pared opaca al aire (W / m² ° C); S_{pi2} : Superficie de la pared opaca de la cámara (m²); T_{pi2} : Temperatura de la pared interior opaca (° C).

$$T_{as,med} = \frac{T_{as,e} + T_{as,s}}{2} \quad (36)$$

- El producto húmedo recibe energía del aire. Una parte se acumula y la otra se utiliza para evaporar la humedad, por lo tanto, se cumple en el equilibrio para la bandeja inferior y las ecuaciones más altas.

$$m_{p1} \cdot cp_{p1} \cdot \left(\frac{dT_{p1}}{dt}\right) = h_{a,p1}A_{p1}(T_{as,e} - T_{p1}) + m_{ms1} \cdot L_v \cdot \left(\frac{dM_1}{dt}\right) \quad (37)$$

$$m_{p2} \cdot cp_{p2} \cdot \left(\frac{dT_{p2}}{dt}\right) = h_{a,p2}A_{p2}(T_{as,e} - T_{p2}) + m_{ms2} \cdot L_v \cdot \left(\frac{dM_2}{dt}\right) \quad (38)$$

Con $mp1$ y $mp2$: producto húmedo en masa de la bandeja inferior y superior (kg); $cpp1$ y $cpp2$: calor específico del producto húmedo de la bandeja inferior y superior (J / kg °C); $mms1$ y $mms2$: masa de la materia seca de la bandeja inferior y superior (kg); $M1$ y $M2$: contenido de humedad en la base del producto seco respectivamente en la bandeja inferior y superior (kg / kgdb); L_v : calor latente de vaporización (J / kg). (Haro, y otros, 2017)

- El intercambio entre la superficie interna de la pared exterior es translúcido y se da en la ecuación y el intercambio entre la superficie interna de la pared opaca y la ecuación externa:

$$m_{pi1} \cdot cp_{pi1} \cdot \left(\frac{dT_{pi1}}{dt} \right) = 2k_{pi1} \cdot S_{pi1} \cdot (T_{pe1} - T_{pi1}) + 2h_{a,pi1} \cdot S_{pi1} \cdot (T_{as,e} - T_{pi1}) + 2h_{med,pe1} \cdot S_{pi1} \cdot (T_a - T_{pe1}) + h_r \cdot S_{pe1} \cdot (T_r - T_{pe1}) \quad (39)$$

$$m_{pi2} \cdot cp_{pi2} \cdot \left(\frac{dT_{pi2}}{dt} \right) = 2k_{pi2} \cdot S_{pi2} \cdot (T_{pe2} - T_{pi2}) + 2h_{a,pi2} \cdot S_{pi2} \cdot (T_{as,e} - T_{pi2}) + 2h_{med,pe2} \cdot S_{pi2} \cdot (T_a - T_{pe2}) + h_r \cdot S_{pe2} \cdot (T_r - T_{pe2}) \quad (40)$$

Siendo $mpi1$ y $mpi2$: masa de pared translúcida y opaca de la cámara de secado (kg); $cpi1$ y $cpi2$: calor específico de la pared interna translúcida y opaca (J / kg ° C); $kpi1$ y $kpi2$: y coeficiente mediante el intercambio de la pared interior translúcida y opaca (W/ m²°C); $Tpe1$ y $Tpe2$: temperatura de la pared externa translúcida y opaca (° C); $hmed, pe1$ y $hmed, pe2$: coeficiente de transmisión del calor convectivo externo de la pared del medio (W / m² ° C); $spi1$ y $spi2$: superficie de la pared exterior translúcida y opaca respectivamente (m²); Ta : temperatura ambiente (° C); hr : coeficiente de intercambio de radiación (W / m² ° C); Tr : Temperatura radiante exterior (° C). (Haro, y otros, 2017)

Estas últimas variables están relacionadas por ecuación.

$$h_r = \varepsilon_{p1} \cdot \sigma (T_{p01} + T_r^2) (T_{pe1} + T_r) \quad (41)$$

Donde ε_{p1} es la emisividad del producto de la bandeja inferior y Tr puede obtenerse mediante la relación de Swinbank.

$$T_r = 0,0552 \cdot T_a^{1,5} \quad (42)$$

Las ecuaciones que pueden resolverse analíticamente en las condiciones propuestas a través de un sistema de ecuaciones encuentran el parámetro de interés como la temperatura de salida de la cámara de secado, parámetro que permite modelar el proceso de secado o establecer parámetros fundamentales del proceso que están en funcionamiento. Secador cuando se combina con la temperatura del colector de salida.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL SECADOR SOLAR

3.1. Parámetros de Diseño

El secador solar para el deshidratado de frutilla debe poseer ciertas características imprescindibles conocidas como parámetros de diseño.

- Las condiciones climatológicas de la ciudad de Riobamba.
- Las propiedades del material para la construcción del colector solar deben favorecer a la absorción de la energía solar.
- La cantidad de producto que se pretende secar, el ángulo de inclinación del colector deben favorecer a la absorción de la energía solar.
- Las propiedades del producto a secar, específicamente tipo, humedad y peso, también inciden en el diseño del secador en lo que se refiere a su capacidad.
- Las dimensiones del colector solar.

3.2. Variables de diseño

La variable principal para el diseño del secador solar es la temperatura de salida en el colector y la cámara de secado ya que de ella depende el proceso de deshidratado de la frutilla. La temperatura constituye la variable dependiente del diseño, mientras que las dimensiones del secador (parámetros estáticos) y los datos climatológicos (parámetros dinámicos) constituyen las variables independientes del diseño.

Cabe mencionar que las variables independientes del diseño son aquellas que el diseñador puede manipular, es decir, debe asignar valores según sus requerimientos. El ángulo de inclinación, el largo y el ancho del colector, la temperatura ambiente, la presión atmosférica, la radiación solar, la velocidad del viento, la capacidad del secador y el porcentaje de humedad del producto; específicamente constituyen las variables independientes del diseño.

3.3. Selección del producto

En el capítulo II se mencionó que el tipo de frutilla que el pequeño agricultor cultiva en el Ecuador es la fragaria vesca, en sus diferentes presentaciones: Oso grande, Monterrey, Diamante y Abión consideradas para la selección del producto como las alternativas de selección.

Tabla 1-3: Alternativas para la selección del producto

Alternativas	Tipos de frutilla	Imagen	Alternativas	Tipos de frutilla	Imagen
A	Oso grande		C	Abión	
B	Monterrey		D	Diamante	

Fuente: (Ruiz, 2015)

La selección del producto se lleva a cabo mediante la calificación de criterios de valorización aplicando la siguiente tabla de ponderación.

Tabla 2-3: Niveles para la ponderación

Niveles	Inaceptable	Malo	Aceptable	Bueno	Excelente
Ponderación	1	2	3	4	5

Realizado por: Braulio Yumbillo, 2019

3.3.1. Criterios de valorización

- **Disponibilidad en el mercado.-** Es un factor fundamental ya que la fragaria vesca fresca constituye la materia prima para la producción de los frutos secos, por lo tanto se valora con mayor puntuación la inmediatez de la disponibilidad del producto que cumpla con las exigencias de frescura.
- **Porcentaje de humedad y tiempo de secado.-** Se evalúa con mayor puntuación aquella alternativa que posea el menor tiempo de secado considerando que es directamente proporcional al porcentaje de humedad del producto. Por lo tanto a menor porcentaje de humedad menor tiempo de secado.

- **Tamaño.-** De igual manera se vincula directamente con el tiempo de secado, y se evalúa con mayor puntuación aquella frutilla que tarde menos en secarse considerando que a menor tamaño menor tiempo de secado. Además en términos de calidad con la frutilla de menor tamaño se obtiene un secado más regular.
- **Costo.-** Aquella alternativa con el menor costo y que cumpla con las exigencias de frescura se evalúa con una mayor puntuación.

Tabla 3-3: Criterios de valorización

Alternativas	Nombre	Disponibilidad en el mercado	Porcentaje de humedad	Tamaño	Costo/kg
A	Oso grande	Alta	89%	Grande	2,80
B	Monterrey	Alta	90%	Mediana	2,00
C	Abión	Mediana	88%	Grande	2,40
D	Diamante	Mediana	91%	Pequeña	2,00

Realizado por: Braulio Yumbillo, 2019

La frutilla Monterrey su disponibilidad en el mercado es alta y a su vez el costo es menor en comparación de los otros tipos de frutilla.

El resultado de la ponderación de los criterios de valorización se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 4-3: Ponderación de los criterios de valorización

Alternativas	Nombre	Disponibilidad en el mercado	Porcentaje de humedad	Tamaño	Costo/kg	Total
A	Oso grande	5	4	3	3	15
B	Monterrey	5	3	5	4	17
C	Abión	3	5	3	3	14
D	Diamante	3	2	4	4	13

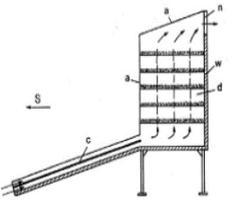
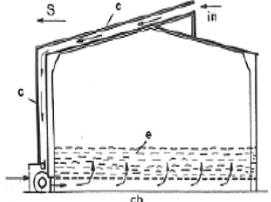
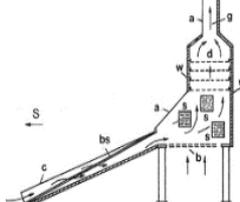
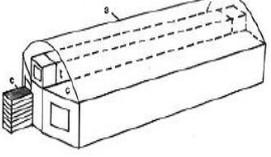
Realizado por: Braulio Yumbillo, 2019

La frutilla Monterrey es la mejor alternativa con un puntaje de valorización de 17 puntos, el resultado se obtuvo debido fundamentalmente a tres factores que sobresalen en comparación a las otras frutillas: su disponibilidad alta en el mercado, el tamaño del producto y el menor costo en el mercado en comparación a las demás. La diferencia entre el porcentaje de humedad entre la variedad de frutillas es insignificante ya que todas se aproximan a un promedio de 90%.

3.4. Selección del tipo de secador

En el capítulo II se mencionó que los tipos de secador son: con convección natural, con convección forzada, con colector-efecto invernadero, tipo túnel.

Tabla 5-3: Alternativas para la selección del secador

Alternativas	Tipos de secador	Imagen	Alternativas	Tipos de secador	Imagen
A	Con convección natural		C	Con colector-efecto invernadero	
B	Con convección forzada		D	Tipo túnel	

Fuente: (Ruiz, 2015)

La selección del producto se lleva a cabo mediante la calificación de criterios de valorización aplicando la siguiente tabla de ponderación.

Tabla 6-3: Niveles para la ponderación

Niveles	Inaceptable	Malo	Aceptable	Bueno	Excelente
Ponderación	1	2	3	4	5

Realizado por: Braulio Yumbillo, 2019

3.4.1. Criterios de valorización

- **Funcionalidad.-** El secador solar debe cumplir con los parámetros de diseño sin ningún inconveniente.
- **Capacidad.-** Por tratarse del diseño de un prototipo la capacidad del secador no deber ser alta, se requiere una capacidad promedio de 2 kg.
- **Costo.-** Aquella alternativa con el menor costo y que cumpla con los parámetros de diseño se evalúa con una mayor puntuación.

Tabla 7-3: Criterios de valorización

Alternativas	Nombre	Funcionalidad	Capacidad	Costo
A	Con convección natural	Se caracterizan por el acomodo de múltiples superficies de secado en posición y para vencer la resistencia al flujo del aire de ascenso se aplica el concepto de chimenea solar o con un ventilador. Son de fácil instalación y bajo costo.	Bajo	Bajo
B	Con convección forzada	Se recomiendan para mayores demandas de secado. Requieren de un sistema de colección de energía solar o de cubiertas transparentes y muchas veces son sistemas híbridos auxiliados con recursos energéticos convencionales como hidrocarburos, biomasa, gas, etc. Estos sistemas son más complicados en su instalación y operación.	Medio	Medio
C	Con colector-efecto invernadero	Consisten en un túnel con una cubierta transparente y un colector. Estos sistemas tiene la capacidad de manejar grandes cantidades de materiales.	Alto	Alto
D	Tipo túnel	Son utilizados para secar grandes cantidades de material. Consisten en sistemas con cubiertas y paredes transparentes para permitir el paso de la radiación solar y efecto invernadero.	Alto	Alto

Realizado por: Braulio Yumbillo, 2019

El resultado de la ponderación de los criterios de valorización se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 8-3: Ponderación de los criterios de valorización

Alternativas	Nombre	Funcionalidad	Capacidad	Costo	Total
A	Con convección natural	5	5	5	15
B	Con convección forzada	4	4	4	12
C	Con colector-efecto invernadero	4	3	3	10
D	Tipo túnel	4	3	3	10

Realizado por: Braulio Yumbillo, 2019

El tipo de secador con convección natural es la mejor alternativa con un puntaje de 15 puntos ya que cumple con los parámetros de diseño propuestos, cumple con la capacidad mínima requerida y es de bajo costo e instalación. A diferencia de los otros sistemas que se utilizan para secar altas cantidades del producto y cuya instalación y sistemas es más complejo.

3.5. Modelado del prototipo del secador solar

El modelo matemático desarrollado para el prototipo de secadero solar consta de dos componentes bien diferenciados; el colector solar como unidad de precalentamiento del aire y la cámara de secado como equipo en el que se produce propiamente la desecación de la frutilla.

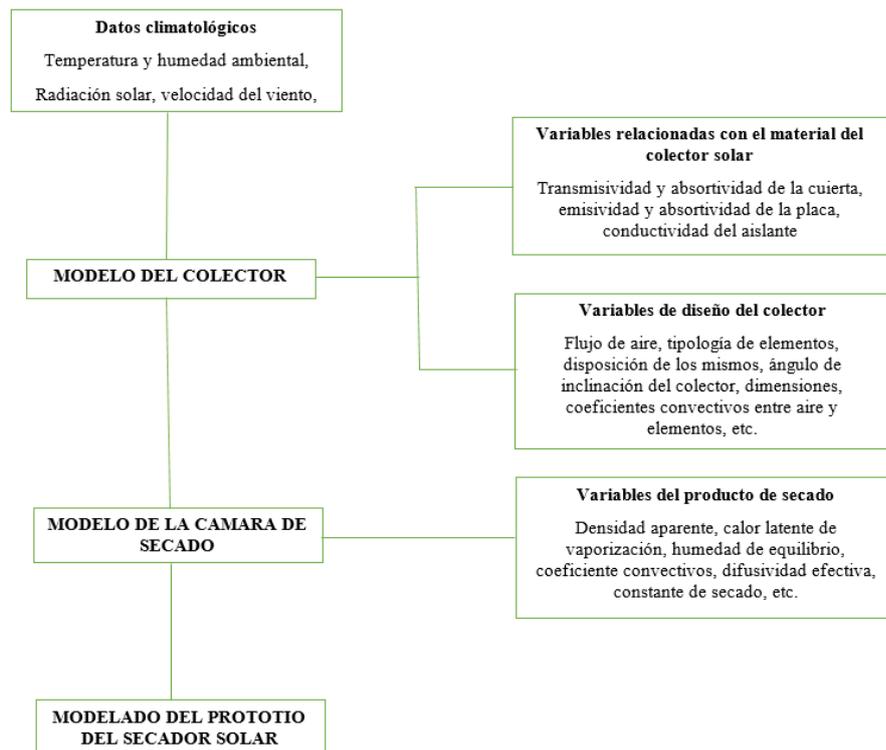


Grafico 1-3: Modelado del prototipo del secador solar

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

De forma general, en la *Figura 1-3: Modelado del prototipo del secador solar* se representa un esquema, para los secaderos del tipo colector-cabina, de las variables necesarias a introducir para conseguir un modelo apropiado de estos dispositivos. En resumen, serán necesarios parámetros climatológicos, así como un extenso número de variables relacionadas con el colector y la cámara de secado.

3.6. Datos meteorológicos

Para diseñar el secador solar empleando modelos matemáticos se requiere recolectar datos de radiación, temperatura, humedad, velocidad del viento y presión atmosférica para lo cual se acude a la estación meteorológica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Los datos recolectados se detallan en el Anexo A, a continuación se muestra el promedio mensual de las variables medidas.

3.6.1. Zona

Los datos meteorológicos corresponden a la ciudad de Riobamba cuyos datos geográficos son:

- Latitud: 1°40'15" S

- Longitud: 78°38'49" O
- Altitud sobre el nivel del mar: 2758 m
- El clima por lo general es frío y consta de dos estaciones, una húmeda y una seca.

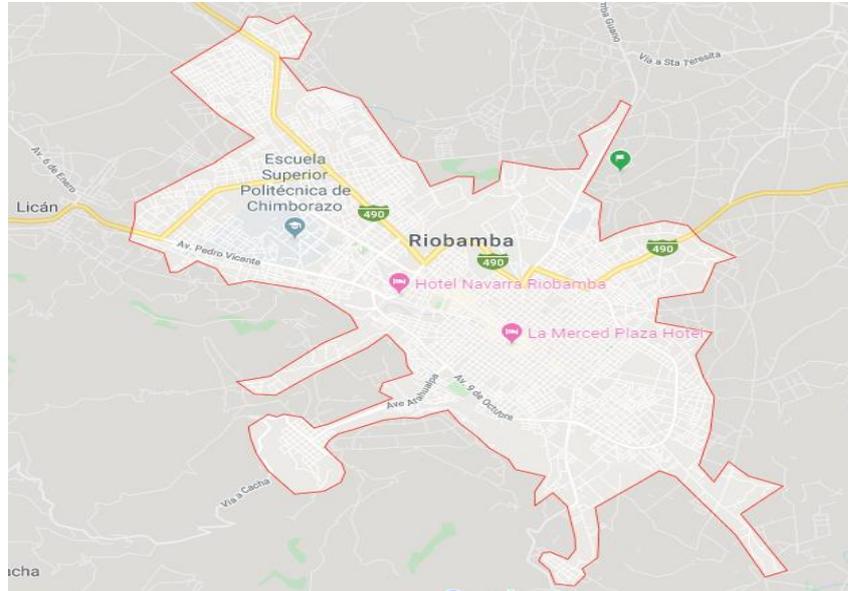


Figura 1-3: Croquis de Riobamba
Fuente: Google maps, 2019

3.6.1.1. Microlocalización

Los pequeños productores de la parroquia Cacha son los principales proveedores de la frutilla para el presente proyecto.



Figura 2-3: Localización, parroquia Cacha
Fuente: Google maps, 2019

3.6.2. Radiación solar

La radiación solar se refiere a la energía que el secador solar recibe del sol, en la *Tabla 9-3*. *Radiación solar* se detalla los datos recolectados por la estación meteorológica de la EsPOCH.

Tabla 9-3: Radiación solar promedio mensual tomada desde las 8 am hasta las 17 pm (W/m²)

Promedios de horas mensuales de radiación desde las 8 -17 horas del día											
Horas	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	Promedio
Enero	525,11	321,58	615,72	695,52	638,38	690,44	544,11	579,98	350,25	559,39	552,05
Febrero	559,19	325,94	519,76	630,45	811,27	814,41	797,39	636,27	465,03	261,18	582,09
Marzo	121,25	320,53	542,85	704,54	747,25	735,99	693,48	646,18	462,82	582,78	555,77
Abril	150,05	518,98	541,49	673,75	748,91	733,59	631,12	486,83	334,93	198,69	501,83
Mayo	495,95	555,4	566,22	522,36	474,65	369,59	356,96	732,93	543,83	513,32	513,12
Junio	756,82	734,58	583,89	425,23	146,63	71,04	518	133,06	357,85	533,59	426,07
Julio	813,36	785,52	672,3	530,88	301,89	86,68	14,13	513,51	588,63	513,84	482,07
Agosto	736	695,4	608,81	503,63	298,9	90,05	50,55	657,24	352,4	568,49	456,15
Septiembre	799,01	765,34	655,56	510,24	279,39	772,32	35,16	190,46	402,69	649,06	505,92
Octubre	863,57	774	559,94	408,08	229,18	56	54,03	416,61	456,36	571,22	438,9
Noviembre	822,18	682,75	434,09	268,73	417,5	337,3	675,53	353,04	536,11	736,94	526,42
Diciembre	452,85	497,79	503,58	521,78	458,91	380,32	325,36	543,07	423,24	564,02	467,09
Promedio											500,62

Fuente: Estación meteorológica ESPOCH (2019)

Tabla 10-3: Radiación solar promedio anual

MESES	Radiación (W/m ²)
Enero	552,05
Febrero	582,09
Marzo	555,77
Abril	501,83
Mayo	513,12
Junio	426,07
Julio	482,07
Agosto	456,15
Septiembre	505,92
Octubre	438,9
Noviembre	526,42
Diciembre	467,09
PROMEDIO	500,62

Fuente: Estación meteorológica ESPOCH (2019)

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

La radiación solar promedio en la ciudad de Riobamba es de 500.62 W/m².

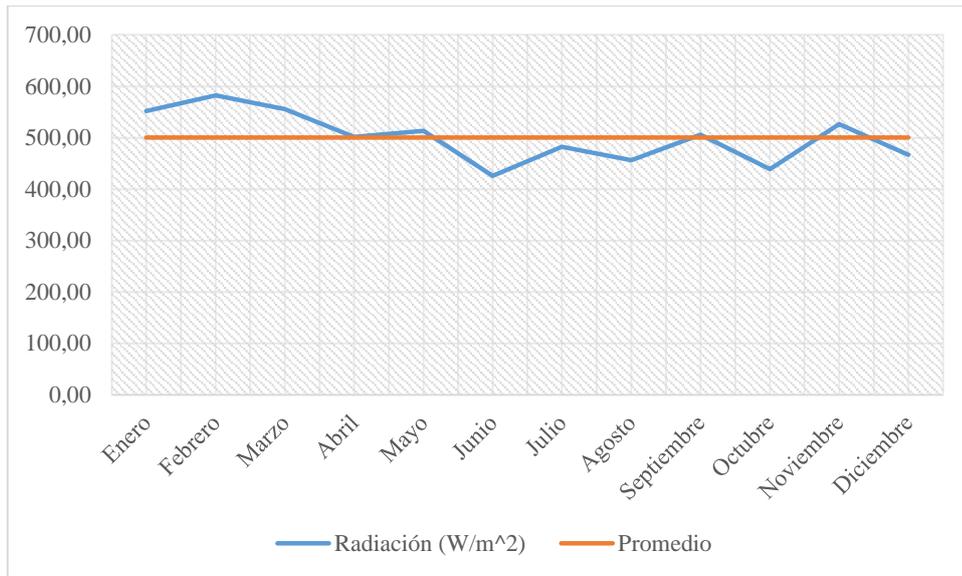


Gráfico 2-3: Radiación Solar
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

3.6.3. Temperatura

La capacidad de extracción de la humedad del secador solar depende de la temperatura ambiente, a mayor temperatura del aire mayor aumento del ratio de secado. En la *Tabla 11-3. Temperatura* se detalla los datos recolectados por la estación meteorológica de la EsPOCH.

Tabla 11-3: Temperatura (°C) promedio mensual tomada desde las 8 am hasta las 17 pm

Promedios de horas mensuales de temperatura desde las 8 -17 horas del día											
Horas	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	Promedio
Enero	10,8	12,7	14,5	15,2	15,7	16,3	16,4	17,1	17,1	17,6	15,34
Febrero	11,3	12,9	15	16,7	17,9	18,7	19,6	19,6	19	17,7	16,84
Marzo	10,9	12,7	13,6	16,4	17,7	17,7	18	19,2	18,1	17,8	16,22
Abril	10,9	12,1	13,9	15,5	16,6	18	17,3	17,9	17,1	16,2	15,55
Mayo	13,9	14,8	15,7	15,2	16,1	16,3	15,7	15,4	17,3	16,3	15,65
Junio	13	16,8	18,6	18,1	17,1	15,4	13,6	12,3	11,4	10,8	14,71
Julio	13,7	15,2	18,2	17,7	16,7	15,3	13,7	12,3	11,3	10,8	14,49
Agosto	13,2	17,8	17,7	17,5	16,7	15,4	13,7	12,5	11,3	10,6	14,64
Septiembre	13,4	16	18	18,5	17,3	15,9	14,1	12,9	11	11,3	14,84
Octubre	15,2	1,6	20,3	19,7	18,6	17	15,2	13	13,2	12,5	14,62
Noviembre	13,3	15,7	18,9	17,6	16,4	15,3	14,3	13,6	13,1	12,8	15,11
Diciembre	12,7	15,6	16,1	16,6	16,1	16,5	16	15,5	15,1	14,6	15,48
Promedio											15,29

Fuente: Estación meteorológica ESPOCH (2019)

Tabla 12-3: Temperatura promedio anual

MESES	Temperatura (°C)
Enero	15,34
Febrero	16,84
Marzo	16,22
Abril	15,55
Mayo	15,65
Junio	14,71
Julio	14,49
Agosto	14,64
Septiembre	14,84
Octubre	14,62
Noviembre	15,11
Diciembre	15,48
PROMEDIO	15,29

Fuente: Estación meteorológica ESPOCH (2019)
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

La temperatura promedio de la ciudad de Riobamba es de 15.29°C.

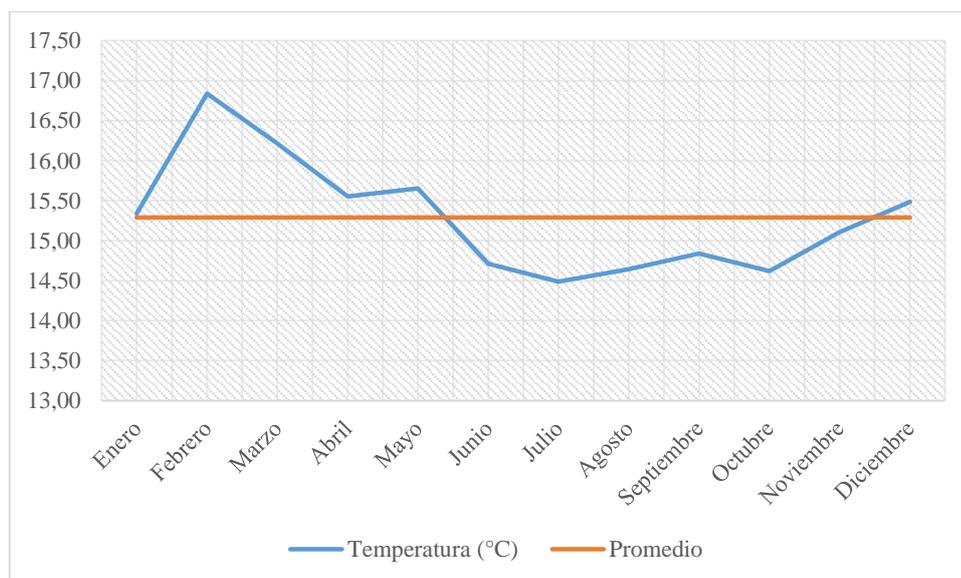


Gráfico 3-3: Temperatura

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

3.6.4. Humedad

La capacidad deshidratante del aire depende principalmente de su humedad relativa, la cual es a su vez función de su temperatura. El secader solar aporta calor y disminuye la humedad relativa

del aire desecante. En la *Tabla 13-3. Porcentaje de humedad* se detalla los datos recolectados por la estación meteorológica de la Espoch.

Tabla 13-3: Humedad promedio mensual tomada desde las 8 am hasta las 17 pm

Promedios de horas mensuales de humedad desde las 8 -17 horas del día											
Horas	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	Promedio
Enero	80,7	77	61,5	61,1	67,1	67,5	64,6	70,1	58,4	58,4	66,66
Febrero	84,3	78,9	67,8	60,7	55,6	53,3	50,3	49	49,3	53,9	60,3
Marzo	92,5	82	70,7	61,8	55,1	51,1	50,1	49,7	51	54	61,79
Abril	91,2	82,8	71,9	64,5	58,3	54,6	52,6	54,8	58,2	63,1	65,21
Mayo	74,3	68,3	62,8	59,4	58,6	60,5	62,7	66,2	69,2	73,5	65,56
Junio	53	48,2	48,2	49,8	53,5	60,7	68,7	78,9	86,7	91,6	63,93
Julio	49,2	46,7	46,6	47,7	50,7	54,5	62,1	72,1	80,9	85	59,55
Agosto	49,3	46,5	47	47,6	49,3	53	60,3	69,4	79,4	85,2	58,72
Septiembre	44,8	42,9	42,7	44,1	48,2	54,8	63,5	70,8	79,4	84	57,52
Octubre	44,1	43,4	44,8	46,7	50,8	56,4	64,3	71,7	76,9	81,2	58,03
Noviembre	53,7	52,3	55,8	62	69	74,8	81	85,6	88,8	92,4	71,56
Diciembre	71,7	67,2	63,5	60,7	58,7	59,4	63,6	67	70,6	73,2	65,55
Promedio											62,87

Fuente: Estación meteorológica ESPOCH (2019)

Tabla 14-3: Porcentaje de humedad promedio anual

MESES	% Humedad
Enero	66,66
Febrero	60,30
Marzo	61,79
Abril	65,21
Mayo	65,56
Junio	63,93
Julio	59,55
Agosto	58,72
Septiembre	57,52
Octubre	58,03
Noviembre	71,56
Diciembre	65,55
PROMEDIO	62,87

Fuente: Estación meteorológica ESPOCH (2019)

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

La humedad promedio de la ciudad de Riobamba es de 62.87%.

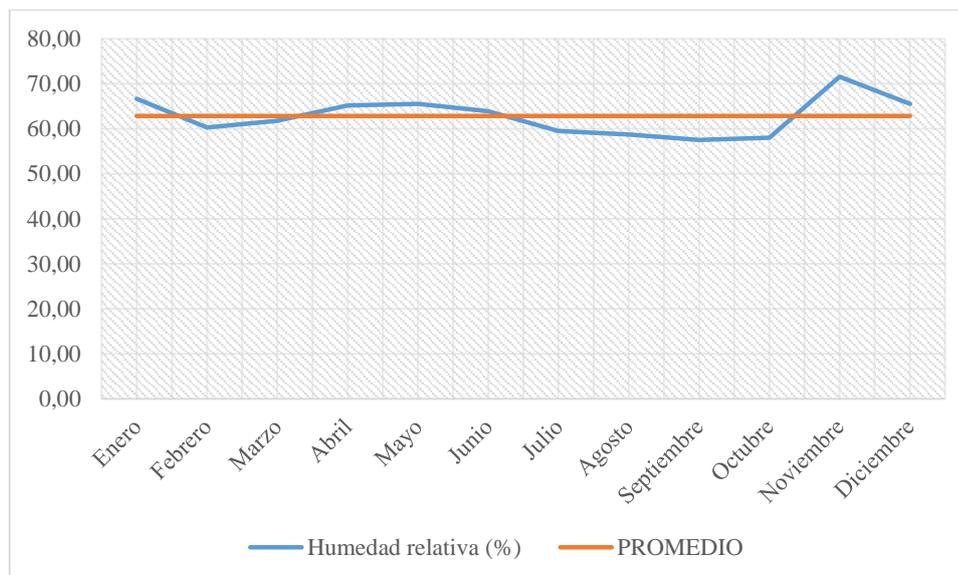


Gráfico 4-3: Humedad
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

3.6.5. Velocidad del viento

En cuanto a la relación de la velocidad del viento con el secador solar, se conoce que cuando aumenta la velocidad, disminuye el tiempo de secado. En la *Tabla 15-3. Velocidad de viento* se detalla los datos recolectados por la estación meteorológica de la Espoch.

Tabla 15-3: Velocidad de viento (m/s) promedio mensual tomada desde las 8 am hasta las 17 pm

Promedios de horas mensuales de velocidad de viento desde las 8 -17 horas del día											
Horas	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	Promedio
Enero	1,19	2,78	5,1	4,99	4,54	3,97	2,99	1,9	1,57	1,12	3,02
Febrero	2,63	3,08	5,61	5,57	4,26	3,36	3	1,98	1,55	1,16	3,22
Marzo	2,83	2,24	5,56	5,69	5,46	3,68	3,31	2,01	1,75	1,21	3,38
Abril	2,33	2,66	2,96	3,59	3,97	3,76	3,24	3,05	2,9	2,63	3,11
Mayo	1,79	2,33	4,77	5,7	5,27	3,6	3,16	1,93	1,68	1,15	3,14
Junio	2,76	2,21	4,51	5,62	5,35	4,62	3,34	2,03	1,75	1,2	3,34
Julio	1,57	2,16	4,62	5,56	4,11	3,48	3,18	1,98	1,65	1,13	2,94
Agosto	1,47	2,94	5	5,21	4,21	4,61	3,23	2,03	1,73	1,28	3,17
Septiembre	3,87	2,39	4,85	4,7	4,49	3,74	2,73	1,88	1,43	1,11	3,12
Octubre	1,43	3,74	4,02	4,1	3,93	3,19	2,15	1,67	1,47	1,17	2,69
Noviembre	2,96	2,97	3,24	2,83	2,6	1,91	1,53	1,3	0,99	1,02	2,14
Diciembre	2,15	2,52	2,9	3,41	3,66	3,54	3,22	3,05	2,97	2,72	3,01

Fuente: Estación meteorológica ESPOCH (2019)

Tabla 16-3: Velocidad de viento promedio anual

MESES	Velocidad (m/s) SE
Enero	3,02
Febrero	3,22
Marzo	3,38
Abril	3,11
Mayo	3,14
Junio	3,34
Julio	2,94
Agosto	3,17
Septiembre	3,12
Octubre	2,69
Noviembre	2,14
Diciembre	3,01
PROMEDIO	3,02

Fuente: Estación meteorológica ESPOCH (2019)

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

La velocidad del viento promedio en la ciudad de Riobamba es de 3.02 m/s.

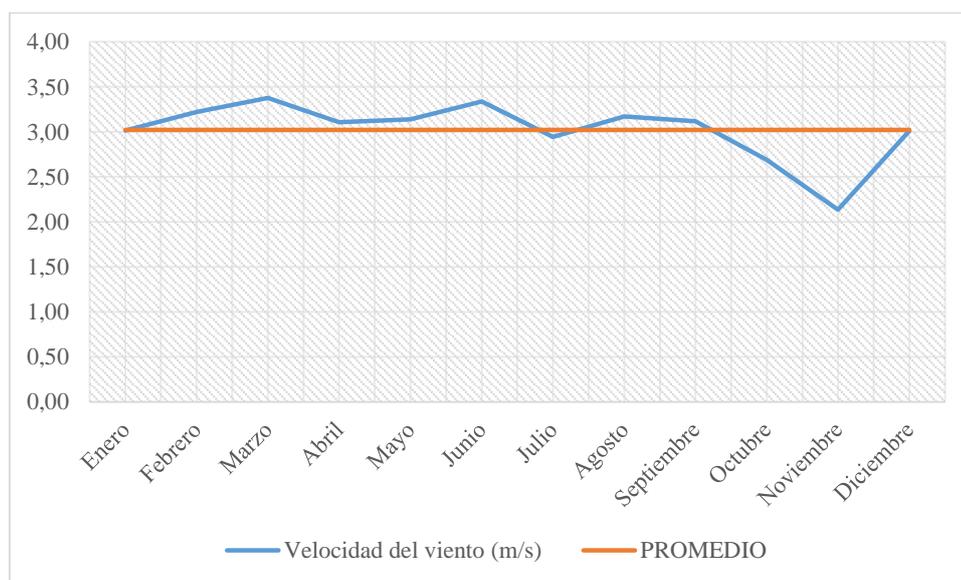


Gráfico 5-3: Velocidad

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

3.6.6. Presión atmosférica

Otro parámetro térmico que influye en el proceso de secado es la presión atmosférica. En la *Tabla 17-3. Presión atmosférica* se detalla los datos recolectados por la estación meteorológica de la Espoch.

Tabla 17-3: Presión atmosférica (mBar)

Promedios de horas mensuales de presión atmosférica desde las 8 -17 horas del día											
Horas	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	Promedio
Enero	730,4	730,1	730	729,6	728,7	727,8	727,1	726,7	726,6	726,2	728,33
Febrero	729,6	729,9	729,8	729,4	728,6	727,9	727	726,3	726	726,3	728,07
Marzo	729,4	729,9	730	729,7	729,1	728,3	727,4	726,6	726,1	726	728,26
Abril	730,3	730,8	730,9	730,6	730	729,2	728,4	727,6	727,2	727,3	729,22
Mayo	729,7	729,5	729,2	728,9	728,5	728,3	728,2	728,3	728,6	728,9	728,81
Junio	729,5	728,7	728,1	727,7	727,8	728,1	728,8	729,4	730,1	730,5	728,87
Julio	729,5	728,8	728,2	727,8	727,7	728	728,6	729,3	729,9	730,4	728,83
Agosto	729,9	729,1	728,5	728	727,9	728,2	728,7	729,5	730,1	730,7	729,06
Septiembre	728,8	727,9	727,1	726,6	726,5	726,9	727,6	728,3	729	729,7	727,84
Octubre	727,9	726,9	726,1	725,7	725,8	726,4	727,2	728,1	728,9	729,5	727,26
Noviembre	727,8	726,8	726,1	725,8	726,1	726,6	727,4	728,2	728,9	729,5	727,31
Diciembre	729,2	728,8	728,4	728	727,7	727,7	727,8	727,9	728,2	728,6	728,24
Promedio											728,34

Fuente: Estación meteorológica ESPOCH (2019)

Tabla 18-3: Presión atmosférica promedio anual

MESES	Presión atmosférica (mBar)
Enero	728,33
Febrero	728,07
Marzo	728,26
Abril	729,22
Mayo	728,81
Junio	728,87
Julio	728,83
Agosto	729,06
Septiembre	727,84
Octubre	727,26
Noviembre	727,31
Diciembre	728,24
PROMEDIO	728,34

Fuente: Estación meteorológica ESPOCH (2019)

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

La presión atmosférica incide en la temperatura de secado, a mayor presión atmosférica menor temperatura de secado, a menor presión atmosférica mayor temperatura de secado, por esta razón este factor es importante para la verificación de resultados en la simulación

La presión atmosférica promedio en la ciudad de Riobamba es de 728.34 mBar.

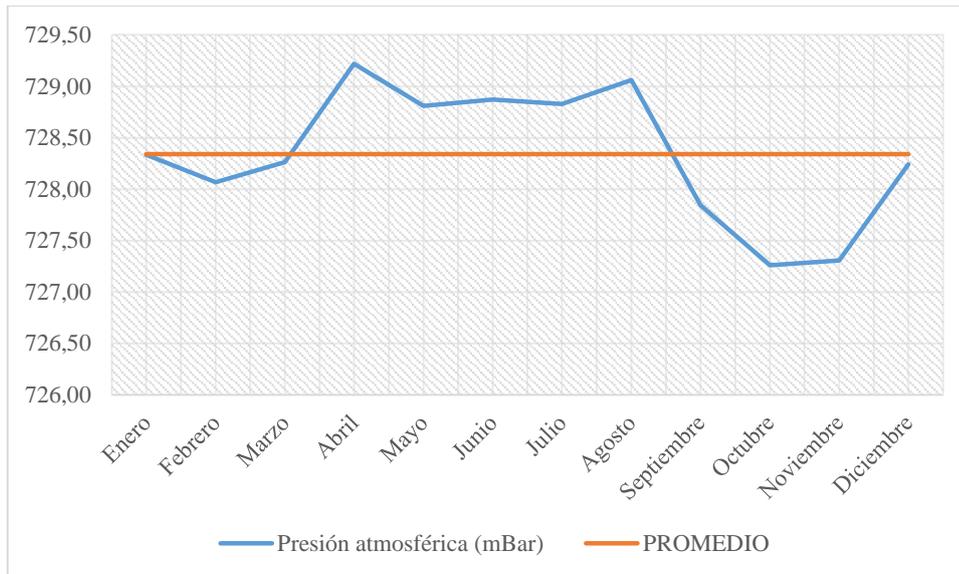


Gráfico 6-3: Presión atmosférica
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

3.7. Ratio de secado

El ratio de secado es el tiempo en el que el producto (introducido en el secador solar) pierde su humedad y se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$DR = \frac{dMR}{dt} = \frac{MR_{t-dt} - MR_t}{dt} \quad (43)$$

3.7.1. Porcentaje de humedad durante el proceso de secado

La humedad obtenida en el secado es el resultado del tiempo que transcurre durante el proceso. En las primeras horas de secado la frutilla elimina un gran porcentaje de agua. En anteriores investigaciones se determinó el porcentaje de humedad de la frutilla en estado fresco que es de aproximadamente el 90,37 %.

Se colocan 451,6 g de frutilla en la bandeja a 96°C por 24 horas para sustraer toda la humedad que contenga el producto, pasadas las 24 horas se pesa y nos da como resultado 43,5 g de frutilla, con los datos obtenidos se procede a hallar la umedad inicial del producto. (Santana, y otros, 2016)

$$\% H_2O \text{ Fresca} = \frac{M_o - M_R}{M_o} * 100 \quad (44)$$

Donde:

M_0 : Masa inicial de la frutilla.

M_R : Masa final de la frutilla.

Reemplazando los valores se obtiene:

$$\% H_2O \text{ Fresa} = \frac{451,6-43,5}{451,6} * 100 = 90,37 \quad (45)$$

3.7.2. Linealización del ratio de humedad

Utilizando el peso obtenidos de cada hora, se determinó el logaritmo natural y la masa relativa con respecto al tiempo. Los datos obtenidos en la determinación del logaritmo natural y la masa relativa son representados mediante curvas cuyo valor de correlación es cercano a 1. (Guerrero, 2015)

En los siguientes cuadros se realiza la linealización del ratio de humedad con diferentes temperaturas y velocidad del viento de 8 m/s.

Tabla 19-3: Linealización del ratio de secado de la frutilla a 60 °C

LINEALIZACIÓN DEL RATIO DE HUMEDAD DE LA FRUTILLA A 60 °C, 8 m/s								
Tiempo (h)	0	1	2	3	4	5	6	7
Ratio de humedad (MR)	1	0.89712389	0.67743363	0.39933628	0.25409292	0.19977876	0.17455752	0.14977876
InMR	0	-0.10856131	-0.3894437	-0.9179514	-1.37005525	-1.61054472	-1.74550095	-1.898596

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

Tabla 20-3: Linealización del ratio de secado de la frutilla a 55 °C

LINEALIZACIÓN DEL RATIO DE HUMEDAD DE LA FRUTILLA A 55 °C, 8 m/s								
Tiempo	0	1	2	3	4	5	6	7
Ratio de humedad (MR)	1	0.88606195	0.68263274	0.42256637	0.26670354	0.15774336	0.14015487	0.11769912
InMR	0	-0.12096841	-0.38179828	-0.86140875	-1.32161758	-1.84678585	-1.96500727	-2.13962378

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

Tabla 21-3: Linealización del ratio de secado de la frutilla a 50 °C

LINEALIZACIÓN DEL RATIO DE HUMEDAD DE LA FRUTILLA A 50 °C, 8 m/s								
Tiempo (h)	0	1	2	3	4	5	6	7
Ratio de humedad (MR)	1	0.93318584	0.78561947	0.57090708	0.39446903	0.27588496	0.20663717	0.19402655
InMR	0	-0.06915091	-0.24128274	-0.56052882	-0.93021465	-1.28777133	-1.57679083	-1.63976028

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

3.7.3. Curvas de secado

Al realizar la linealización del ratio de humedad de la frutilla se determinaron las curvas de secado del antilogaritmo con respecto al tiempo. Las ecuaciones lineales fueron las que más se ajustaron a un coeficiente de correlación de uno. Con la determinación de las curvas de secado se aplica el modelo matemático de la curva característica obteniendo la ecuación $y = Ax + B$, la misma que será utilizada en la determinación de los ratios óptimos en la cinética del secado de la frutilla.

En las siguientes figuras se pueden observar las curvas de LN (MR) en función al tiempo con velocidad del viento de 8 m/s.

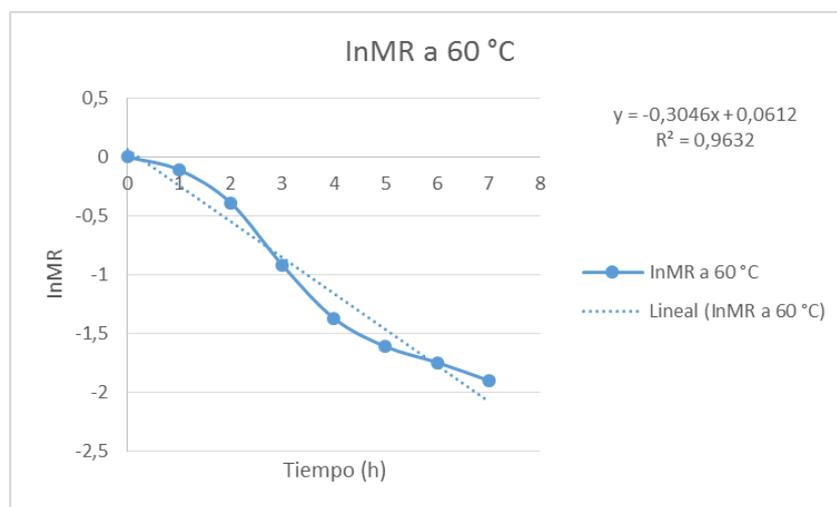


Gráfico 7-3: LN MR vs tiempo de la frutilla a 60 °C

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

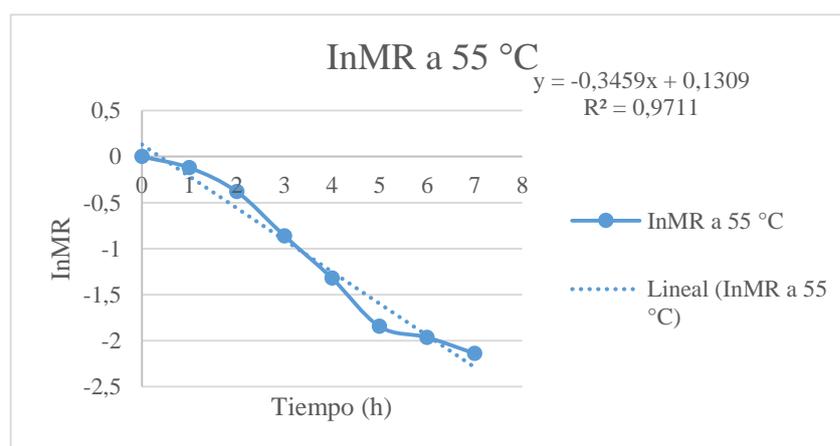


Gráfico 8-3: LN MR vs tiempo de la frutilla a 55 °C

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

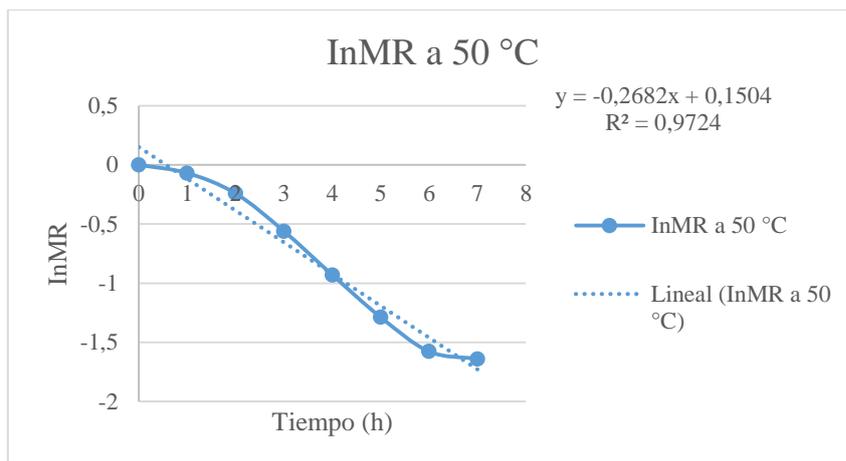


Gráfico 9-3: LN MR vs tiempo de la frutilla a 50 °C
 Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

3.7.4. Determinación del coeficiente de secado “A”

Con los resultados obtenidos durante el cálculo de linealización del ratio del secado de la frutilla y la representación mediante curvas de lnMR y MR con respecto al tiempo; se obtiene la constante de regresión representada con la letra “A”. El coeficiente “A” representa la eliminación de agua durante el proceso de secado según el tiempo que conlleva el proceso, tomando en cuenta distintas temperaturas de secado. (Guerrero, 2015)

Tabla 22-3: Determinación de la constante A

TEMPERATURA °C	CONSTANTE "A"
50	0,1504
55	0,1309
60	0,0612

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

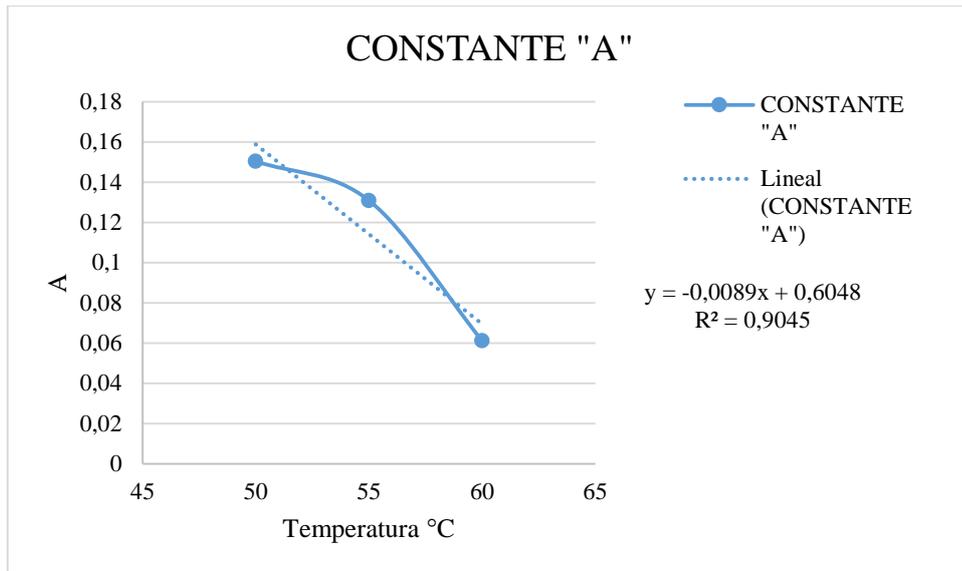


Gráfico 10-3: Variable "A" de la frutilla
 Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

$$A = -0,0036x - 0,106 \tag{46}$$

3.7.5. Determinación del coeficiente de secado "B"

Con los datos obtenidos en la linealización del ratio de humedad de la frutilla y la representación mediante curvas de $\ln MR$ y MR con relación al tiempo; obtenemos una constante denominada "B". Esta constante determina la relación existente entre el secado de la frutilla con respecto a la temperatura a la que se expuso el producto, evidenciando la pérdida de humedad durante todo el proceso.

En la siguiente tabla 19-3 se puede observar la determinación de la constante "B" con respecto al tiempo.

Tabla 23-3: Determinación de constante B

TEMPERATURA °C	CONSTANTE "B"
50	-0,2682
55	-0,3459
60	-0,3046

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

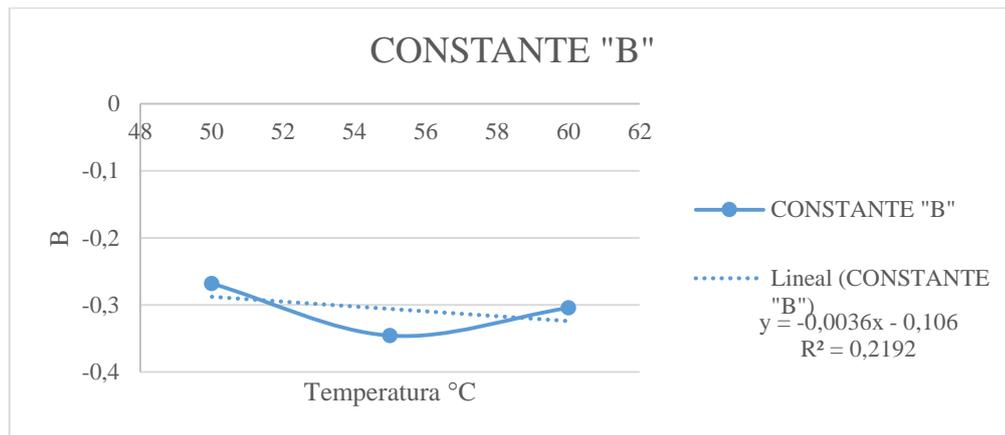


Gráfico 11-3: Variable "B" de la frutilla
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

El ratio de secado para el secador solar de la frutilla se expresa mediante la ecuación:

$$B = -0,0036x - 0,106 \quad (46)$$

3.8. Inclinación del colector solar

El ángulo óptimo de inclinación de las superficies colectoras de un sistema solar está determinado por muchos factores, incluida la radiación incidente en el lugar donde se ubica la instalación y el ciclo solar, donde la sombra de objetos que no se pueden eliminar, como Edificios, montañas, etc. La ubicación del colector (hemisferio sur) debe ser hacia el norte con una pendiente similar a la latitud, de modo que los rayos del sol golpeen perpendicularmente a la superficie y tengan un mejor uso, pero para la limpieza (de modo que el polvo que se acumula en la superficie tiende a la lluvia no se acumula o la lluvia es responsable de limpiar la superficie por sí misma) se le puede dar una pendiente de 10 ° sin que esto afecte significativamente su funcionamiento, sin embargo, es recomendable virar hacia el sur en la primavera Equinoccio (22/23 de septiembre), para evitar sombrear la cámara de secado y devolverla en el equinoccio de otoño (20/21 de marzo). (Haro, y otros, 2017)

3.9. Diseño mecánico

3.9.1. Dimensionamiento de las Bandejas

De acuerdo a investigaciones anteriores la frutilla puede secarse con temperaturas no mayores a 50 °C porque pierde sus propiedades organolépticas y vitaminas, es recomendable secarlas con temperaturas que oscilen entre 40 °C y 45° con estas temperaturas se consigue un tiempo de secado que va desde 7 a 9 horas, asegurando un contenido de humedad del 12 % y un buen aspecto

del producto tanto como su color, textura y sus propiedades organolépticas para nuestro dimensionamiento escogemos una temperatura de trabajo de 40 °C con un tiempo de secado de 9 horas. El espesor de la frutilla que se requiere para secar puede variar entre 3, 6 y 9 mm, se debe tomar en consideración que a menor espesor tendremos menor contenido de agua en el producto y tendremos mayor contenido de nutrientes, por eso escogemos un espesor de 6 mm para poder secar mayor cantidad de masa de nuestro producto sin que esto afecte el contenido de nutrientes. (Torres Valle, 2013)

Se procede a determinar los parámetros necesarios para el diseño y construcción del secador solar, definimos la cantidad deseada de producto para secar, que sería 2 kg de frutilla monterrey las cuales se cortaran en rodajas de 6 mm de espesor a lo largo del producto.

El promedio de 2 kilogramos equivale a 66 frutillas monterrey, cada frutilla en promedio mide 3,12 cm de longitud y 2,5 cm de diámetro las cuales son cortadas en rodajas de 6 mm de espesor se obtiene 4 rodajas de cada frutilla en total tendríamos 264 de los 2 kilogramos.

Tabla 24-3: Determinación del área de una rodaja de frutilla monterrey

Área total requerida por la frutilla monterrey			
1 kg	33 frutillas	132 rodajas	A_r (de cada rodaja) = 7,8 cm^2

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

Área de las 132 rodajas

$$A_1 = A_r * N \text{ rodajas} \quad (47)$$

$$A_1 = 7,8 * 132$$

$$A_1 = 1029 \text{ cm}^2$$

El área total requerida tomando en cuenta los espacios entre las rodajas, se estima en un 75 % del área requerida por el producto.

$$A_{total} = A_1 * 75\% + A_1 \quad (48)$$

$$A_{total} = 1029 * 75\% + 1029$$

$$A_{total} = 771 + 1029$$

$$A_{total} = 1800 \text{ cm}^2$$

Con el área total calculada tenemos que las dimensiones son 60 cm de largo y 30 cm de ancho, calculando el área nos da 1800 cm^2 . Se divide el área total requerida para la frutilla por el área designada de la cámara para obtener el número de bandejas que se necesita para nuestro producto.

$$N_{bandejas} = \frac{A_{total}}{A_{designada}} \quad (49)$$

$$N_{bandejas} = \frac{1800}{1800}$$

$$N_{bandejas} = 1 \text{ bandejas}$$

Nos da como resultado 1 bandeja ya que se secará 2 kg de frutilla necesitaremos de 2 bandejas de esas dimensiones, las cuales serán construidas de aluminio por sus propiedades mecánicas, su aplicación en la industria de alimentos es muy amplia ya que tiene buena conductividad del calor y sirve como barrera protectora de la contaminación, la humedad, el oxígeno, dependiendo su uso se designa el espesor de la bandeja, tenemos para alimentos congelados 0,005 a 0,5 mm y alimentos precocidos de 0,5 a 1 mm, con lo cual escogemos el espesor de nuestra bandeja que es de 0,7 mm de espesor. (Elika, 2014)

3.9.2. Dimensionamiento del colector solar

Para determinar las dimensiones de nuestro colector solar se debe determinar el requerimiento energético para secar la cantidad de 2 kg de frutilla con un porcentaje de humedad del 90 %, para lo cual se calcula la disminución de la humedad del producto.

La norma ecuatoriana (NTE INEN-ISO 7703, 2014) hace referencia que las frutas secas que no han sido tratadas con ácido ascórbico o ningún aditivo para su conservación no deben superar el 20% de humedad del producto por lo tanto en el presente estudio se consideró una humedad del 12 % para el producto.

$$\Delta H = \frac{H_0 - H_f}{100 - H_f} * 100 \quad (50)$$

$$\Delta H = \frac{90 - 12}{100 - 12} * 100$$

$$\Delta H = 83,63\%$$

Para calcular la masa de agua a evaporar, se realizó una prueba de secado en la cual se obtuvo 0.230 kg de producto seco, para lo cual la masa a secar es:

$$M_{H_2O} = \frac{masa_{prod\ seco} * \Delta H}{100 - \Delta H} \quad (51)$$

$$M_{H_2O} = \frac{masa_{prod\ seco} * \Delta H}{100 - \Delta H}$$

$$M_{H_2O} = \frac{0,230 * 83,63}{100 - 83,63} = 1,79 \text{ kgH}_2\text{O}$$

La masa del producto fresco que se debe colocar en el secador solar es:

$$M_h = masa_{prod\ seco} + masa_{H_2O} \quad (52)$$

$$M_h = 0,230 \text{ kg} + 1,79 = 2,02 \text{ kg} \cong 2 \text{ kg}$$

Se procede a calcular las propiedades del aire que se emplea para el secado de la frutilla monterrey, para lo cual se realiza un análisis psicrométrico, utilizando el software libre 101 CYTSoft Psychometric Chart, el cual es una herramienta, que de forma práctica y fácil nos permite realizar el cálculo de las propiedades del aire que se requiere para el secado de nuestro producto. (Roa Marín, y otros, 2011)

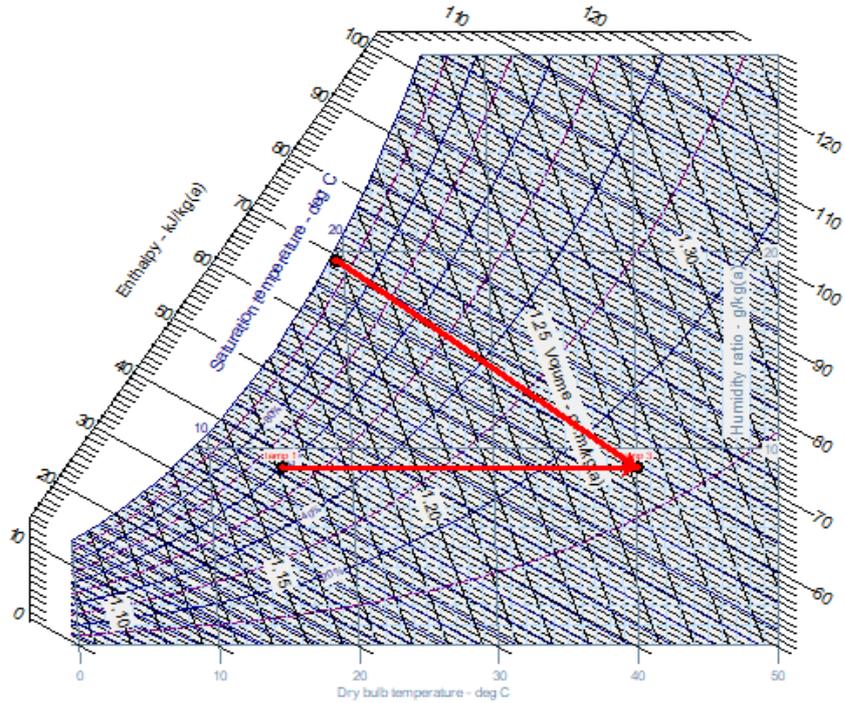


Figura 3-3: Carta Psicométrica para el cálculo de las propiedades del aire
Fuente: CYTSoft Psychometric Chart

Tabla 25-3: Propiedades del aire empleado

ESTADOS DEL AIRE	TEMPERATURA DE BULBO SECO (°C)	TEMPERATURA DE BULBO HUMEDO (°C)	CONTENIDO DE HUMEDAD (gH ₂ O/kg)	ENTALPIA (KJ/Kg)
Aire de entrada	15	10,27	9,014	38,02
Aire de secado	40	17,9	9,037	63,60
Aire de salida	19	19	19,54	54,47

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

La tasa de evaporización de agua es requerida es:

$$\Delta x = \frac{Ms}{t} * \left(\frac{Ho - HF}{100} \right) \quad (53)$$

$$\Delta x = \frac{230}{28800} * \left(\frac{90 - 12}{100} \right)$$

$$\Delta x = 0,0062 \text{ g/s}$$

El poder de vaporización del aire de secado que se requiere es:

$$W = 19 - 10,27 \quad (54)$$

$$W = 8,73 \frac{g_{H_2O}}{Kg_{As}}$$

El flujo másico del aire de secado requerido es:

$$m_{As} = \frac{\Delta x}{W} \quad (55)$$

$$m_{As} = \frac{0,0062}{10,52}$$

$$m_{As} = 5,89 * 10^{-3} \text{ kg/s}$$

Así la energía requerida para secar 2 kg de frutilla monterrey es:

$$Q = m_{As}(H_2 - H_1) \quad (56)$$

$$Q = 5,89 * 10^{-3} \text{ kg/s} (63,60 \text{ kJ/kg} - 38,02 \text{ kJ/kg})$$

$$Q = 0,151 \text{ kJ/s}$$

$$Q = 151 \text{ W}$$

Utilizamos la ecuación de eficiencias de Duffie y Beckman, determinamos el tamaño del colector solar que satisfaga el requerimiento energético para secar 2 kg de frutilla monterrey. Los calentadores solares para aire operan en un rango de eficiencia promedio de 20% a 45%, la radiación promedio de la ciudad de Riobamba de acuerdo a la estación meteorológica de la ESPOCH es de $500 \frac{W}{m^2}$. (Benitez Venalozza, y otros, 2018)

$$\eta = \frac{Q_u}{A_c I_t} \quad (57)$$

$$A_c = \frac{Q_u}{\eta I_t}$$

$$A_c = \frac{151 \text{ W}}{0,45 * 500 \text{ W/m}^2}$$

$$A_c = 0,671 \text{ m}^2$$

El área requerida para obtener 151 W de energía es $0,671 \text{ m}^2$, ya que tenemos definidas las dimensiones de la cámara de secado podemos obtener el largo de nuestro colector con la fórmula de área que es igual a la base por altura.

$$A_c = 0,671 \text{ m}^2 \quad (58)$$

$$b * a = 0,671 \text{ m}^2$$

$$a = \frac{0,671 \text{ m}^2}{b}$$

$$a = \frac{0,671 \text{ m}^2}{0,60 \text{ m}}$$

$$a = 1,12 \text{ m} \cong 1,2 \text{ m}$$

Procedemos a calcular el área transversal del colector, la velocidad del viento que se recomienda en el interior es de 0,5 a 1 m/s con esto aseguramos que el aire se caliente lo suficiente al pasar por el colector para calcular el área transversal de nuestro colector asignamos una velocidad de 0,89 m/s.

$$m_{As} = 5,89 * 10^{-3} \text{ kg/s}$$

$$\rho = 0,88 \text{ kg/m}^3$$

$$v = 0,89 \text{ m/s}$$

$$A_{trans} = b * a \quad (59)$$

$$m_{As} = \rho * A_{trans} * v \quad (60)$$

$$b * a = \frac{\rho * v}{m_{As}}$$

$$a = \frac{5,89 * 10^{-3} \text{ kg/s}}{0,88 \text{ kg/m}^3 * 1 \text{ m/s} * 0,60 \text{ m}}$$

$$a = 0,046 \text{ m} \cong 5 \text{ cm}$$

3.10. Determinación del material de la bancada para el secador solar

3.10.1. Análisis por flexión viga

Datos

$$m = 80 \text{ kg}$$

$$l = 1200 \text{ mm}$$

$$q = 653,33 \text{ N/m}$$

$$\sum F_y = 0 \tag{61}$$

$$R_a + R_b = 653,33 \text{ N/m} * 1,2 \text{ m}$$

$$R_a = R_b$$

$$2R_a = 783,99 \text{ N}$$

$$R_a = R_b = 391,99 \text{ N}$$

$$M = \frac{391,99 \text{ N} * 0,60 \text{ m}}{2}$$

$$M = 117,59 \text{ Nm}$$

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

$$\frac{S_y}{n} = \frac{M}{S}$$

$$\frac{250 \text{ MPa}}{1,25} = \frac{117,59 \text{ Nm}}{S}$$

$$S = 5,87 \times 10^{-7} m^3$$

$$S = 0,587 cm^3$$

Con este resultado vamos al catálogo del DIPAC y elegimos un tubo cuadrado de 30 x 30 x 1.2

3.10.2. Análisis por pandeo columnas

$$R_a'' = R_a * \cos 10^\circ \quad (62)$$

$$R_a'' = 391,99 N * \cos 10^\circ$$

$$R_a'' = 386,03$$

$$K = \sqrt{\frac{l}{A}} \quad (63)$$

$$K = \sqrt{\frac{1,91 cm^4}{1,38 cm^2}}$$

$$K = 1,17 cm$$

3.10.2.1. Relación de esbeltez

Determinamos la longitud que tendrá nuestra bancada para el secador solar, para lo cual nos guiamos en las normas ergonómicas de diseño de puesto de trabajo que nos indica para trabajos de baja intensidad la altura mínima es de 85 cm y máxima de 110 cm siendo este un trabajo de baja intensidad que no es repetitivo el cual se ara tan solo 2 veces al día por un periodo de tiempo de 1 a 2 minutos con la manipulación de 1 kg de peso que no representa mayor esfuerzo en el operario, escogemos 100 cm de altura para la bancada. (Recurso Nacional Canadiense de Seguridad y Salud Ocupacional, 2009)

$$\frac{L}{K} = \frac{0,95 m}{0,0117 m} = 81,19$$

Entonces

$$C = 2 \text{ Empotramientos}$$

Longitud efectiva

$$l_e = 0,7 * L \quad (64)$$

$$l_e = 0,7 * 0,95\text{m}$$

$$l_e = 0,67 \text{ m}$$

$$\frac{L}{k} = \sqrt{\frac{2\pi^2 * C * E}{S_y}} \quad (65)$$

$$\frac{L}{k} = \sqrt{\frac{2\pi^2 * 2 * 2x10^9}{2x10^6}}$$

$$\frac{L}{k} = 198,69$$

$P_{cr} = \text{Carga critica}$

$$P_{cr} = \frac{A * C * \pi * E}{\left(\frac{L}{k}\right)^2} \quad (66)$$

$$P_{cr} = \frac{1,38 * 2 * \pi * 2x10^9}{(81,19)^2}$$

$$P_{cr} = 1380,15$$

$$P_d = n * R_a$$

$$P_d = 1,25 * 386,03$$

$$P_d = 482,53$$

$P_{cr} > P_d$ **OK** El material elegido no falla por pandeo, se ratifica la elección del material.

3.11. Selección de los materiales para la construcción del secador solar

3.11.1. Materiales para el colector solar

Los materiales serán seleccionados de acuerdo a las características físicas que se requiera que posea el material

3.11.1.1. Cubierta del colector

La cubierta puede ser de vidrio o plástico transparente, de tal forma que deje pasar la radiación solar hacia la superficie absorbadora que es generalmente de metal

Tabla 26-3: Selección del tipo de material para la cubierta del colector solar

Material	Conductividad térmica k $W/m.K$	Calor específico c_p $kJ/kg.k$	Emisividad ε	Absortividad solar α_s	Transmisividad solar τ_s
Vidrio	23,33	0,75	0,9	-----	0,79
Plástico transparente	0,19	1465	0,8	0,67

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

3.11.1.2. Placa absorbadora del colector solar

Esta placa es de metal y debe ser de color oscuro, de tal manera que absorba la radiación incidente y la transforme en calor.

Tabla 27-3: Selección del tipo de material para la placa absorbadora del colector solar

Material	Conductividad térmica k $W/m.K$	Calor específico c_p $kJ/kg.k$	Emisividad ε	Absortividad solar α_s	Transmisividad solar τ_s
Aluminio	222	0,896	0,33	0,9	0,81
Acero inoxidable AISI 304	16,3	510	0,27	0,5	0,70

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

3.11.1.3. Aislante para el colector solar

Tabla 28-3: Selección del tipo de material para el aislante del colector solar

Material	Conductividad térmica k $W/m.K$	Calor específico c_p $kJ/kg.k$	Emisividad ε	Absortividad solar α_s	Transmisividad solar τ_s
Aislante de Poli estireno	0,04	1,2	-----	-----	-----
Espuma de poliuretano	0,026	-----	-----	-----	-----

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

3.11.2. Material para la cámara de secado

Tabla 29-3: Selección del tipo de material para el aislante del colector solar

Material	Conductividad térmica k $W/m.K$	Calor específico c_p $kJ/kg.k$	Emisividad ε	Absortividad solar α_s	Transmisividad solar τ_s
Madera (Pino)	0,115	1,38	0,90	0,59	-----
Acero inoxidable AISI 304	16,3	510	0,27	0,5	0,70

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

3.12. Designación de materiales para el secador solar

En la tabla 30-3 se detalla los materiales con sus propiedades físicas, los cuales han sido seleccionados por su alta conductividad térmica, absortividad, calor específico, ect con la finalidad de tener un mayor rendimiento en nuestro secador solar.

Tabla 30-3: Resultados del programa para el dimensionamiento del secador solar

Componentes principales	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto(mm)	Espesor (mm)	
Colector solar	1200	600	50	15	
Cámara de secado	306	600	285	15	
Designación de materiales para el colector solar y la cámara de secado					
Tipo de material	Propiedades físicas de los materiales de construcción utilizados en el secador solar (a una temperatura media de 24 °C)				
	Conductividad térmica k $W/m.K$	Calor específico c_p $kJ/kg.k$	Emisividad ϵ	Absortividad solar α_s	Transmisividad solar τ_s
Vidrio	23.33	0.75	0.9	-----	0.79
Aluminio	222	0.896	0.33	0.9	0.81
Aislante de Poli estireno	0.04	1.2	-----	-----	-----
Madera (Pino)	0.115	1.38	0.90	0.59	-----

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

3.13. Modelo matemático para la verificación del diseño del secador solar

El modelo matemático detallado en el capítulo II se ha implementado en el software Visual Basic mediante las ecuaciones y los parámetros ahí representados. El programa simula el funcionamiento del secador solar y tiene como fin calcular el rendimiento y las temperaturas de salida de la cámara y el colector solar. El programa desarrollado en Visual Basic está compuesto básicamente de tres bloques: el primer bloque se refiere a la declaración de variables y constantes donde se introduce los datos meteorológicos recolectados, el segundo bloque se refiere a la ejecución de la simulación mediante las funciones DO y LOOP WHILE donde se introduce las ecuaciones del modelo matemático detallado en el capítulo 2 y el tercer bloque se refiere a los resultados en la cámara y el colector solar donde se calcula la temperatura de salida y el rendimiento. A continuación, en el siguiente diagrama, se detalla la estructura del programa:

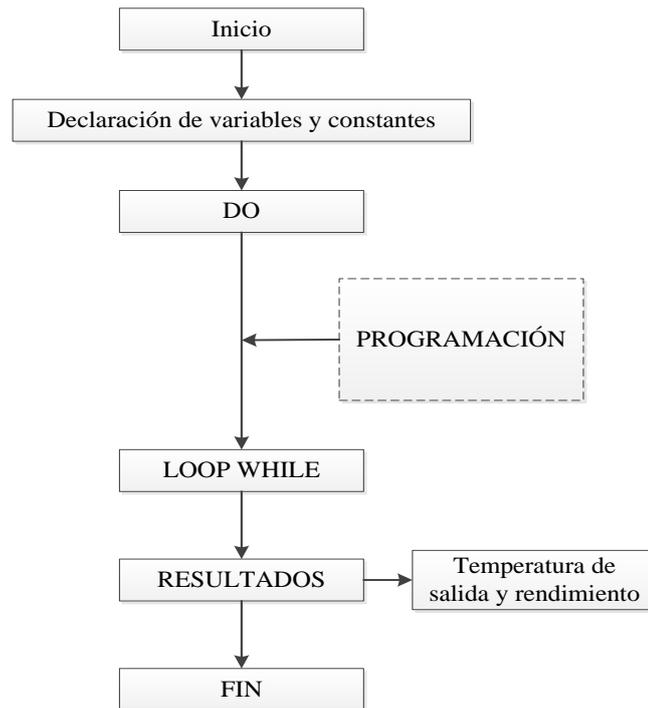


Grafico 12-3: Modelo matemático
 Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

3.13.1. Programación

La programación desarrollada en el software Visual Basic se detalla a continuación:

`Imports System.Int32`

`Imports System.Net.Mime.MediaTypeNames`

`Imports Microsoft.Office.Interop`

`Module Moduleps`

`Public Const Beta = 10`

`Public Const VELCONV = 0,89`

`Public Const LARGOCOL = 1`

`Public Const ANCHOCOL = 1`

`Public p_ta As Double`

`Public p_ma As Double`

`Public p_ts As Double`

Programacion del secador

```
Public Sub secador(ByVal ta As Double, ByVal tpm0 As Double, ByVal tmf0 As Double,  
ByVal v_beta As Double, ByVal v_velocidad As Double, ByVal v_velconv As Double, ByVal  
v_pat As Double, ByVal v_L As Double, ByVal v_A As Double, ByVal v_I As Double, ByRef  
ma As Double, ByRef S As Double, ByRef Qu As Double, ByRef Ut As Double, ByRef Ub As  
Double, ByRef ul As Double, ByRef tout As Double, ByRef rendi As Double, ByRef cpa As  
Double, ByRef Ac As Double, ByVal N As Double, ByVal Hu As Double)
```

```
Dim tmf, tpm As Double
```

```
Dim betag, betar, c, e1, hw, v, kais, eais, E1b, E2, csb, f As Double
```

```
Dim a, u, Dh, vc, Pa, p, densia, Re As Double
```

```
Dim nu, kv, h, hr, fp, Af, L, A1 As Double
```

```
Dim fp2, Fr, I, trans, abso As Double
```

```
tpm0 = ta + 20
```

```
tmf0 = ta + 15
```

```
tmf = tmf0 + 0,1
```

```
tpm = tpm0 + 0,1
```

```
While ((Math.Abs(tpm - tpm0)) >= 0.1) And ((Math.Abs(tmf - tmf0)) >= 0.1)
```

```
tmf = tmf0
```

```
tpm = tpm0
```

```
'obtencion de UL=coeficiente global de perdidas
```

```
'betag es la inclinacion del colector en grados puede ser 20,25,30,35,40
```

```
'betar es la inclinacion del colector en radianes
```

```
betag = v_beta
```

```
betar = (betag * 3.1415927) / 180
```

```
'v=velocidad del viento en m/s dato introducido de acuerdo a la zona que se encuentre
```

```
'hw=coeficiente de transferencia debido al viento entre la cubierta y el
```

```
'aire ambiente (W/m^2)
```

```
v = v_velocidad
```

```
hw = 2,8 + (3 * v)
```

'E1b es la emisividad de la cubierta dato de tablas.

'E2 es la emisividad de la superficie absorbadora (grados C) __Epl dato de tablas.

'csb= constante de steffan boltzmann, $5.67 \cdot (10^{-8})$ (W/m²*C⁴)

'kais=conductividad térmica dato de tabla (W/mC)

'eais=espesor del aislante (m)

'f=coeficiente ecuación constante

'c=coeficiente ecuación constante

'e1=coeficiente ecuación constante

$$kais = 0,04$$

$$eais = 0,018$$

$$E1b = 0,9$$

$$E2 = 0,33$$

$$csb = 5,67 * (10^{-8})$$

$$f = (1 + (0,089 * hw) - (0,1166 * hw * E2)) * (1 + 0,07866 * N)$$

$$c = 520 * (1 - 0,000051 * (betar^2))$$

$$e1 = 0,43 * (1 - (100 / tpm))$$

$$a = ((N / ((c / tpm) * (\text{Math.Abs}((tpm - ta) / (N + f)))^{e1}))) + (1 / hw))^{-1}$$

$$'a = ((N / ((c / tpm) * (\text{Math.Abs}((tpm - ta) / (N + f)))^{e1}))))$$

'Ut coeficiente global de perdidas del colector en la parte superior,

'Ub coeficiente global de perdidas del colector en la parte inferior,

'producidas por conveccion y radiacion

$$Ut = a + ((csb * (tpm + ta) * ((tpm^2) + (ta^2))) / (((E2 + 0,000591 * hw * N)^{-1}) + ((2 * N + f - 1 + 0,133 * E1b) / E1b) - N))$$

$$Ub = kais / eais$$

'densia= densidad del aire (kg/m³)

'Dh=longitud caracteristica en el colector(su diametro hidraulico m² superficies paralelas es el doble de la altura)

'velconv velocidad convectiva

'u viscosidad dinámica

'Pat presión atmosférica

$$u = (1,718 * 10^{-5}) + (4,62 * 10^{-8}) * t_a$$

$$D_h = 0,1$$

$$v_c = v_{velconv}$$

$$P_a = v_{pat}$$

$$p = 1013,25$$

$$densia = (0,34848 * P_a - 0,009 * H_u * \text{Math.Exp}(0,061)) / (273,15 + t_a) * (P_a / p) * (353,44 / (t_a + 273,15))$$

$$Re = (densia * v_c * D_h) / u$$

'Nu=numero de nusselt

$$nu = 0,0158 * (Re^{0.8})$$

'h= coeficientes convectivos

'Kv conductividad térmica del aire (W/mC)

$$k_v = 0,0244 + 0,7673 * 10^{-4} * t_a$$

$$h = nu * (k_v / D_h)$$

'hr coeficiente de radiacionentre la cubierta y la placa

$$h_r = (4 * c_{sb} * (t_{mf}^3)) / ((1 / E_2) + (1 / E_{1b}) - 1)$$

'Ul coeficiente global de pérdidas en el colector

$$u_l = ((U_b + U_t) * (2 * h_r * h + (h^2)) + (U_b * U_t * 2 * h)) / (2 * h_r * h + (h^2) + U_t * h)$$

h)

'Fp factor de eficiencia del colector

$$F_p = (1 + (U_l / (h + ((1/h) + (1/h_r))^{-1})))^{-1};$$

$$f_p = (((U_b + U_t) * (2 * h * h_r + (h^2))) + (U_b * U_t * 2 * h)) / (u_l * ((U_t + h_r + h) * (U_b + h_r + h) - (h_r^2)))$$

'caudal másico del aire

'Af sección transversal del colector

$$A_f = 0.05$$

$$ma = Af * densia * vc$$

'Fp2 factor de flujo del colector

'cpa (J/kgC)

'Ac superficie del colector(m^2)

$$L = v_L$$

$$A1 = v_A$$

$$Ac = L * A1$$

$$cpa = 999,2 + 0,1434 * ta + 1,101 * 10^{-6} - 6,7581 * (10^{-8}) * ta^3$$

$$fp2 = ((ma * cpa) / (Ac * ul * fp)) * (1 - (\text{Math.Exp}(-((Ac * ul * fp) / (ma * cpa))))))$$

'Fr factor de disipación del calor

$$Fr = fp * fp2$$

'S radiación absorbida por la placa para la inclinación del colector

'trans transmisividad de la cubierta de vidrio por tabla

'abso absorptividad de la placa de aluminio negro por tabla

'I = radiación incidente

$$I = v_I$$

$$trans = 0,81$$

$$abso = 0,9$$

$$S = I * 1,02 * trans * abso$$

'Qu calor util

$$Qu = Ac * Fr * (S - ul * (tmf - ta))$$

'tmf0 y tpm0 recalculados

$$tmf0 = ta + (Qu / (Ac * Fr * ul)) * (1 - fp2)$$

$$tpm0 = ta + (Qu / (Ac * Fr * ul)) * (1 - Fr)$$

' MessageBox.Show(ta, "ta")

' MessageBox.Show(Qu, "qu")

' MessageBox.Show(Ac, "Ac")

' MessageBox.Show(Hu, "Hu")

' MessageBox.Show(densia, "densia")

' MessageBox.Show(hr, "hr")

End While

tout = ta + (Qu / (ma * cpa))

If I > 0 Then

 rendi = Qu * (100 / (I * Ac))

Else

 rendi = 0.0

End If

End Sub

Programacion de la camara

```
Public Sub tass2(ByVal mpi1 As Double, ByVal mpi2 As Double, ByVal cpp1 As Double,  
ByVal cpp2 As Double, ByVal tase As Double, ByVal mas As Double, ByVal cpas As Double,  
ByVal mp1 As Double, ByVal Mo1 As Double, ByVal B As Double, ByVal mp2 As Double,  
ByVal Mo2 As Double, ByVal Ta As Double, ByRef Tass As Double, ByRef Tp1 As Double,  
ByRef Tpi1 As Double, ByRef Tpi2 As Double, ByRef Tiempo As Double)
```

```
    Dim hap1, hap2, t, Tpe1, Tpe2, Ap1, Ap2, ms1, ms2, Spi1, Spe1, Spi2, Spe2, kpi1, kpi2,  
Cpi1, Cpi2, Tr, hapi1, hapi2, hmedpe1, hmedpe2 As Double
```

```
    Dim Lu, A, epi1, epi2, ep1, q, exp, kprima1, kprima2, mais, cpais, kais, aais As Double
```

```
    Dim hr, W, X, Y, Z, e1, k, m, Qm, am, a1, bm, b1, g, h, j, j2, E, Tasmmed As Double
```

```
    Dim Tp2 As Double
```

```
    'REvisado 15/07/2019
```

```
    ' prueba
```

```
    'mpi1 = 7,73
```

```
    'mpi2 = 5,85
```

```
    'cpp1 = 0,212
```

```
    'cpp2 = 0,212
```

```
    'tase = 35
```

```
    'mas = 0,8
```

```
    'cpas = 1010
```

```
    'mp1 = 2
```

```
    'Mo1 = 0,6
```

```
    'B = -0,0042
```

```
    'mp2 = 2
```

```
    'Mo2 = 0,6
```

```

'Ta = 22
'fin prueba

exp = 2,71828
hap1 = 0,9
ms1 = mp1 * (1 - Mo1) '% de humedad masa seca
ms2 = mp2 * (1 - Mo2)
'cpp1 = 1,159 * ms1 + 4,187 * mp1 * Mo1
'cpp2 = 1,159 * ms2 + 4,187 * mp2 * Mo2
hap2 = 0,9
't = (0,85 * 0,5 * 0,5) / mas      se reemplaza tiempo constante por un valor de archivo o
leido
t = Tiempo
Tpe1 = Ta

Ap1 = 0,27
Ap2 = 0,249
' hp1 = 0,9
' hp2 = 0,9
Spi1 = 0,16
Spe1 = 0,0299
Spi2 = 0,074 ' superficie de la pared opaca
Spe2 = Spi2
kpi1 = 23,33
kpi2 = 0,12
Cpi1 = 750
Cpi2 = 1380
kais = 0,12
cpais = 1380
mais = 1,608
aais = kais * Spi2 / (cpais * mais)
Tpe2 = tase * (1 - Math.Exp(B * t)) + Ta * Math.Exp(B * t)
'MessageBox.Show(Tpe2, "Tpe2")
Tr = 0,0552 * ((Ta + 273,15) ^ 1,5) - 273,15
'MessageBox.Show(Tr, "tr")
hapi1 = 9,09

```

```

hapi2 = 9,09
hmedpe1 = 16,67
hmedpe2 = 16,67
Lu = 2400000
'A = -0,1043 '0,28 * 0,89  revisar esta variable el uso
epi1 = 0,006
epi2 = 0,006
ep1 = 0,8
q = 5,6704 ^ -8

```

```

' prueba de a y b luego modificar como parametros
A = -0,0089 * tase + 0,6048
B = -0,0036 * tase - 0,106
' fin prueba de a y b luego modificar como parametros

```

Try

```

hr = ep1 * q * ((Tpe1) ^ 2 + (Tr ^ 2)) * (Tpe1 + Tr)
W = (hap1 * Ap1) / (mas * cpas)
X = (hap2 * Ap2) / (mas * cpas)
Y = (hapi1 * Spi1) / (mas * cpas)
Z = (hapi2 * Spi2) / (mas * cpas)
e1 = (hapi2 * Spi2) / (mpi2 * Cpi2) 'en el modelo l
k = (kpi2 * Spi2) / (mpi2 * Cpi2)
m = (hmedpe2 * Spe2) / (mpi2 * Cpi2)
Qm = k * Tpe2 + e1 * tase + m * (Ta - Tpe1)      ' en el modelo q
'MessageBox.Show(mpi2, "mpi2")
'MessageBox.Show(e1, "e1")
'Tpi2 = (tase * (exp ^ (-(k + e1) * t))) + ((Qm / (k + e1)) * (1 - exp ^ (-(k + e1) * t)))
'Tpi2 = (tase * (Math.Exp(-(k + e1) * t))) + ((Qm / (k + e1)) * (1 - Math.Exp(-(k + e1) *
t)))
'MessageBox.Show(k, "k")
' Qm = (k / (k + e1))
'MessageBox.Show(Qm, "Qm")
'MessageBox.Show(tase, "tase")

```

```

Tpi2 = (Qm / (k + e1)) * (1 - (Math.Exp(-(k + e1) * t))) + tase * (Math.Exp(-(k + e1) *
t))
'MessageBox.Show(Tpi2, "tpi2")
am = (hap1 * Ap1) / (mp1 * cpp1) ' en el modelo a
a1 = (hap2 * Ap2) / (mp2 * cpp2) ' en el modelo c
bm = (ms1 * Lu * Mo1 * B * (exp ^ (A))) / (mp1 * cpp1) 'en el modelo b
b1 = (ms2 * Lu * Mo2 * B * (exp ^ (A))) / (mp2 * cpp2) 'en el modelo d
'MessageBox.Show(bm, "bm")
'MessageBox.Show(b1, "b1")
'MessageBox.Show(B, "B")
'MessageBox.Show(a1, "a1")
Tp1 = tase - (bm / (B + am)) * (Math.Exp(B * t) - Math.Exp(-am * t))
If (mp1 = 0) Then
    Tp1 = tase
End If

' Tp1 = (bm / (1 + am)) * ((exp ^ (t)) - (exp ^ (-am * t))) + tase
' Tp1 = (bm / (am - B)) * ((Math.Exp(t)) - (Math.Exp(-am * t))) + tase
***** Se efectuo cambio (am - B) por (1-am)
Tp1 = ((bm / (am - B)) * (1 - Math.Exp((-B) * t)) - ((am * tase) * (1 - Math.Exp((-am) *
t)))) + Ta

'MessageBox.Show(t, "t")
Tp1 = tase * (1 - Math.Exp((-am) * t)) - ((bm / (B + am)) * (Math.Exp(B * t) -
Math.Exp(-am * t))) + Ta * Math.Exp((-am) * t)
Tp1 = -(bm / (B + am)) * (Math.Exp(B * t) - Math.Exp(-am * t))

'MessageBox.Show(Tp1, "tp1")
g = (kpi1 * Spi1) / (mpi1 * Cpi1)
h = (hapi1 * Spi1) / (mpi1 * Cpi1)
j2 = (hr * Spe1) / (mpi1 * Cpi1)
j = (hmedpe1 * Spi1) / (mpi1 * Cpi1)

'MessageBox.Show(Tr, "Tr")
'MessageBox.Show(Spe1, "spe1")

```

```
'MessageBox.Show(j2, "j2")
```

```
'MessageBox.Show(Cpi1, "cpi1")
```

```
E = g * Tpe1 + h * tase + j2 * (Tr - Tpe1) + j * (Ta - Tpe1)
```

```
'MessageBox.Show(E, "E")
```

```
' Tpi1 = (E / (g + h)) * (1 - (Math.Exp(-(g + h) * t))) + (Ta * (Math.Exp(-(g + h) * t)))
```

```
Tpi1 = (E / (g + h)) * (1 - (Math.Exp(-(g + h) * t))) + tase * (Math.Exp(-(g + h) * t))
```

```
'MessageBox.Show(Tpi1, "tpi1")
```

```
'MessageBox.Show(Tpi1, "tpi1")
```

```
'If (Tp1 < Ta) Then
```

```
' Tp1 = Ta
```

```
'End If
```

```
' If (Tpi1 < Ta) Then
```

```
'Tpi1 = Ta
```

```
'End If
```

```
'If (Tpi2 < Ta) Then
```

```
'Tpi2 = Ta
```

```
'End If
```

```
'Tass = (tase - W * (tase - Tp1) + X * (b1 / (a1 - B)) * (1 - Math.Exp(-B * t)) - X * (tase /  
2) * (1 + a1 * (1 - Math.Exp(-a1 * t))) + X * Ta - Y * (tase - Tpi1) - Z * (tase - Tpi2)) / (1 + (X /  
2) * (1 + (a1 - Math.Exp(-a1 * t))))
```

```
' MessageBox.Show(W, "W")
```

```
'MessageBox.Show(Y, "Y")
```

```
'MessageBox.Show(Z, "Z")
```

```
kprima1 = W * (tase - Tp1) + Y * (tase - Tpi1) + Z * (tase - Tpi2)
```

```

kprima2 = X * ((b1 / (B + a1)) * (Math.Exp(-a1 * t) - Math.Exp(B * t)) + ((tase *
((Math.Exp(-a1 * t) + 1)) / 2))
' Tass = tase - (1 / (1 + (Math.Exp(-c * t)) / 2)) * (kprima1 + kprima2)
'MessageBox.Show(X, "X")
'MessageBox.Show(-a1, "a1")
'MessageBox.Show(t, "t")
'MessageBox.Show(kprima1, "kprima1")
'MessageBox.Show(kprima2, "kprima2")
'Tass = (1 / (1 + (X / 2) * (Math.Exp(-a1 * t)))) * ((tase * (1 - (X / 2) * Math.Exp(-a1 *
t))) - (kprima1 + kprima2))
'Tass = (1 / (1 + (X / 2) * (Math.Exp(-a1 * t)))) '
Tass = (1 / (1 + (X / 2) * (1 - Math.Exp(-a1 * t)))) * (tase - (kprima1 + kprima2))
'MessageBox.Show(Tass, "tass")
If (mp2 = 0) Then
    Tass = (1 / (1 + (X / 2))) * (tase - (kprima1 + (X * tase / 2)))
End If

' ***** codigo agregado
If (Tass < Ta) Then
    Tass = Ta
End If

'i = (hmedpe1 * Spe1) / (mpi1 * Cpi1)

' ***** fin de codigo agregado
Tasmed = (tase + Tass) / 2
'Tp2 = (b1 / (1 + a1)) * ((exp ^ (t)) - (exp ^ (-a1 * t))) + Tasmed *****
Cambio en el tp2
Tp2 = (b1 / (a1 + B)) * ((Math.Exp(-a1 * t) - Math.Exp(B * t))) + Tasmed * (1 -
Math.Exp(-a1 * t)) + tase * Math.Exp(-a1 * t)
' c1 = a1 * Tasmed
'MessageBox.Show(Tp2, "tp2")
If (mp2 = 0) Then
    Tp2 = Tasmed
End If
Catch ex As Exception

```

MessageBox.Show("Problemas al realizar el cálculo, revisar parámetros", "Saludos")

End Try

End Sub

End Module

3.14. Interfaz del programa

El programa posee una interfaz para el colector y la cámara de secado.

3.14.1. Interfaz para el colector

La interfaz del colector tiene 4 componentes:

- **Parámetros estáticos:** Donde el usuario introduce las dimensiones del colector.
- **Parámetros dinámicos:** Donde introduce los datos meteorológicos de la ciudad de Riobamba.
- **Cálculos:** El programa calcula las siguientes variables: m_a el caudal másico de aire (Kg/s), S la energía absorbida por la placa (W/m^2), Q la ganancia de calor útil por unidad de área del colector (W), U_L el coeficiente global de las pérdidas en el colector ($W/m^2\text{°C}$), U_t pérdidas por convección y radiación ($W/m^2\text{°C}$) y el de la parte inferior U_b pérdidas por características del aislante ($W/m^2\text{°C}$).
- **Resultados finales:** El programa calcula la temperatura de salida ($^{\circ}C$), y el rendimiento del colector.

En la siguiente figura se observa la interfaz del colector solar.

The screenshot displays a software interface for a solar collector simulation, organized into four main sections:

- Parametros Estáticos:** Includes input fields for Beta (degrees), No. Cubiertas (m/s), Largo del colector (m), and Ancho del colector (m).
- Parametros dinámicos:** Includes input fields for Temp. Ambiente (°C), Presión Atmosférica (mBar), Velocidad Colector, Rad. Incidente (w/m2), and Velocidad Viento (m/s).
- Cálculos:** Displays calculated values for m_a , S , and Q .
- Resultados Parciales:** Displays calculated values for U_t and U_b .
- Resultados Finales:** Displays the final output for Temperatura Salida and Rendimiento.

A "Calcular" button is located at the bottom right of the interface.

Figura 4-3: Interfaz del colector solar

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

3.14.2. Interfaz para la cámara de secado

La interfaz para la cámara de secado consta de dos componentes:

- **Parámetros:** El usuario introduce los datos necesarios (ratio de secado, temperaturas, masa, humedad) a fin de calcular la temperatura de salida de la cámara. Además pulsando en la opción “*obtener parámetros*” se obtiene de forma automática los datos para lo cual el programa utiliza la información ingresada en la interfaz del colector solar.

Cabe mencionar que la capacidad de la cámara de secado se expresa en los kilogramos del producto que se pretende secar cuyos datos por ser una variable independiente del diseño se ingresa según las necesidades del diseñador en las opciones del interfaz denominadas *Masa prod ban sup* y *Masa prod bandeja inf*.

Figura 5-3: Interfaz de la cámara de secado
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

3.15. Ejecución del programa

3.15.1. Colector solar

Las dimensiones del colector y los datos meteorológicos de la ciudad de Riobamba recolectados anteriormente se ingresan en la sección parámetros estáticos y dinámicos como se puede observar en la siguiente figura.

Parametros Estáticos					
Beta	10	°	Largo del colector	1.20	m
No. Cubiertas	1	m/s	Ancho del colector	0.60	m
Parametros dinámicos					
Temp. Ambiente	15	° c	Rad. Incidente	500	w/m ²
Presión Atmosférica	728	mBar	Velocidad Viento	3	m/s
Velocidad Colector	0.89				
Calculos		Resultados Parciales			
Ma	0.039178754398	U _l	4.672640602541		
S	371.79	U _r	2.631936882193		
Q	152.3113255281	U _b	2.222222222222		
Resultados Finales					
Temperatura Salida	18.8401329901393	Rendimiento	42.3087015355872		
<input type="button" value="Calcular"/>					

Figura 6-3: Ejecución del programa, colector solar
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

El modelo matemático establece que para el secado adecuado de la frutilla la temperatura de salida en el colector debe ser de 18,84°C. Además se concluye que el rendimiento del colector solar en la ciudad de Riobamba de acuerdo a sus parámetros meteorológicos es del 42%, este resultado es razonable debido a que el clima de la ciudad generalmente es frío.

3.15.2. Cámara de secado

Se ingresa el ratio de secado calculado anteriormente, posteriormente se pulsa sobre “obtener parámetros” y se obtiene la temperatura, el caudal, el calor específico, la masa de pared traslúcida y la masa de pared opaca. Los datos de masa de la bandeja superior e inferior se introducen y es 1 kilogramo respectivamente, además se introduce el porcentaje humedad que se desea retirar de la frutilla que es 83,63% de la humedad total. Finalmente se pulsa sobre “calcular” y se obtiene una temperatura en la cámara de secados del 18,73°C como se puede observar en la siguiente figura.

Parámetros

Ingresar

Temperatura Mínima Temperatura Máxima

Calculado
El parámetro del radio de secado

a b c

Temperatura del aire a la entrada Masa de pared translúcida

Temperatura ambiente Masa de la pared opaca

Caudal másico del aire seco Masa prod. band. sup

Calor específico del aire Masa prod. bandeja inf

Tiempo Contenido de humedad del producto 2

Contenido de humedad del producto 1

Temperatura de Salida de la Cámara

Obtener Parámetros Calcular

Figura 7-3: Ingreso de parámetros
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

La temperatura de la cámara de secado incrementa de acuerdo al tiempo en que se encuentra en uso el secador solar, a continuación se detalla como varía la temperatura en 8 horas de uso. Para lo cual se ingresa el tiempo en el programa y se pulsa sobre “calcular” y se obtiene el resultado. En un tiempo de una hora, la temperatura de salida en la cámara de secado es de 30,56°C como se observa en la siguiente figura.

Parámetros

Ingresar

Temperatura Mínima Temperatura Máxima

Calculado
El parámetro del radio de secado

a b c

Temperatura del aire a la entrada Masa de pared translúcida

Temperatura ambiente Masa de la pared opaca

Caudal másico del aire seco Masa prod. band. sup

Calor específico del aire Masa prod. bandeja inf

Tiempo Contenido de humedad del producto 2

Contenido de humedad del producto 1

Temperatura de Salida de la Cámara

Obtener Parámetros Calcular

Figura 8-3: Temperatura de salida, tiempo 1 hora
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

En un tiempo de dos horas, la temperatura de salida en la cámara de secado es de 39,00°C como se observa en la siguiente figura.

Figura 9-3: Temperatura de salida, tiempo 2 horas
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

En un tiempo de tres horas, la temperatura de salida en la cámara de secado es de 44,74°C como se observa en la siguiente figura.

Figura 10-3: Temperatura de salida, tiempo 3 horas
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

En un tiempo de cuatro horas, la temperatura de salida en la cámara de secado es de 48,35°C como se observa en la siguiente figura.

Parámetros

Ingresar

Temperatura Mínima: Temperatura Máxima:

Calculado

B parámetro del radio de secado:

a: b: c:

Temperatura del aire a la entrada: Masa de pared traslúcida:

Temperatura ambiente: Masa de la pared opaca:

Caudal másico del aire seco: Masa prod. band. sup.:

Calor específico del aire: Masa prod. bandeja inf.:

Tiempo: Contenido de humedad del producto 2:

Contenido de humedad del producto 1:

Temperatura de Salida de la Cámara:

Obtener Parámetros Calcular

Figura 11-3: Temperatura de salida, tiempo 4 horas
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

En un tiempo de cinco horas, la temperatura de salida en la cámara de secado es de 50,26°C como se observa en la siguiente figura.

Parámetros

Ingresar

Temperatura Mínima: Temperatura Máxima:

Calculado

B parámetro del radio de secado:

a: b: c:

Temperatura del aire a la entrada: Masa de pared traslúcida:

Temperatura ambiente: Masa de la pared opaca:

Caudal másico del aire seco: Masa prod. band. sup.:

Calor específico del aire: Masa prod. bandeja inf.:

Tiempo: Contenido de humedad del producto 2:

Contenido de humedad del producto 1:

Temperatura de Salida de la Cámara:

Obtener Parámetros Calcular

Figura 12-3: Temperatura de salida, tiempo 5 horas
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

En un tiempo de seis horas, la temperatura de salida en la cámara de secado es de 50,88°C como se observa en la siguiente figura.

Figura 13-3: Temperatura de salida, tiempo 6 horas
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

En un tiempo de siete horas, la temperatura de salida en la cámara de secado es de 50,51°C como se observa en la siguiente figura.

Figura 14-3: Temperatura de salida, tiempo 7 horas
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

En un tiempo de ocho horas, la temperatura de salida en la cámara de secado es de 49,39°C como se observa en la siguiente figura.

The screenshot shows a software interface with the following fields and values:

- Ingresar:**
 - Temperatura Mínima: [Empty]
 - Temperatura Máxima: [Empty]
- Calculated:**
 - Calculado
 - B parámetro del radio de secado: 0
 - a: -0.0036
 - b: -0.106
 - c: [Empty]
- Input Fields:**
 - Temperatura del aire a la entrada: 18.840
 - Temperatura ambiente: 15
 - Caudal másico del aire seco: 0.039
 - Calor específico del aire: 1010
 - Tiempo: 8
 - Masa de pared traslúcida: 7.73
 - Masa de la pared opaca: 5.85
 - Masa prod. band. sup: 1
 - Masa prod. bandeja inf: 1
 - Contenido de humedad del producto 2: 0.8
 - Contenido de humedad del producto 1: 0.8
- Output:**
 - Temperatura de Salida de la Cámara: 49.3907290568261
- Buttons:**
 - Obtener Parámetros
 - Calcular

Figura 15-3: Temperatura de salida, tiempo 8 horas
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

En resumen, en la siguiente tabla se muestra los resultados de temperatura obtenidos.

Tabla 31-3: Temperatura obtenida

Tiempo (horas)	Temperatura en la cámara (°C)
1	30,56
2	39,00
3	44,74
4	48,35
5	50,26
6	50,88
7	50,51
8	49,39

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

Con los datos obtenidos se obtiene la curva de temperatura de la cámara de secado. Se observa que durante 8 horas de funcionamiento del secador a una temperatura ambiente alcanza una temperatura mínima de 30,56°C y una temperatura máxima de 50,88°C como se puede observar en la siguiente grafica.

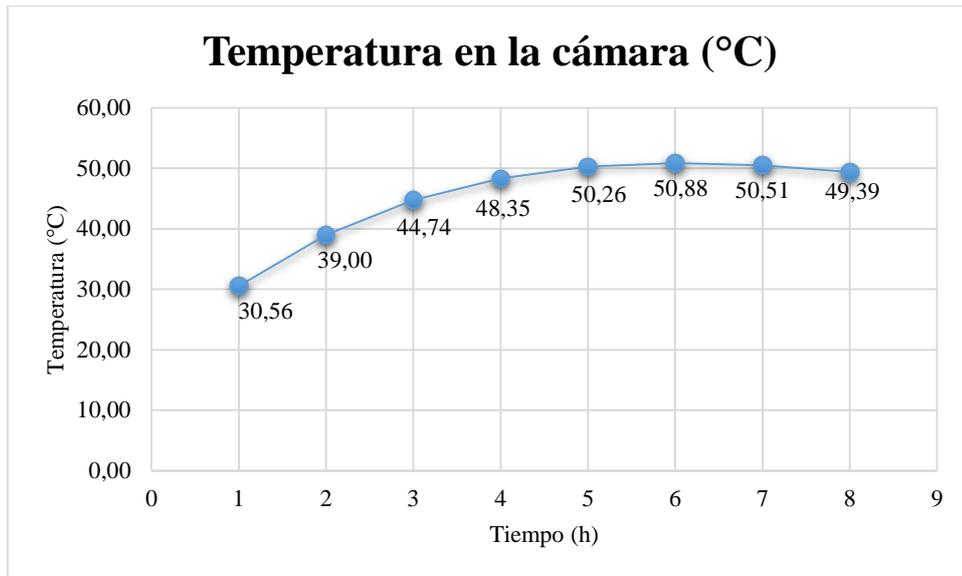


Gráfico 13-3: Curva de secado
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

Mediante el modelo matemático se obtiene que para la ciudad de Riobamba en la que se presentan los siguientes datos climatológicos: temperatura ambiente de 15°C, radiación solar de 500 W/m², presión atmosférica de 728 mBar y velocidad del viento de 3 m/s; la temperatura adecuada para el proceso de secado de frutilla se encuentra en un intervalo de 30,56 °C a 50,88 °C.

3.16. Modelado CAD

El modelo del secador solar se basa en el diseño desarrollado por Arquimídes Haro en su trabajo denominado “Dinámica del Secador Solar en el Altiplano Ecuatoriano” debido a que aquel secador solar fue diseñado bajo condiciones físicas y meteorológicas de la ciudad de Riobamba, que corresponde a la misma zona de aplicación del presente trabajo de titulación.

El modelo se realizó en el programa de diseño Solidworks y el resultado se muestra en la siguiente figura:

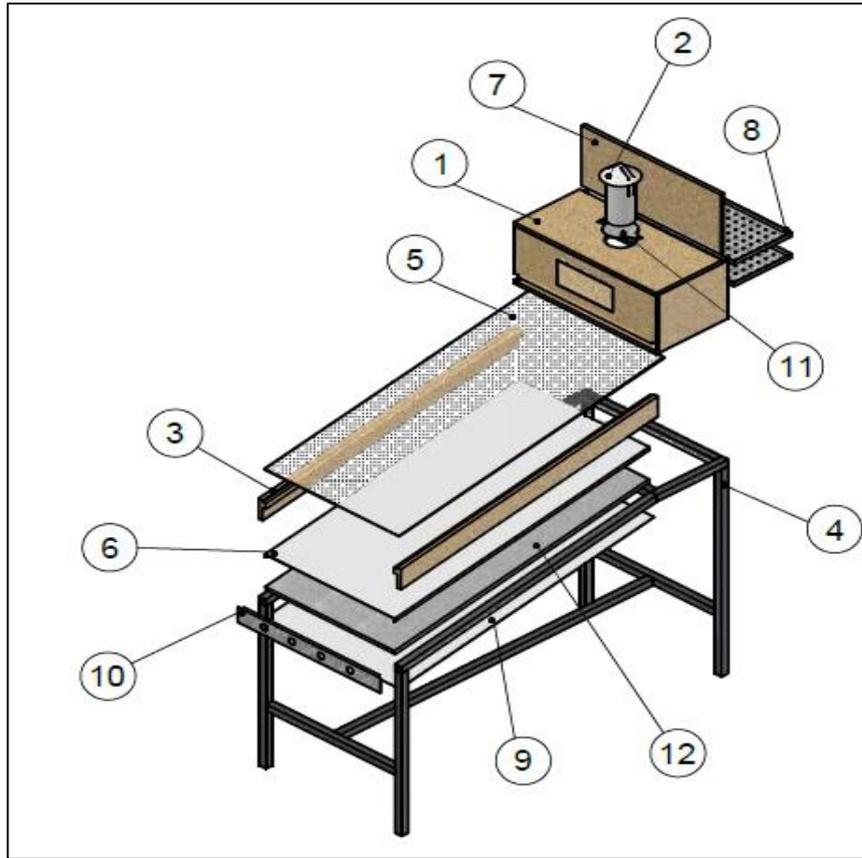


Figura 16-3: Modelado CAD
 Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

El secador está compuesto por doce componentes fabricados en diversos materiales como se detalla en la *Tabla 32-3. Componentes del secador solar.*

Tabla 32-3: Componentes del secador solar

N° DE ELEMENTO	N° DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Cámara de Secado	Madera, Vidrio y Hierro	1
2	Chimenea	Aluminio	1
3	Marco	Madera	1
4	Soporte	Hierro	1
5	Lámina de vidrio	Vidrio	1
6	Lámina de Aluminio	Aluminio	1
7	Puerta Cámara de Secado	Madera y hierro	1
8	Bandeja	Aluminio	2
9	Cubierta para aislante	Aluminio	1
10	Reductor entrada de aire	Aluminio	1
11	Regulador Salida de Aire	Aluminio	1
12	Aislante	Poliestireno	1

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

Las dimensiones de cada componente se detallan en los planos del secador solar descritos en el Anexo B. Para el modelo matemático en el software Visual Basic se requiere las medidas del largo y ancho del colector, 1,20 m x 0,6 m las que previamente fueron calculadas.

3.16.1. Análisis térmico

El análisis térmico en el software Solidworks se realiza con el fin de determinar la temperatura en la cámara de secado y comparar los resultados obtenidos mediante el modelo matemático, para lo cual en primer lugar se determina la trayectoria del flujo del calor en el interior del secador solar que va desde la entrada del colector hasta la salida de la cámara de secado como se muestra en la siguiente figura.

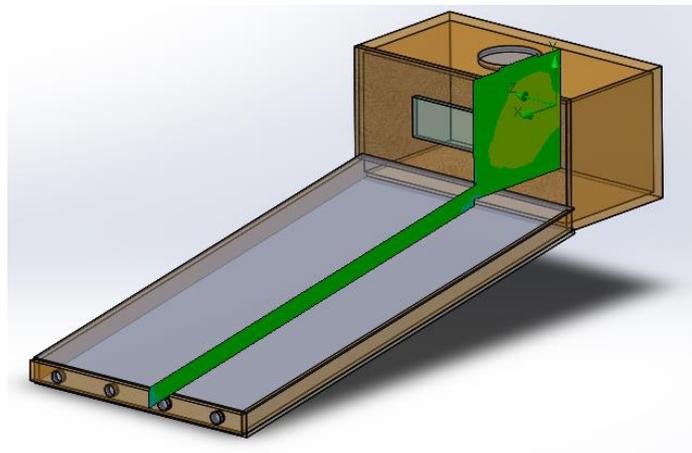


Figura 17-3: Análisis térmico, flujo del calor
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

Posteriormente, se delimita el espacio que contiene el calor dentro del colector y la cámara de secado como se detalla en la siguiente figura.

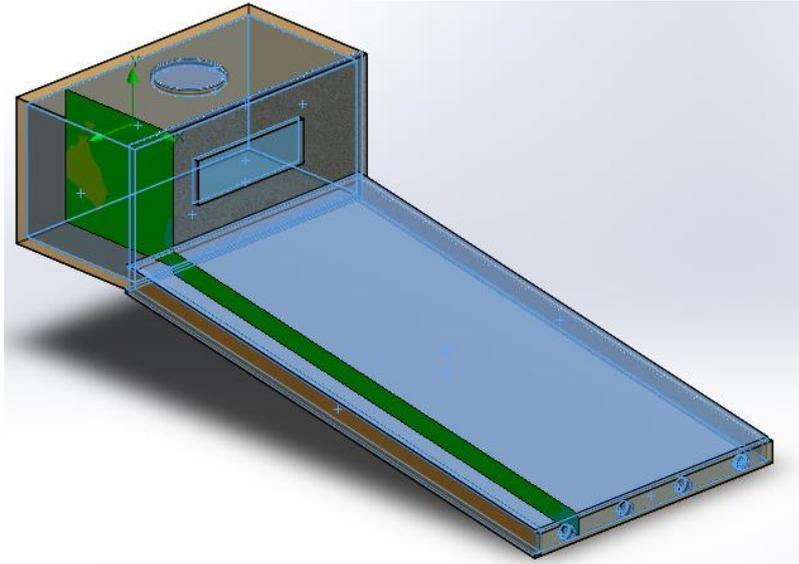


Figura 18-3: Análisis térmico, delimitación del espacio
 Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

Finalmente se obtiene el valor de la temperatura en el interior del secador solar, como se puede observar el color que predomina en el interior es el verde que corresponde a una temperatura de 50 °C.

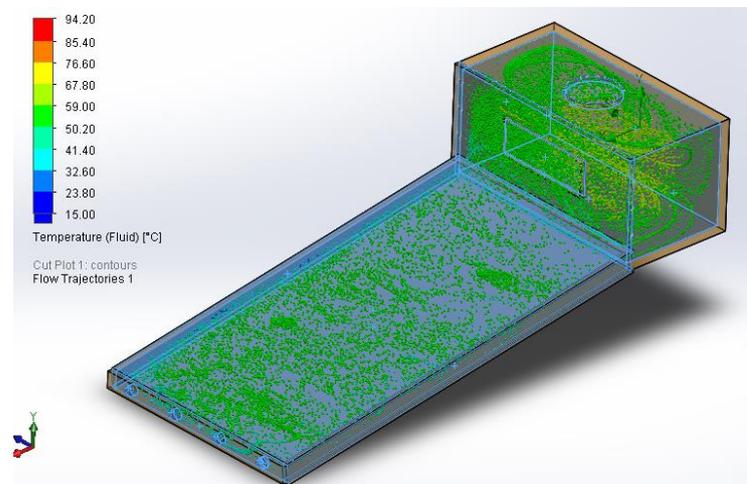


Figura 19-3: Análisis térmico, temperatura
 Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

3.16.2. Análisis estático de la bancada para el secador solar

El análisis estático de la bancada mediante el cálculo del factor de seguridad realiza la simulación del comportamiento de las cargas estáticas que se presentan en el secador solar las cuales son el el peso de los componentes de la máquina sumado al peso de la carga de producto que se pretende secar. El análisis estático se realiza en el software Solidworks. Primero se realiza el modelo de la

estructura y se coloca en la estructura los pesos que esta soporta como se detalla en la siguiente figura.

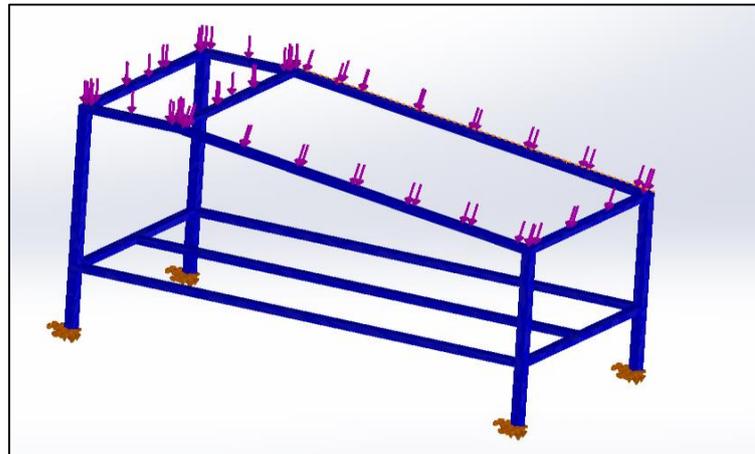


Figura 20-3: Modelado de la estructura
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

Una vez realizado el modelado y la asignación del peso que soporta la estructura, se analiza la presión que se ejerce sobre la misma, como se muestra en la siguiente figura, en la cual se determina una esfuerzo máxima de 15,52 MPa.

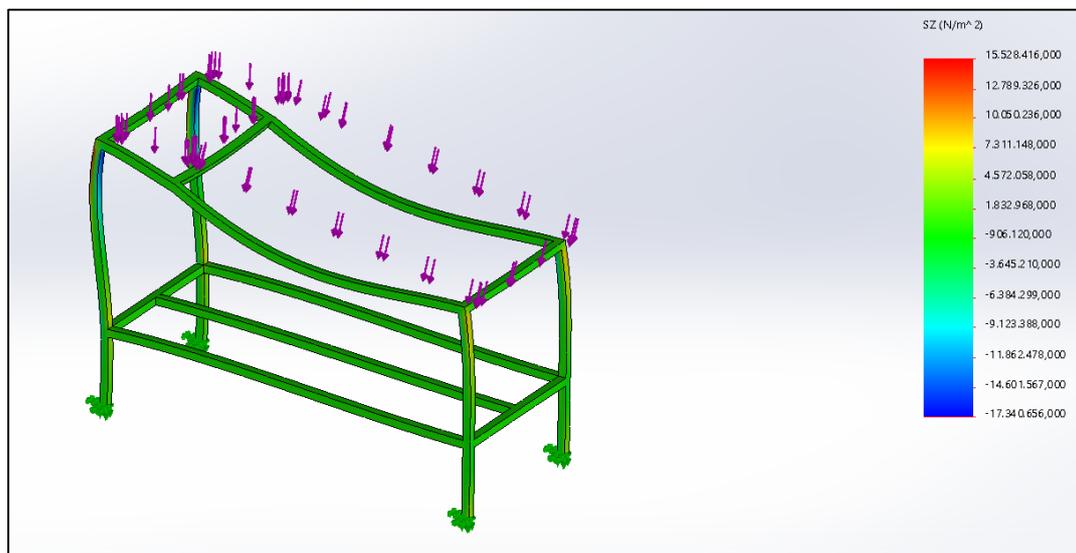


Figura 21-3: Análisis de la presión
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

Como resultado de la presión que ejercen los componentes en la bancada se obtiene una deformación máxima de 0,03445 mm en el sector donde se localiza la cámara de secado. Esta deformación es imperceptible para el ojo humano.

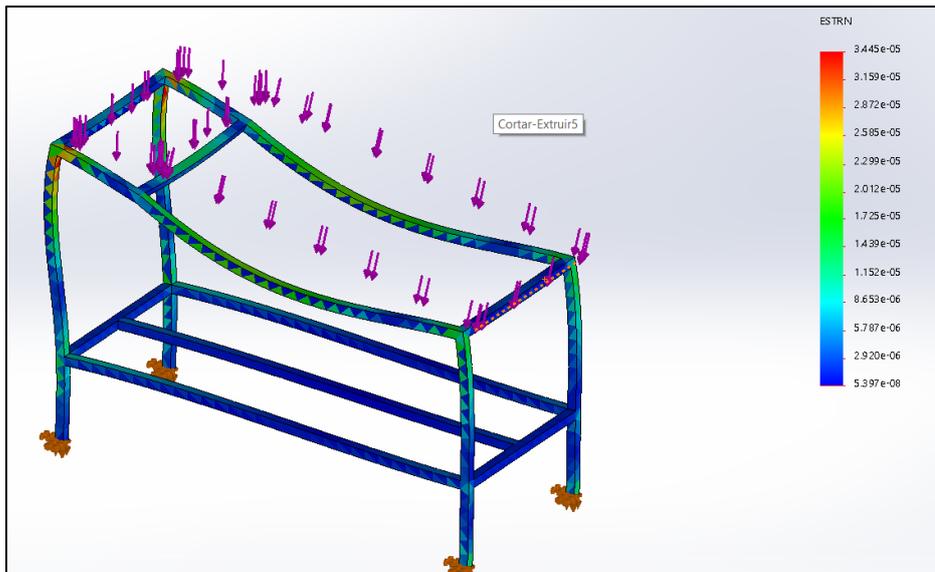


Figura 22-3: Análisis de la deformación
 Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

Finalmente se determina el factor de seguridad, el cual debe ser mayor que uno para afirmar que la estructura soportará sin ningún inconveniente la carga estática a la que estará sometida. Mediante el análisis se calcula un factor de seguridad igual a 12,09 como se muestra en la siguiente figura.

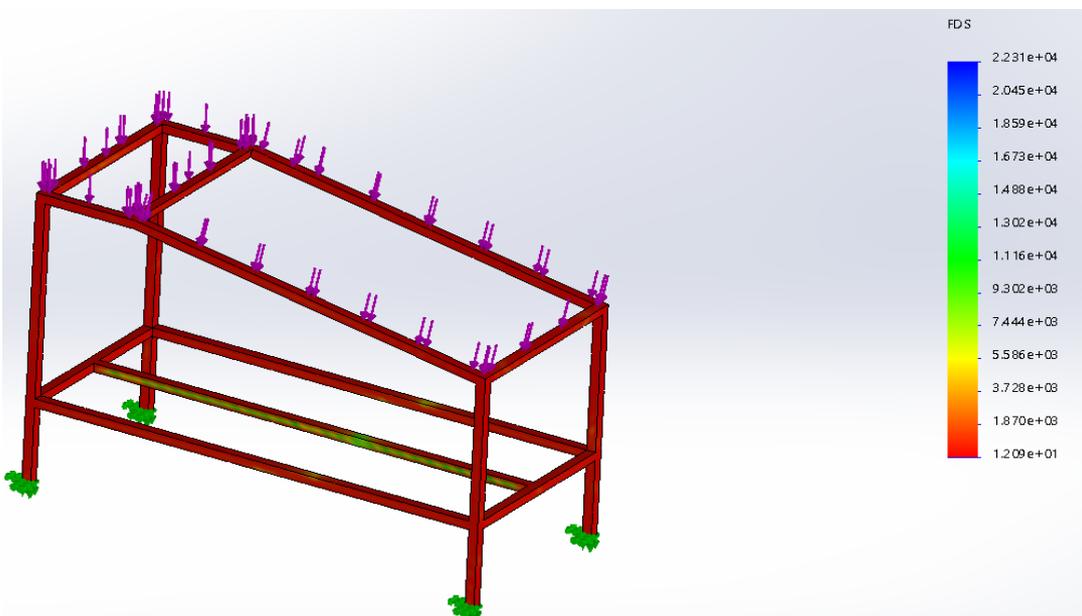


Figura 23-3: Análisis del factor de seguridad
 Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

CAPÍTULO IV

4. CONSTRUCCIÓN DEL SECADOR SOLAR

El secador solar está constituido por tres componentes principales: soporte, colector y cámara de secado, en la siguiente tabla se detalla los materiales necesarios para su construcción:

Tabla 1-4: Componentes del secador solar

SISTEMA	ELEMENTO	CANT.
SOPORTE	Tubo cuadrado $\frac{3}{4}$	2
	Electrodo	1
	Pintura	1
COLECTOR	Plancha de aluminio de 0.6 mm	1
	Vidrio	1
	Plancha Madera de pino de 15 mm	1
	Plancha de poliestireno (Aislante)	1
	Tornillos	10
	Cola	1
	Barra de Silicona	1
	Remaches	8
	Pintura	1 litro
	CÁMARA DE SECADO	Madera
Vidrio		1
Aluminio		3 láminas
Clavos		20
Tornillos		20
Cola		1 litro
Agarradera		2

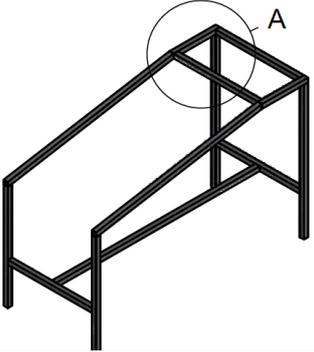
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

4.1. Procedimiento de construcción

4.1.1. Construcción del soporte

En la siguiente tabla se detalla las operaciones que se debe realizar para la construcción del soporte.

Tabla 2-4: Componentes del secador solar

COMPONENTE	MATERIAL	N°	OPERACIONES	IMAGEN
SOPORTE	Tubo Cuadrado	1	Medición	
		2	Corte	
		3	Soldadura	
		4	Pintado	

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

El proceso de construcción del soporte que se detalló anteriormente se evidencia en las siguientes figuras:



Figura 1-4: Proceso de construcción del soporte

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

4.1.2. Construcción de la cámara de secado

En la siguiente tabla se detalla las operaciones que se debe realizar para la construcción de la cámara de secado.

Tabla 3-4: Construcción de la cámara de secado

SISTEMAS	ELEMENTOS	Nº	OPERACIONES	IMAGEN
CAMARA DE SECADO	Madera	1	Medición	
		2	Corte	
		3	Ranurado	
		4	Perforación	
		5	Unión con clavos	
	Vidrio	6	Medición	
		7	Corte	
		8	Union con silicona a la madera	
	Aluminio (chimenea)	9	Medición	
		10	Corte	
		11	Remachado	
		12	Regulador de salida de aire	
	Aluminio (bandejas)	13	Medición	
		14	Corte	
		15	Doblado	
		16	Perforado	

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

La forma de la cámara de secado es rectangular debido a la facilidad de diseño y construcción, al costo y a que el aprovechamiento del espacio es mayor que una cámara circular, triaangular o de cualquier otra geometría. El proceso de construcción de la cámara de secado que se detalló anteriormente se evidencia en la siguiente figura:



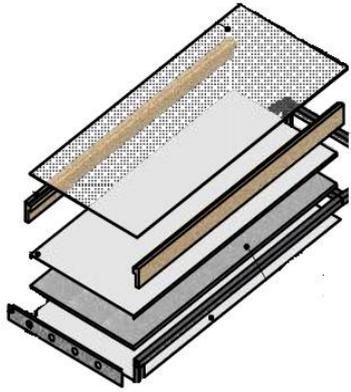
Figura 2-4: Proceso de construcción de la cámara de secado

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

4.1.3. Construcción del colector solar

En la siguiente tabla se detalla las operaciones que se debe realizar para la construcción de la cámara del colector solar.

Tabla 4-4: Componentes del colector solar

COMPONENTE	MATERIAL	Nº	OPERACIONES	IMAGEN
COLECTOR	Plancha de aluminio (2)	1	Medición	
		2	Corte	
		3	Doblado	
		4	Pintado	
	Madera	5	Medición	
		6	Corte	
	Vidrio	7	Medición	
		8	Corte	
	Aislante	9	Medición	
		10	Corte	
	Reductor de aire	11	Medición	
		12	Corte	
		13	Perforación	

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

El colector está conformado por diferentes materiales, ubicado uno sobre otro (vidrio-aluminio-aislante-aluminio) dando forma a una caja rectangular. El primer material contado desde la parte superior es de vidrio debido a que facilita el ingreso de la radiación solar y minimiza las pérdidas de calor por radiación y convección hacia el medio ambiente, además ofrece protección y resistencia mecánica hacia las agresiones externas; su funcionamiento se basa en el principio del efecto invernadero. Las láminas de aluminio absorben la radiación solar y la convierten en energía térmica para transferirla en forma de calor al fluido de trabajo. El material utilizado para el aislamiento tiene como función reducir las pérdidas de calor al exterior. Finalmente las paredes laterales de madera tienen como finalidad contener y proteger todos los elementos del colector aportando rigidez y resistencia estructural al conjunto.

El proceso de construcción de la cámara de secado que se detalló anteriormente se evidencia en las siguientes figuras:



Figura 3-4: Proceso de construcción del colector solar
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

Una vez contruidos el colector y la cámara de secado se los coloca sobre el soporte, obteniendo así el secador solar como se puede observar en las siguientes figuras.



Figura 4-4: Secador solar
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

4.2. Pruebas de funcionamiento

En las pruebas de funcionamiento se mide la temperatura del secador solar para comprobar que se ajusta al modelo matemático desarrollado. Para la medición se ha diseñado y construido un circuito con sensores para medir la temperatura ambiente y la temperatura en el interior de la cámara de secado.

4.2.1. Medidor de temperatura

Los elementos del medidor de temperatura se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 5-4: Estructura del medidor de temperatura

Estructura del sistema	Elementos
Elementos de entrada	Sensor de Temperatura LM35
Unidad de Control	Arduino Nano CH340G
Actuadores	Displays de 16x2
Elementos Auxiliares	Cable
	Protoboard
	Resistencias
	Potenciometro

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

Se diseña el sistema eléctrico a fin de tener una idea clara sobre los componentes del medidor de temperatura y facilitar la conexión del sistema, como se puede observar en la siguiente figura.

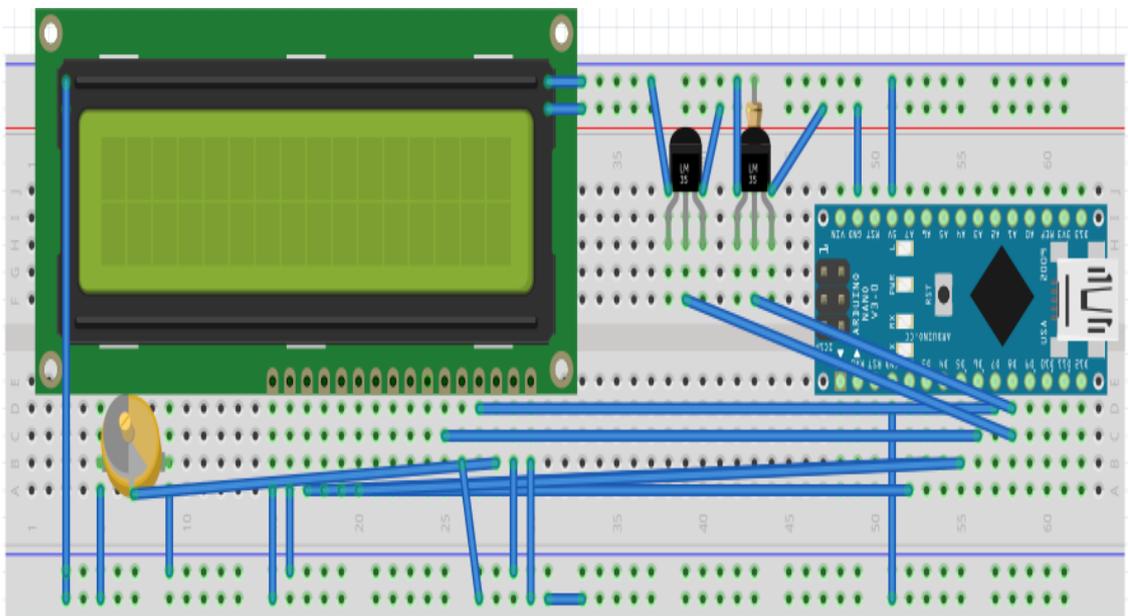


Figura 5-4: Sistema eléctrico

Fuente: FRITZING

El programa Fritzing es un software libre que permite al diseñador o programador crear esquemas eléctricos o electrónicos en base a prototipos como PCB, protoboard, arduino, etc, para su posterior fabricación.

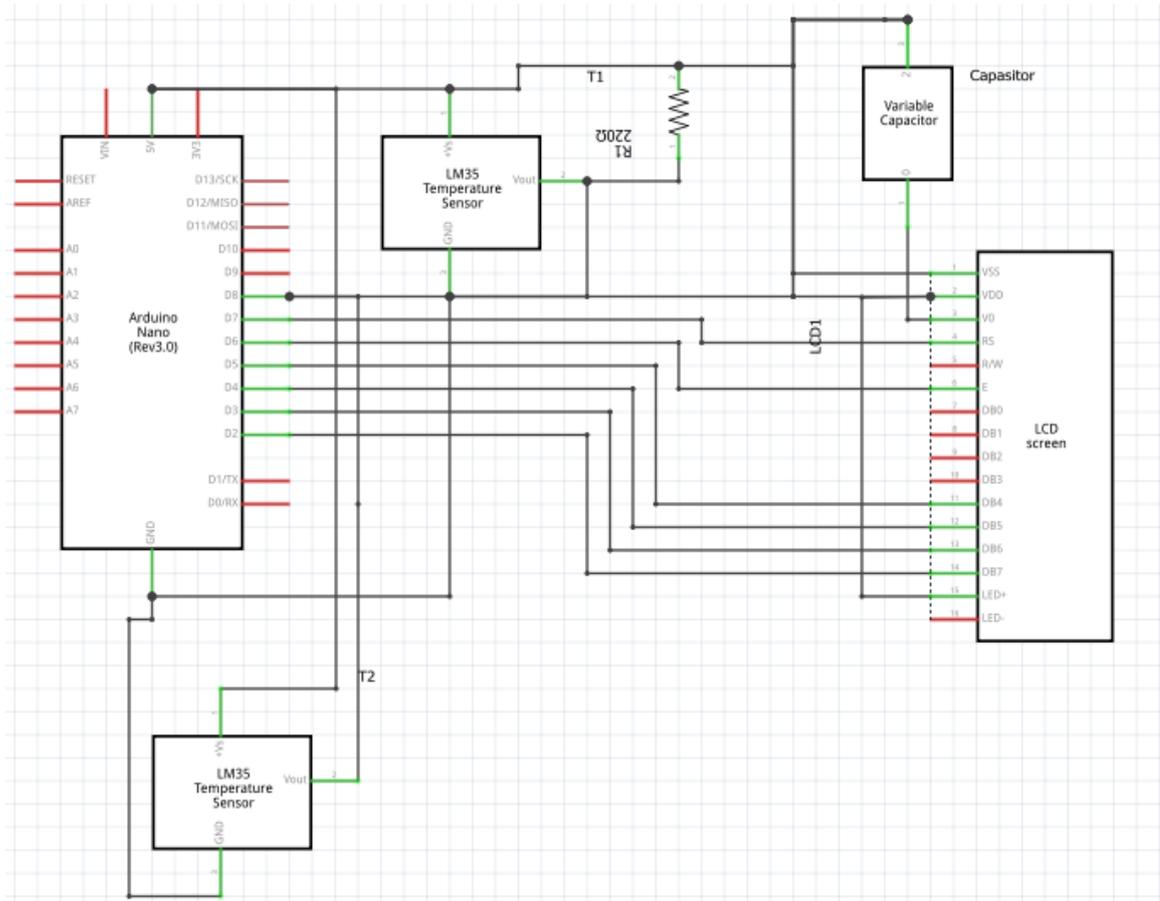


Figura 6-4: Diagrama de conexión electrico
Realizado por: FRITZING

Una vez diseñado el esquema se procede a su conexión, el resultado del proceso se muestra en las siguientes figuras:



Figura 7-4: Conexión del medidor de temperatura
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

4.2.2. Resultados

A fin de comparar los resultados con los datos de temperatura obtenidos en el capítulo III, se ha realizado las pruebas de funcionamiento cada hora durante 8 horas, en la siguiente tabla se detalla los resultados obtenidos.

Tabla 6-4: Resultados del secador solar

Hora	Temperatura ambiente (°C)	Temperatura del secador (°C)
1	15,1	26,0
2	17,0	34,0
3	18,2	42,0
4	19,0	47,0
5	20,0	50,5
6	19,3	49,0
7	18,0	48,0
8	17,1	47,6

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

Con los datos obtenidos se obtiene la curva de temperatura de la cámara de secado. Se observa que durante 8 horas de funcionamiento del secador a una temperatura ambiente de 15.1°C se alcanza una temperatura mínima de 26°C y a una temperatura ambiente de 20°C se alcanza una temperatura máxima de 50°C como se puede observar en la siguiente figura.

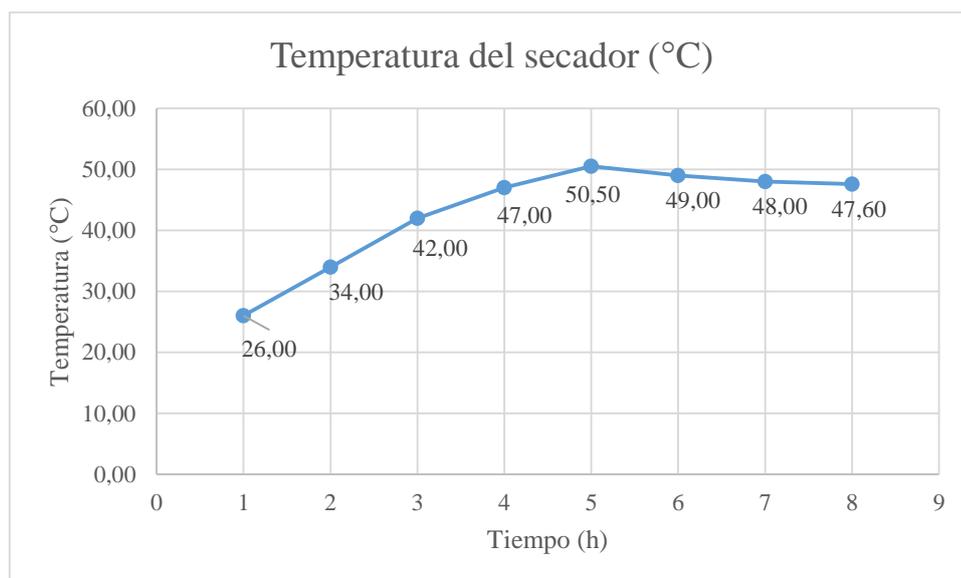


Gráfico 1-4: Temperatura del secador

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

4.2.2.1. Verificación de resultados

Los resultados obtenidos con el modelo matemático se comparan con los resultados del secador solar a fin de establecer sus diferencias, para lo cual se utiliza la ecuación del error relativo que permite conocer el porcentaje de error que se obtuvo en el modelo matemático del secador solar.

$$\text{Error rrelativo} = \frac{|\text{valor experimental} - \text{valor teorico}|}{\text{valor teorico}} \times 100 \quad (47)$$

La temperatura promedio que se obtiene en el secador solar es de 44,8°C mientras que la temperatura promedio del modelo matemático es de 45,46°C. Esta diferencia se establece debido a la variación de la temperatura ambiente, velocidad del viento, radiación incidente, ya que el programa simula una sola temperatura promedio de 15°C y una velocidad del viento 3 m/s y la radiación incidente de 500 W/m² mientras que en la práctica todas estas variables no se mantienen constante todo el día.

$$\text{Error rrelativo} = \frac{|44,8 - 45,46|}{45,46} \times 100$$

Aplicando las temperaturas mencionadas en la fórmula se obtiene un porcentaje de error correspondiente al 1% ya que el error relativo es igual a 1 la media es aceptable.

4.3. Tiempo de secado

Se realiza el secado de 2Kg de frutilla para lo cual se realiza el siguiente proceso:



Figura 8-4: Producto fresco
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

Tabla 7-4: Proceso para el secado de frutilla

DIAGRAMAS DE PROCESO (Tipo Material)								
Unidad Considerada	SIMBOLOS DEL DIAGRAMA	Nº	TIEMPO (minutos)					DESCRIPCIÓN DEL PROCESO
			Operación	Transporte	Inspección	Demora	Almacenaje	
2 kg	○ → ■ □ ▽	1			5.00			Selección de la frutilla.
	● → □ □ ▽	1	3.00					Lavado
	● → □ □ ▽	2	2.00					Pesado
	● → □ □ ▽	1	6.00					Corte
	● → □ □ ▽	2	5.00					Colocación en bandejas
	○ → ■ □ □ ▽	3		1.00				Transporte de las bandejas a la cámara de secado.
	● → □ □ ▽	3	468.00					Secado
Total			484.00	1.00	5.00	0.00	0.00	
Total en minutos			490.00					
Total en horas			8.17					

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

En la ciudad de Riobamba a una temperatura ambiente el secador solar tarda en promedio alrededor de 8,17 horas para realizar el secado de 2 kilogramos de frutilla fresca. El 11,5% del peso total de la frutilla se obtiene como resultado del proceso de secado es decir si secamos 2 Kg de frutilla fresca se obtiene aproximadamente 230 g de producto seco.



Figura 9-4: Producto seco
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

4.3.1. Propiedades organolépticas

El producto a comercializar son las frutillas secas cuyas propiedades organolépticas se conservan mediante el proceso de secado y resulta más ventajoso con respecto a:

- Mayor tiempo de conservación con respecto a la frutilla fresca.
- Menor costo del proceso.
- Disminución del peso y del volumen del producto. Lo que se traduce en mayor facilidad para el transporte. Se obtiene un peso final de aproximadamente un 10 % del peso original de la fruta.
- Contiene elevadas cantidades de vitamina C y poca vitamina E, proveen de Riboflavina, Acido Málico, Folatos, Acido Citúrico, Acido Oxálico y Antioxidantes.
- Son muy bajas en calorías, grasas y sodio, por lo que son recomendadas para aquellas personas que realizan dietas para bajar de peso.

Las propiedades organolépticas de la frutilla seca de 6 milímetros de espesor se detallan en la siguiente tabla

Tabla 8-4: Propiedades organolepticas

RESULTADOS OBTENIDOS						
Muestra	Codigo de laboratorio	Codigo cliente	Ensayos solicitados	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Frutilla deshidratada	33346785	Muestra 1	*Humedad	AOAC 934	%	12,23
Frutilla deshidratada	33346786	Muestra 1	*Cenizas	AOAC 920.181	%	0,43
Frutilla deshidratada	33346787	Muestra 1	*Ácido malico	AOAC 962.19	%	0,62
Frutilla deshidratada	33346788	Muestra 1	*Azucares % Totales	INEN 380	%	73,67
Frutilla deshidratada	33346789	Muestra 1	*Azucares reductores %	Metodo interno	%	47,88
Frutilla deshidratada	33346790	Muestra 1	*Azucares no reductores %	Metodo interno	%	24,67

Fuente: Laboratorio LABOLAB

Según (Alimentos Argentinos, 2012) las frutas que al deshidratarse no se sulfuren, no se traten con ácido ascórbico para su conservación no deberán tener un porcentaje de humedad mayor al 20%, en cambio los productos que si fueron sulfurados, o tratados con ácido ascórbico pueden conservar una humedad de hasta el 25%, el resultado del análisis de humedad de nuestro producto es de 12,23% de humedad sin aplicación de aditivos para su conservación no sobrepasa al 20% de humedad que establece el Codex. Según (NTE INEN-ISO 7703, 2014) la masa total de agua retirada del producto debe ser superior al 60% de la masa total del producto que se procedió a secar, el contenido de ácido malico en el producto no debe ser superior a 0,8% y el contenido de cenizas no debe ser superior a 0,9%, de acuerdo a estos requerimientos nuestro producto cumple

con las normas técnicas ecuatorianas ya que el porcentaje de masa total retirada del producto fue de 88,5% de la masa total y el su contenido de ácido malico es de 0,62 % y el contenido de cenizas es de 0,43% los cuales no exceden los valores de la norma.

Con estos resultados se puede comercializar el producto a nivel nacional a todos los locales comerciales de despensa de viveres, tiendas, supermercados tales como el Tia, AKI, Dicosavi, Supertia, Mi Comisariato, etc ya que estamos dentro de los parámetros de calidad requeridos por la normativa ecuatoriana de alimentos desecados. El producto a ofertar en el mercado se encuentra en presentaciones de 20 gramos la bolsita de frutilla seca como se muestra en la siguiente figura



Figura 10-4: Presentación del producto
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

4.3.2. *Secado al aire libre*

El secado tradicional se realiza al aire a temperatura ambiente a fin de comparar los resultados obtenidos con el secador solar, se realiza el secado de 2 Kg de frutilla, el producto obtenido se muestra en la siguiente figura.



Figura 11-4: Producto seco
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

El secado se realizó en 8 horas y de los dos kilogramos del producto fresco se obtuvo 430 gramos. Además el secado es irregular y no se deshidrató adecuadamente porque aún hay presencia de humedad en el producto.

4.3.3. *Secado en horno utilizando una temperatura de 50 °C*

El secado se realiza en un horno a una temperatura de 50 °C a fin de comparar los resultados obtenidos con el secador solar, se realiza el secado de 2 Kg de frutilla, el producto obtenido se muestra en la siguiente figura.



Figura 12-4: Producto seco
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

El secado se realizó en 8 horas y de los dos kilogramos del producto fresco se obtuvo 380 gramos. Además, el secado al no tener circulación de aire es irregular y no se deshidrató adecuadamente porque aún hay presencia de humedad en el producto.

4.3.4. *Comparación del secado tradicional vs secador solar*

Se realizó el secado de 2Kg de frutilla mediante el secado tradicional y el secador solar, los resultados obtenidos se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 9-4: Comparación del secado tradicional vs secador solar

Tipo de secado	Tiempo (horas)	Peso
Secado tradicional	8	435
Secador solar	8	200
Secado en horno	8	380

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

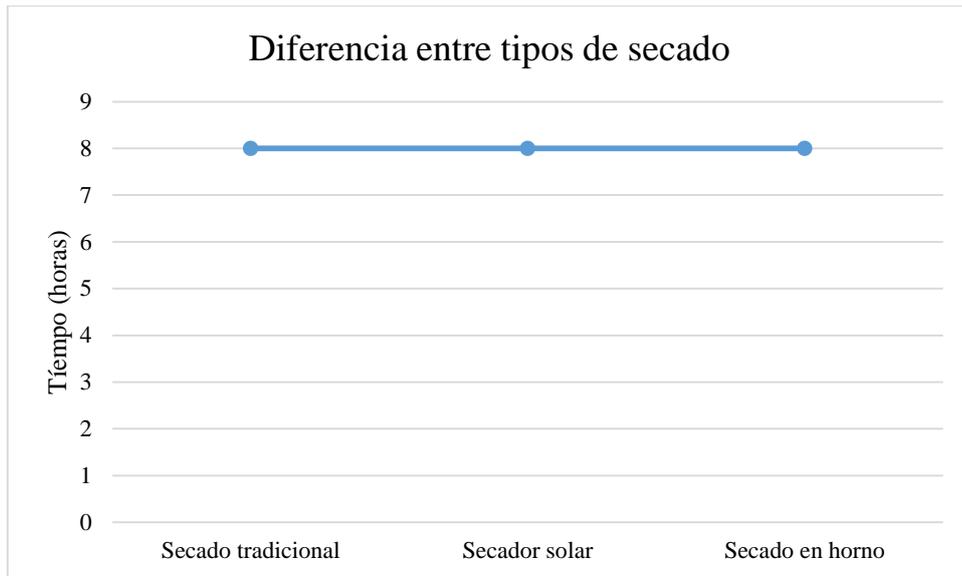


Gráfico 2-4: Comparación de los tipos de secado

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

El tiempo de secado utilizando el secador solar es menor que con el del secado tradicional y comparado con el del horno es igual

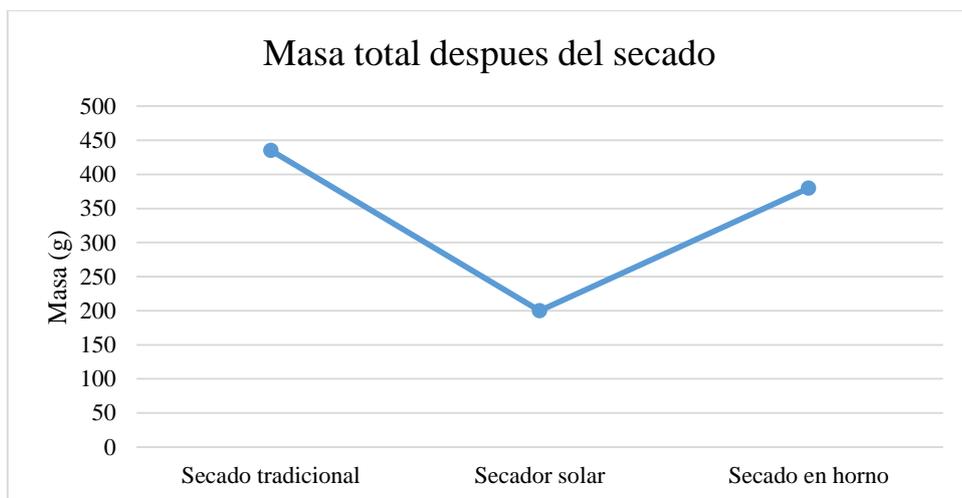


Gráfico 4-4: Comparación de los tipos de secado

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

Se observa una mayor pérdida de humedad, un color y textura agradables a la vista y al tacto en el producto que se seco en nuestro secador solar, mientras que en el secado tradicional obtenemos un producto de un aspecto oscuro nada agradable y cargado de humedad, el secado al horno requiere de más tiempo de la fruta al horno para poder retirar la humedad requerida.

4.4. Mantenimiento

Los componentes del secador solar debido a que está expuesto a las condiciones climatológicas del ambiente tienden a desgastarse con mayor facilidad, por lo cual se los debe reemplazar cuando proceda. Además debido a que se utiliza para fabricar alimentos para el consumo humano aquellos componentes que se encuentren en contacto con el producto deben poseer condiciones higiénicas adecuadas para la salud humana. Por este motivo, se desarrolla el siguiente plan de mantenimiento.

4.4.1. Tareas de mantenimiento

Tabla 10-4: Plan de Mantenimiento

Frecuencia	Componentes			Trabajo a realizar
	Camara de secado	Soporte	Colector	
Diario	X	X	X	Limpieza del polvo de la cubierta superior de vidrio del colector, para que la radiación solar pueda ingresar hacia el colector solar.
	X			Limpieza del producto restante en las bandejas. Si el producto queda impregnado en las bandejas debido al azúcar, se debe emplear vinagre de sidra de manzana para retirar el restante del producto de las bandejas.
	X			Evitar que se forme condensación dentro de la cámara de secado y que gotee sobre el producto, ya que absorbería humedad y no se secaría uniformemente.
	X		X	Cubrir la entrada y la salida del secador, para que no ingresen insectos, polvos que contaminen el secador solar.
Bimestral	X		X	Reparar cualquier grieta que haya podido aparecer en cualquier componente.
	X		X	El cristal tiene que estar limpio, por dentro y por fuera, y sin rallar. De estar rallado tiene que ser reemplazado.
Trimestral	X		X	Sabiendo que la madera es porosa se debe recubrir de pintura/barniz para que no absorba humedad del ambiente.
	X		X	El interior del colector y la cámara ha de mantenerse de color negro. Según se vaya degradando la pintura, habrá que reponerla.
			X	Cambiar la lámina de vidrio, en caso de estar trizada ya que existiría fugas de aire y bajaría el rendimiento del colector solar.

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

4.4.2. Manual de máquina

Tabla 11-4: Manual de maquina

Manual de máquina		
N°	Descripción de la acción	Descripción gráfica
1	Abrir la compuerta del secador solar	
2	Colocar las bandejas con el producto (frutilla) a secar	
3	Cerrar la compuerta del secador solar	
4	Esperar el secado del producto (esto puede tardar de 7 a 9 horas)	
5	Retirar el producto seco	

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

4.4.3. *Reglamento de buenas prácticas para alimentos procesados.*

Según el decreto ejecutivo 3253 a fin de garantizar la inocuidad de los alimentos y evitar contaminaciones cruzadas, el personal que trabaja en una Planta Procesadora de Alimentos debe cumplir con normas escritas de limpieza e higiene.

1. El personal de la planta debe contar con uniformes adecuados a las operaciones a realizar:

a) Delantales o vestimenta, que permitan visualizar fácilmente su limpieza

b) Cuando sea necesario, otros accesorios como guantes, botas, gorros, mascarillas, limpios y en buen estado

c) El calzado debe ser cerrado y cuando se requiera, deberá ser antideslizante e impermeable.

2. Las prendas mencionadas en los literales a y b del inciso anterior, deben ser lavables o desechables, prefiriéndose esta última condición. La operación de lavado debe hacérsela en un lugar apropiado, alejado de las áreas de producción; preferiblemente fuera de la fábrica.

3. Todo el personal manipulador de alimentos debe lavarse las manos con agua y jabón antes de comenzar el trabajo, cada vez que salga y regrese al área asignada, cada vez que use los servicios sanitarios y después de manipular cualquier material u objeto que pudiese representar un riesgo de contaminación para el alimento. El uso de guantes no exime al personal de la obligación de lavarse las manos.



Figura 13-4: Equipo de protección para la manipulación de alimentos
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

4.4.4. Plan de operación

El plan de operación describe a detalle paso a paso el proceso que se realiza para el secado de frutilla en el secador solar.

- Selección de la frutilla retiramos retiramos las que no esten en condicones de deshidratarse



Figura 14-4: Selección del producto
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

- Retirar las hojas de la frutilla.



Figura 15-4: Extracción de las hojas
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

- Lavado de la frutilla.



Figura 16-4: Lavado de la frutilla
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

- Corte y colocación en las bandejas



Figura 17-4: Corte y colocación en las bandejas
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

- Cargar el secador con las bandejas



Figura 18-4: Cargar el secador con las bandejas.
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

- Colocación de la puerta del secador



Figura 19-4: Colocación de la puerta del secador
Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

- Retirar el fruto seco



Figura 20-4: Retirar el fruto seco
 Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

- Colocarse en un recipiente de vidrio sellado o en fundas de plástico para evitar que absorba la humedad del ambiente



Figura 21-4: Empaquetado
 Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

4.5. Costos del secador solar

En la siguiente tabla se detalla los costos de materiales y mano de obra para la construcción del secador solar.

Tabla 12-4: Costo de materiales y mano de obra

Detalle	Dimensiones (mm)	Cantidad	Valor
Plancha de aluminio liso	1220*2440*0,07	1	25,51
Tubo cuadrado 3/4	30*30*2	2	20
Plancha de poliestireno expandido	2000*1000*30	4	2,4
Plancha de madera de pino de	1220*3000*15	1	50
Electrodo 6011	3/16"	0,5 lb	3,2
Thinner (anticorocivo)		0,25 lt	5
Pintura anticorrosiva negra mate		1 lt	10
Silicona industrial		2	6
Vidrio templadoG	1250*625*4	1	6,6
Juego de ruedas		1	6
Remaches	3/16" *1/2	25	2
Mano de obra			100
Imprevistos			40
Total			276,71

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

El costo para la construcción del medidor de temperatura se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 13-4: Costos para la construcción del medidor de temperatura

Detalle	Cantidad	Valor
Protooar 165*102*8,5 mm	1	3
Sensor de Tempera LM35	3	5
Cable para protooar	2 m	1,2
Arduino Nano CH340G	1	5
Resistencias	4	0,5
Potenciometro	1	0,75
Displays de 16x2	1	3
Total		18,45

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

El costo total es de 295,16 dólares.

Tabla 14-4: Costo total

Detalle	Costo (Dólares)
Secador solar	276,71
Medidor de temperatura	18,45
<i>Costo total</i>	295,16

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

CONCLUSIONES

Se determinó las condiciones climatológicas promedios en base a la estación meteorológica de la ESPOCH para la parroquia Cacha, del canton Riobamba tales como temperatura ambiente de 15°C, radiación solar de 500 W/m², presión atmosférica de 728 mBar y velocidad del viento de 3 m/s.

Se realizó la programación en el software Visual Basic del modelo matemático de Duffie y Backman obteniendo que para un proceso de secado adecuado de la frutilla monterrey, la temperatura de salida en el colector debe ser de 18,84°C. En cuanto a la temperatura de la cámara de secado durante 8 horas de funcionamiento del secador se obtuvo temperatura promedio de 45,46°C.

Se diseñó el prototipo para el secador solar empleando el software Solidworks educativo, y se realizó un análisis térmico mediante la simulación en el software para verificar el comportamiento del secador solar empleando los parámetros climatológicos determinados y se obtuvo una temperatura en la cámara de secado óptima.

Se construyó el secador solar con las siguientes dimensiones del colector solar es de 1,2 m x 0,6 m x 0,05 m y la cámara de secado 0,28 m x 0,6 m x 0,3 m, con una inclinación de 10° y se realizó el secado de 2 Kg de frutilla en un tiempo promedio de 8 horas, el peso final del producto deshidratado es de 230 gramos con un contenido de humedad del 12 %, siendo la temperatura promedio en la cámara de secado de 44,8°C, el cual se aproxima al valor obtenido en la simulación del modelo matemático que es de 45,46°C.

RECOMENDACIONES

Se recomienda revisar el manual de operación, con esto se garantiza la inducción adecuada en la utilización del secador solar en las comunidades de la parroquia Cacha del canton Riobamba.

Debido al calentamiento global y al incremento paulatino en la radiación solar se recomienda automatizar el regulador de salida de aire en la chimenea para tener una temperatura óptima de secado, variación de los elementos en conducción de calor de esta manera no se afecte a las propiedades físicas, químicas y organolépticas del producto.

Utilizar el manual de mantenimiento para evitar el deterioro temprano de los componentes del secador solar, considerando la verificación de los elementos mediante el sensor externo que determina el calor de la cámara.

Evitar la manipulación del producto sin equipo de protección ya que esto generaría riesgo de contaminación cruzada por tratarse de alimentos que estarán a disposición del consumo humano.

BIBLIOGRAFÍA

AGUILAR, R. *Evaluación del efecto de un extracto de cáscara verde de banano (musa paradisiaca) para el control de Botrytis Cinerea en frutilla.* Loja: Udla, [EnLinea] 2018. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/8986>. pp 112.

ALMADA, M. & CÁCERES, M. *Guía de uso de secaderos solares .* Asunción: Comunicación Visual,[EnLinea] 2015; <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/ED-Guiasecaderosolar.pdf>2015. pp 12-15.

CAMELO, A. *Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas del campo del mercado.* Balcarcelona/: FAO, 2003. pp 38.

CASSANELLO, M. *Enfermedades de frutilla y su manejo.* Montevideo: EEFAS, 2008. pp 89-90

COULSON, J.M. & RICHARDSON, J.f. *Ingeniería Química.* Madrid : Reverte, 2003. pp 25.

ESPLUGAS, Santiago et. al. *Fundamentos de transmisión de calor.* Barcelona: Graficas Rey, 2005. pp 115.

FALK, Dietmar & LERNET, Franz. *Metalotecnia fundamental.* Madrid: Reverte S.A, [EnLinea],2002.<http://wiedereinstiegkassel.de/pl/NDUuODguMTA0LjM0fHVyYWVhYWFhMjAyMF8yN18zMV8xM18xOXw3.dhtml>. pp 74-75.

GARCÍA , P.,et. al. *Modelado numérico del proceso de secado solar de manzanas.* Nuevo Colón: Revista UIS Ingenierías, 2018. pp 52.

GARCIA, CARMELO Nicolas *Transmisión de calor.* Mursia: Pearson, 2005. pp 63.

GIL, Fransisco, et. al. *Materiales en ingeniería.* Madrid: Person, 2010. pp 49-52.

GONZALESVELASCO, Jaime. *Energías Renovables.* Barcelona: Reverte, [EnLinea] 2009. https://www.activasolucionesenergeticas.com/?gclid=EAiaIQobChMIo8TvrvmX5wIVr4VaBR2towD-EAAYAiAAEgIOY_D_BwE. pp 381.

GUERRERO, Sebastian. *Determinación De Un Modelo De Ratio De Secado Para El Matico Y Ortiga Para Los Productores Locales De La.* Riobamba: 2015. pp 59-60.

GUEVARA, A. & SEGURA, S. *Diseño Y Construcción De Un Deshidratador Solar Para Fresa.* Abasolo: Jóvenes en la ciencia, 2017. pp 119.

- IBARRA, M.** *Fresa Fragaria vesca*. Quito /: El Huerto, 2010. pp 47.
- INCROPERA, FRANK P. et. al.** *Fundamento de transmision de calor*. Mexico: Pearson, 2002. pp 96-99.
- JOSE M, TRAVEZ.** *Informacion Tecnologuica*. Madrid: Person, 2008. pp 46-49.
- KREITH, Frank, et.al.** *Principios de transmicion de calor*. Mexico: Cengage Learning, 2012. pp 169.
- LARA, Jose Alfredo.** *Energia renovable para el futuro*. Mexico: Marquez, 2008. pp 59-61.
- MEINEL, ADEN B.et. al.** *Aplicacion de la energuia solar*. Madrid: Reverte S.A, 2006. pp 450.
- MENDEZ, E.** *Diseño, Construcción Y Caracterización De Prototipo De Deshidratador Solar Para Productos Agrícolas*. El Salvador: Universidad del Salvador, [En Linea] <https://www.grupoidea.net/index.php/productos/hornos-secadores>. 2017. pp 219.
- MONTES, Maria J.** *Teoria y problemasde transmicion de calor*. Madrid: Copernico S.A, 2015. pp 136.
- NEGRETE, Jose Pedro.** *Fisica General*. Mexico DF: Papime, 2005. pp 116-117.
- PATIÑO, V.** *Historia y dispersión de los frutales nativos del Neotrópico*. Cali: Imágenes gráficas, 2002. pp 56.
- PYSMENNY, YEDGEN, et. al.** *Manual para el intercambio de calor y bancos para tubos aletados*. Barcelona: Reverte S.A, 2007. pp 38-45.
- SANTANA, Luis & CUBILLO, David.** *Propuesta De Diseño De Un Deshidratador Tipo Bandeja Para La Producción De Frutas Orgánicas Tipo Snaks Para Ecovitale*. Bogota: 2016. pp 86-89.
- SHMID, Stven R.** *Manufactura, Ingenieria y tecnologia*. Mexico: Pearson educacion, 2002.
- ULLOA, J.** *Frutas auto estabilizadas en el envase por la tecnología de obstáculos*. Nayarit: Acibia, 2007. pp 210-211.
- VÁZQUEZ, W.** *Fresas: Su producción y crecimiento*. [En línea] 2007. [Citado el: 2019 de 02 de 26.] <http://agronegociosecuador.ning.com/page/fresas-su-produccion.2007>. pp 116.

ANEXOS

Anexo A. Estación meteorológica



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
 FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
 ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA



AÑO: 2019

MES: ENERO

FECHA	TEMPERATURA °C			HUMEDAD RELATIVA %			TENSIÓN VAPOR	PUNTO ROCÍO	PRECIPITACIÓN	EVAPORACIÓN	HELIOFANÍA		VIENTO		PRESIÓN ATM.
	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	mIb	°C	mm	mm	Horas	%	Dirección	Velocidad m/s	mm Hg
1	12,6	21,4	4,9	69,0	96,0	41,0	8,8	5,1	0,0	4,8	8,8	73	SE	2,3	543,6
2	13,5	22,0	6,2	74,1	96,0	43,0	11,2	8,6	0,0	4,8	6,9	58	SE	2,6	543,3
3	13,7	21,7	9,0	78,8	96,0	44,0	12,3	10,1	0,1	4,7	5,5	46	SE	2,5	544,1
4	13,6	20,4	9,3	77,3	96,0	47,0	12,0	9,7	0,0	3,9	4,6	38	SE-NE	2,3	544,9
5	14,9	22,3	9,7	72,3	96,0	40,0	11,8	9,4	0,0	6,3	7,9	66	SE	1,3	545,0
6	13,3	24,0	6,2	78,2	96,0	37,0	11,1	8,4	1,7	5,0	7,4	62	SW	1,5	544,4
7	14,4	22,6	9,0	75,6	96,0	39,0	12,1	9,8	6,7	3,3	4,7	39	SE	2,2	543,9
8	12,3	16,2	10,0	80,8	96,0	60,0	12,0	9,6	2,2	2,0	0,3	3	SW-SE	0,8	545,0
9	14,3	22,2	9,1	63,0	91,0	34,0	10,4	7,6	0,0	4,6	5,2	43	SE	1,8	544,3
10	13,8	20,6	9,0	68,2	90,0	36,0	11,3	8,8	10,1	2,5	3,5	29	SE	1,3	544,1
11	13,1	20,6	8,9	77,4	96,0	41,0	12,5	10,2	1,2	4,8	5,0	42	SE	1,5	544,5
12	13,0	20,4	9,0	77,9	96,0	40,0	12,5	10,3	0,2	3,6	3,3	28	SE	1,3	544,6
13	14,1	20,8	10,3	73,3	96,0	39,0	12,1	9,8	0,0	4,5	5,9	49	SE	2,0	544,4
14	13,7	22,7	9,9	75,4	96,0	38,0	12,1	9,8	1,5	5,4	6,9	58	SE	2,6	543,7
15	13,1	19,6	9,8	76,2	96,0	44,0	12,1	9,8	0,0	3,5	2,3	19	SE	2,6	544,1
16	12,9	18,8	9,6	77,4	96,0	50,0	12,5	10,2	0,0	3,3	1,5	13	SE	2,8	544,6
17	12,9	19,5	9,6	74,6	96,0	45,0	11,9	9,6	0,0	2,0	4,7	39	SE	2,5	545,1
18	13,6	20,4	9,4	70,7	96,0	41,0	12,1	9,8	0,1	5,6	4,7	39	SE	3,0	544,6
19	13,6	19,7	9,9	74,7	96,0	45,0	11,7	9,3	0,0	4,1	2,7	23	SE	1,8	544,3
20	13,3	19,9	9,4	74,8	96,0	44,0	11,7	9,3	0,0	3,9	3,2	27	SE	1,8	544,5
21	14,1	22,2	9,9	72,1	96,0	40,0	11,9	9,6	0,0	4,5	4,7	39	SE	1,8	544,5
22	14,4	22,5	9,9	69,5	96,0	36,0	11,9	9,6	0,0	6,1	6,7	56	NE	3,2	544,2
23	14,7	22,2	9,9	68,9	96,0	36,0	11,7	9,3	0,0	5,7	8,2	68	SE	3,4	544,4
24	14,5	23,3	10,0	70,4	96,0	35,0	12,5	10,2	0,0	5,5	7,2	60	SE	2,3	544,6
25	14,8	23,2	10,5	69,7	96,0	33,0	12,0	9,7	0,0	6,4	8,2	68	SE	2,0	544,5
26	15,5	23,9	9,7	63,8	91,0	31,0	11,8	9,4	0,0	7,0	9,0	75	SE	2,5	544,3
27	16,3	24,8	11,6	64,0	96,0	31,0	11,9	9,5	0,0	7,2	9,2	77	SE	3,0	543,4
28	14,6	23,3	11,3	74,3	96,0	35,0	12,6	10,3	7,6	4,3	4,0	33	SE	2,2	543,7
29	15,1	22,8	11,0	74,1	96,0	35,0	12,9	10,7	4,6	5,4	6,4	53	SE	2,2	543,6
30	14,6	22,4	10,9	75,4	96,0	43,0	12,8	10,6	0,0	4,2	5,5	46	SE	2,2	543,2
31	15,3	23,9	10,7	70,0	95,0	33,0	12,8	10,6	2,7	5,1	7,7	64	SE	2,5	543,9
SUMA	433,7	670,3	293,6	2261,6	2959,0	1236,0	368,8	294,5	38,7	143,3	171,8	1431,7	SE	67,4	16871,3
DÍAS DE DATOS	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31
MEDIA	14,0	21,6	9,5	73,0	95,5	39,9	11,9	9,5		4,6	5,5	46		2,2	544,2
MÁX. 24 Hs.	16,3	24,8	11,6	80,8	96,0	60,0	12,9	10,7	10,1	7,2	9,2	77		3,4	545,1
FECHA	27	27	27	8	VARIOS	8	29	29	10	27	27	27		23	17
Nº DE DÍAS	1	1	1	1	27	1	1	1	1	1	1	1		1	1
MIN. 24 Hs.	12,3	16,2	4,9	63,0	90,0	31,0	8,8	5,1	0,0	2,0	0,3	3		0,8	543,2
FECHA	8	8	1	9	10	26; 27	1	1	VARIOS	8; 17	8	8		8	30
Nº DE DÍAS	1	1	1	1	1	2	1	1	19	2	1	1		1	1



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA



AÑO: 2019

MES: FEBRERO

FECHA	TEMPERATURA °C			H. RELATIVA %			TENSIÓN VAPOR	PUNTO ROCÍO	PRECIPITACIÓN	EVAPORACIÓN	HELIOFANÍA		VIENTO		PRESIÓN ATM.
	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	mib	°C	mm H ₂ O	mm	Horas	%	Dirección	Velocidad m/s	mm Hg
1	14,5	21,6	10,9	75,2	96,0	41,0	13,2	11,1	0,1	4,4	4,2	35	SE	2,5	544,6
2	15,1	22,6	10,9	69,3	96,0	34,0	12,2	9,9	1,7	5,7	7,0	58	SE	2,8	544,0
3	13,6	19,7	10,9	79,0	96,0	48,0	12,8	10,6	0,3	3,2	3,2	27	SE	2,0	543,9
4	14,7	20,8	11,0	73,6	96,0	41,0	12,3	9,9	0,4	5,2	3,3	28	SE	1,8	543,5
5	14,8	22,5	10,5	74,3	96,0	38,0	12,9	10,8	0,0	5,3	6,2	52	NE-SE	2,2	543,3
6	14,4	22,5	10,4	72,2	94,0	39,0	12,5	10,2	0,0	5,7	5,8	48	SE	2,6	543,2
7	13,7	21,2	9,9	74,8	96,0	50,0	12,5	10,3	0,0	3,8	1,3	11	SE	1,8	543,5
8	14,1	22,0	10,4	74,0	96,0	39,0	12,8	10,7	0,0	4,2	2,7	23	SE	2,0	543,6
9	14,6	21,8	11,0	73,0	96,0	36,0	12,9	10,8	0,0	5,1	3,4	28	SE	1,3	543,7
10	14,9	22,6	10,0	72,1	95,0	36,0	12,6	10,4	0,0	5,1	4,0	33	SE	2,5	543,6
11	14,6	21,2	11,5	71,1	96,0	41,0	12,2	9,9	0,2	4,0	3,1	26	SE	3,8	543,4
12	14,5	22,0	11,2	71,2	96,0	36,0	12,7	10,5	2,1	5,3	6,0	50	SE	2,8	544,1
13	13,9	19,7	10,5	76,4	96,0	46,0	13,4	11,3	1,0	3,1	5,1	43	SE	1,6	545,1
14	14,5	21,5	9,9	71,8	96,0	38,0	12,6	10,4	0,0	5,7	5,6	47	SE	1,5	545,1
15	15,3	23,1	8,8	62,5	96,0	30,0	12,3	10,0	0,0	6,9	10,3	86	SE	2,3	544,5
16	15,4	23,8	8,9	63,7	96,0	28,0	11,5	9,1	0,0	7,4	10,3	86	NE	3,5	544,2
17	15,8	24,2	9,8	65,0	96,0	29,0	12,0	9,6	0,0	7,3	9,5	79	SE	2,3	544,4
18	16,0	23,6	11,7	68,7	95,0	32,0	13,1	10,9	0,0	6,8	7,5	63	SE	2,6	544,1
19	15,0	21,8	11,1	74,5	96,0	47,0	13,9	11,9	5,4	4,9	4,7	39	SE	2,2	543,6
20	14,0	20,7	10,7	77,0	96,0	44,0	13,0	10,9	0,0	4,5	3,3	28	SE	2,2	543,9
21	13,3	19,7	9,1	71,1	96,0	41,0	12,0	9,7	0,0	3,4	1,4	12	SE	2,3	544,9
22	13,8	21,6	8,9	71,2	96,0	36,0	12,7	10,6	0,6	4,0	2,7	23	SE	1,8	545,3
23	14,6	21,3	10,8	76,4	96,0	46,0	13,7	11,7	5,1	3,9	3,2	27	SE	1,3	544,5
24	12,9	18,0	10,9	71,8	96,0	38,0	13,4	11,3	13,8	1,0	0,3	3	SW-NE-SE	0,8	544,4
25	13,4	21,0	10,0	62,5	96,0	30,0	13,3	11,2	0,0	2,4	2,7	23	SE	0,8	544,1
26	13,8	21,2	10,3	63,7	96,0	28,0	13,2	11,2	0,0	3,8	4,0	33	SE	1,4	543,9
27	14,0	22,0	10,0	65,0	96,0	29,0	13,8	11,7	0,0	4,4	4,8	40	SE	2,0	544,0
28	14,6	22,8	10,2	68,7	95,0	32,0	12,3	10,0	0,0	6,8	6,5	54	SE	2,3	545,0
SUMA	403,8	606,5	290,0	1989,9	2683,0	1053,0	357,8	296,5	30,7	132,8	132,1	1100,8	SE	58,5	15235,3
DIAS DE DATOS	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28		28	28
MEDIA	14,4	21,7	10,4	71,1	95,8	37,6	12,8	10,6		4,7	4,7	39,3		2,1	544,1
MÁX. 24 Hs.	16,0	24,2	11,7	79,0	96,0	50,0	13,9	11,9	13,8	7,4	10,3	86		3,8	545,3
FECHA	18	17	18	3	VIARIOS	7	19	19	24	16	15; 16	15; 16		11	22
Nº DE DÍAS	1	1	1	1	24	1	1	1	1	1	2	2		1	1
MIN. 24 Hs.	12,9	18,0	8,8	62,5	94,0	28,0	11,5	9,1	0,0	1,0	0,3	3		0,8	543,2
FECHA	24	24	15	15; 25	6	16; 26	16	16	VIARIOS	24	24	24		24; 25	6
Nº DE DÍAS	1	1	1	2	1	2	1	1	17	1	1	1		2	1



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA



AÑO: 2019

MES: MARZO

FECHA	TEMPERATURA °C			HUMEDAD RELATIVA %			TENSIÓN VAPOR	PUNTO ROCIO	PRECIPITACIÓN	EVAPORACIÓN	HELIOFANÍA		VIENTO		PRESIÓN ATM.
	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	mlb	°C	mm H ₂ O	mm	Horas	%	Dirección	Velocidad m/s	mm hg
1	14,4	23,7	10,1	72,5	96,0	32,0	12,3	10,0	1,2	5,1	5,2	43	SE	2,3	545,0
2	14,1	22,4	10,4	72,1	96,0	39,0	12,8	10,6	0,3	4,8	4,3	36	SW	1,5	544,9
3	14,7	23,4	7,9	69,4	96,0	31,0	12,1	9,7	1,3	6,4	8,3	69	SE	1,8	544,2
4	14,5	22,0	10,8	73,3	96,0	36,0	13,0	10,9	0,0	5,6	5,8	48	SE	2,3	544,0
5	15,3	23,0	9,8	60,1	95,0	28,0	11,3	8,8	0,0	5,4	4,8	40	SW	2,0	544,4
6	13,5	19,3	9,1	74,1	95,0	44,0	11,9	9,5	0,0	4,4	1,0	8	SE	1,8	545,0
7	13,0	17,8	10,4	80,4	96,0	51,0	13,5	11,4	0,0	0,5	0,0	0	SE	1,8	545,6
8	13,3	21,6	8,2	69,7	96,0	34,0	11,3	8,7	0,0	4,8	4,6	38	SE	2,8	544,1
9	14,3	20,4	9,1	70,4	96,0	39,0	11,7	9,3	0,0	3,8	4,2	35	SE	1,5	544,2
10	13,5	18,6	10,7	77,8	96,0	53,0	12,0	9,6	0,1	3,3	0,8	7	SE	2,5	544,6
11	14,4	22,6	9,8	71,5	96,0	37,0	11,7	9,4	0,0	5,5	6,0	50	SE	2,4	544,3
12	15,5	24,3	10,5	67,8	94,0	33,0	11,6	9,2	0,0	6,7	8,3	69	SE	2,8	543,5
13	15,3	24,0	10,6	68,3	96,0	34,0	11,2	8,6	0,0	6,3	5,9	49	NE-SW	2,4	543,0
14	14,8	23,8	9,6	70,0	96,0	32,0	11,7	9,2	0,0	5,4	5,4	45	SE	2,3	544,1
15	14,1	23,0	9,4	71,3	96,0	35,0	11,7	9,3	0,0	5,2	5,1	43	SE	2,0	544,8
16	15,4	24,3	8,6	62,3	95,0	33,0	11,2	8,3	0,0	7,0	9,2	77	SE	2,3	543,9
17	14,6	19,7	10,7	68,5	95,0	41,0	11,5	9,1	0,0	4,3	2,3	19	SE	2,5	543,9
18	15,4	23,4	10,6	67,3	94,0	32,0	11,6	9,1	0,0	6,4	8,1	68	SE	3,2	543,3
19	13,8	22,2	10,6	79,0	96,0	40,0	12,1	9,8	4,8	2,8	0,9	8	SE	1,6	544,6
20	14,3	23,7	10,3	79,1	96,0	44,0	12,6	10,4	4,0	5,0	3,8	32	SE	2,4	543,9
21	14,9	23,7	10,2	74,7	96,0	36,0	12,3	10,0	6,2	5,9	6,7	56	SE	1,5	543,9
22	11,9	16,3	9,9	87,5	96,0	62,0	12,3	10,0	5,3	0,8	0,0	0	SE	1,0	545,2
23	14,2	21,2	9,4	73,6	96,0	39,0	12,2	9,9	0,0	4,8	5,2	43	SE	2,0	545,4
24	14,8	23,8	10,6	73,9	96,0	36,0	11,8	9,5	2,3	6,0	6,0	50	SE	2,8	545,4
25	14,3	21,3	11,0	77,0	96,0	40,0	12,3	10,0	0,0	3,6	3,0	25	SE	1,0	544,3
26	15,4	23,3	10,0	71,0	95,0	33,0	12,1	9,8	0,0	6,1	6,6	55	SE	1,8	543,2
27	15,3	22,9	11,0	68,8	94,0	33,0	11,7	9,3	0,0	7,3	7,4	62	SE	2,2	543,8
28	14,9	23,0	10,4	70,0	94,0	35,0	11,8	9,4	0,0	5,6	6,2	52	SE	2,0	544,9
29	15,1	24,4	9,7	72,4	94,0	35,0	11,8	9,4	2,0	5,6	6,1	51	SE	1,8	544,4
30	15,2	22,4	11,0	75,4	96,0	41,0	13,1	11,0	0,0	4,9	4,4	37	SE	2,3	544,3
31	14,8	22,2	11,0	74,1	96,0	37,0	12,8	10,6	0,0	4,1	2,6	22	SE	1,8	544,9
SUMA	448,8	687,7	311,4	2243,1	2961,0	1175,0	372,8	299,7	27,5	152,8	148,2	1235,0	SE	63,9	16874,5
DIAS DE DATOS	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31		31	31
MEDIA	14,5	22,2	10,0	72,4	95,5	37,9	12,0	9,7			4,8	39,8		2,1	544,3
MÁX. 24 Hs.	15,5	24,4	11,0	87,5	96,0	62,0	13,5	11,4	6,2	7,3	9,2	76,7		3,2	545,6
FECHA	12	29	VIARIOS	22	VIARIOS	22	7	7	21	27	16	16		18	7
Nº DE DÍAS	1	1	4	1	21	1	1	1	1	1	1	1		1	1
MIN. 24 Hs.	11,9	16,3	7,9	60,1	94,0	28,0	11,2	8,3	0,0	0,5	0,0	0,0		1,0	543,0
FECHA	22	22	3	5	VIARIOS	5	13; 16	16	VIARIOS	7	7; 22	7; 22		22; 25	13
Nº DE DÍAS	1	1	1	1	5	1	2	1	21	1	2	2		2	1



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA



AÑO: 2019

MES: ABRIL

FECHA	TEMPERATURA °C			HUMEDAD RELATIVA %			TENSIÓN VAPOR	PUNTO ROCÍO	PRECIPITACIÓN	EVAPORACIÓN	HELIOFANÍA		VIENTO		PRESIÓN ATM.
	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	mlb	°C	mm H ₂ O	mm	Horas	%	Dirección	Velocidad m/s	mm Hg
1	14,4	23,3	9,6	75,4	96,0	35,0	12,4	10,1	12,8	4,2	2,4	20	SE	1,8	544,3
2	14,6	21,8	11,1	78,5	96,0	40,0	12,4	10,2	22,7	5,5	4,8	40	SE	2,2	544,3
3	13,6	21,3	11,2	84,5	96,0	42,0	13,2	11,1	5,7	2,7	3,1	26	SE	1,2	545,2
4	14,5	20,8	10,0	72,9	96,0	41,0	12,5	10,2	0,0	3,8	2,8	23	SE	1,5	544,9
5	14,3	24,4	8,3	74,2	96,0	32,0	11,3	8,6	4,2	5,0	7,6	63	SE	2,0	544,3
6	14,2	21,4	10,9	77,0	96,0	41,0	12,5	10,2	4,9	3,3	3,1	26	SE	1,0	545,1
7	13,7	18,8	11,0	79,0	96,0	52,0	12,2	9,9	0,0	2,4	2,7	23	SE	1,0	545,5
8	12,9	18,4	10,5	78,7	96,0	52,0	11,9	9,5	0,8	3,7	1,5	13	SE	1,6	545,3
9	14,0	22,2	9,0	72,2	96,0	33,0	11,5	9,1	0,0	4,3	6,9	58	SE	1,6	544,6
10	15,2	23,2	9,3	65,9	93,0	30,0	10,9	8,3	0,0	6,7	8,5	71	SE-NE	1,8	544,0
11	14,7	22,0	9,0	64,2	95,0	37,0	10,4	7,5	0,0	6,5	9,9	83	SE	1,8	544,4
12	14,5	21,9	8,8	66,7	96,0	38,0	11,2	8,6	0,3	5,4	8,0	67	SE	2,8	544,5
13	13,7	20,8	10,0	71,4	96,0	34,0	11,8	9,3	0,0	4,7	4,9	41	NE	2,5	544,4
14	13,9	22,3	7,9	68,8	94,0	34,0	10,9	8,2	0,1	3,7	4,2	35	SE	1,0	544,8
15	13,5	19,6	10,0	70,4	96,0	43,0	11,1	8,5	0,1	3,9	3,6	30	SE	2,8	545,0
16	13,3	21,6	6,3	70,1	94,0	39,0	10,8	8,1	0,0	4,4	6,0	50	SE	2,2	544,6
17	13,9	20,8	8,0	71,8	96,0	42,0	11,6	9,1	0,0	3,5	2,9	24	SE	2,4	543,9
18	14,8	23,6	9,8	74,4	96,0	37,0	12,5	10,3	3,8	5,9	5,7	48	SE	2,0	543,9
19	13,4	23,5	10,9	86,2	96,0	53,0	13,4	11,3	4,4	2,7	2,2	18	SE	2,3	544,3
20	14,3	20,9	9,9	77,5	96,0	45,0	13,0	10,8	0,3	4,2	5,5	46	SE	1,8	545,3
21	14,6	22,5	9,4	78,5	96,0	39,0	12,6	10,3	4,3	5,2	6,4	53	SE	1,0	545,1
22	14,2	23,0	10,9	78,8	96,0	36,0	12,6	10,4	3,3	4,0	4,1	34	SW	1,3	544,3
23	14,5	22,0	11,3	75,0	96,0	35,0	12,8	10,6	7,2	4,4	4,8	40	SE	1,8	544,2
24	11,7	15,3	10,4	89,8	96,0	68,0	12,7	10,5	2,7	1,5	0,4	3	SE	1,4	545,0
25	14,1	21,5	9,1	74,4	96,0	43,0	12,1	9,8	0,0	4,9	8,3	69	SE	2,0	545,3
26	14,4	21,6	10,9	75,4	96,0	40,0	12,4	10,2	0,0	4,2	4,6	38	SE-SW	2,0	545,4
27	13,6	23,6	10,6	76,8	96,0	37,0	12,5	10,2	0,4	3,8	4,7	39	SE	2,8	545,1
28	13,7	22,0	8,5	68,6	96,0	34,0	11,1	8,5	0,0	5,2	8,8	73	NE-SE	1,5	544,8
29	13,5	20,2	8,8	75,1	96,0	41,0	11,9	9,6	0,0	3,0	0,5	4	SE	1,8	544,4
30	14,2	21,9	10,0	71,4	96,0	38,0	11,8	9,4	0,0	3,7	3,9	33	SE	2,4	544,3
SUMA	420,1	646,2	291,4	2243,4	2872,0	1211,0	359,7	288,3	78,0	125,8	142,8	1190	SE	55,1	16340,2
DIAS DE DATOS	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		30	30
MEDIA	14,0	21,5	9,7	74,8	95,7	40,4	12,0	9,6		4,2	4,8	39,7		1,8	544,7
MÁX. 24 Hs.	15,2	24,4	11,3	89,8	96,0	68,0	13,4	11,3	22,7	6,7	9,9	83		2,8	545,5
FECHA	10	5	23	24	VARIOS	24	19	19	2	10	11	11		12; 15; 27	7
Nº DE DÍAS	1	1	1	1	26	1	1	1	1	1	1	1		3	1
MIN. 24 Hs.	11,7	15,3	6,3	64,2	93,0	30,0	10,4	7,5	0,0	1,5	0,4	3		1,0	543,9
FECHA	24	24	16	11	10	10	11	11	13	24	24	24		VARIOS	17; 18
Nº DE DÍAS	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		4	2



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA



AÑO: 2019

MES: MAYO

FECHA	TEMPERATURA °C			HUMEDAD RELATIVA %			TENSIÓN DE VAPOR	PUNTO ROJO	PRECIPITACIÓN	EVAPORACIÓN	HELIOFANÍA		VIENTO		PRESIÓN ATM.
	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	mlb	°C	mm H ₂ O	mm	Horas	%	Dirección	Velocidad m/s	mm hg
1	14,5	21,0	9,9	65,2	94,0	36,0	10,7	7,9	0,0	5,1	4,7	39	SE	2,3	544,8
2	14,2	21,8	9,9	71,8	96,0	38,0	11,9	9,6	0,0	4,3	5,2	43	SE	3,0	544,8
3	13,3	20,5	10,0	66,9	95,0	39,0	10,6	7,7	0,0	5,9	5,3	44	SE	3,3	544,3
4	14,1	22,3	8,4	62,9	84,0	39,0	10,9	8,3	0,4	5,1	6,4	53	SE-NE	2,5	544,3
5	14,2	22,3	9,9	69,9	96,0	34,0	11,9	9,5	1,6	5,4	8,1	68	SE	2,8	544,5
6	14,1	21,8	10,1	74,9	96,0	39,0	12,3	10,0	0,1	4,6	5,8	48	NE	3,8	544,8
7	12,8	18,6	8,8	77,1	96,0	47,0	11,8	9,4	0,3	2,7	1,0	8	SE	1,6	544,9
8	13,9	21,5	9,1	69,8	96,0	36,0	11,5	9,0	6,4	4,1	5,0	42	SE	1,2	544,2
9	13,5	20,6	9,8	79,0	96,0	46,0	12,6	10,5	0,1	3,1	5,4	45	SE	1,3	544,9
10	13,8	19,6	10,0	76,5	96,0	50,0	12,3	10,0	0,5	3,3	2,8	23	SE	1,3	544,5
11	15,5	23,5	8,8	65,5	96,0	31,0	11,4	8,9	1,0	5,8	9,9	83	SE	1,8	544,3
12	12,7	16,3	10,8	84,3	96,0	61,0	12,7	10,5	2,9	1,7	2,7	23	SE	1,3	544,9
13	12,4	17,5	9,8	84,9	96,0	60,0	12,5	10,3	7,7	1,6	1,3	11	SE	1,0	545,3
14	12,6	17,8	9,4	76,0	96,0	46,0	11,6	9,1	0,8	3,3	1,7	14	SE	2,2	545,5
15	12,3	17,7	9,1	85,0	96,0	64,0	12,6	10,4	1,6	1,7	2,4	20	SE	1,6	545,3
16	13,3	20,8	9,2	75,6	96,0	39,0	11,9	9,5	0,0	5,4	9,3	78	SE	1,8	545,4
17	14,1	22,7	9,0	68,3	96,0	36,0	10,5	7,8	0,0	5,5	8,4	70	SE	1,5	544,6
18	15,1	24,0	9,4	67,1	96,0	24,0	12,0	9,6	0,0	6,3	9,5	79	SE	1,3	544,1
19	13,2	17,1	10,3	76,3	93,0	49,0	12,0	9,6	0,1	1,9	0,0	0	SE	1,3	545,1
20	12,9	21,6	9,0	79,2	96,0	44,0	12,1	9,7	5,2	3,1	2,8	23	SE	1,4	544,8
21	14,3	22,3	8,9	69,3	96,0	33,0	11,7	9,3	0,0	6,1	9,5	79	SE	2,6	544,0
22	14,4	21,7	9,8	60,5	87,0	33,0	10,3	7,3	0,0	4,5	5,9	49	NE-SE	2,8	544,8
23	14,1	20,7	10,3	74,5	94,0	44,0	12,1	9,7	5,5	4,1	3,2	27	SE	1,3	545,2
24	13,5	20,9	9,7	76,0	96,0	40,0	12,1	9,7	0,0	3,7	4,1	34	SE	1,8	545,0
25	14,7	22,4	9,5	67,8	95,0	32,0	11,9	9,6	0,5	5,0	6,5	54	SE	1,8	544,6
26	12,9	19,2	10,0	78,6	96,0	47,0	12,2	9,9	0,0	2,6	0,9	8	SE	1,3	545,2
27	13,6	24,0	5,8	67,0	96,0	27,0	10,4	7,5	0,3	5,1	8,7	73	NE	2,6	544,3
28	14,8	22,7	9,8	64,9	96,0	27,0	10,7	7,9	15,2	4,1	8,1	68	SE	1,8	544,1
29	13,0	19,9	8,5	76,5	96,0	42,0	11,7	9,3	0,0	3,9	6,5	54	SE	2,0	544,6
30	13,2	20,5	9,0	75,3	95,0	40,0	11,8	9,4	0,1	4,6	5,2	43	SE	1,3	545,4
31	14,0	21,3	9,9	75,1	96,0	41,0	12,2	9,9	0,0	3,1	4,7	39	SE	1,5	545,1
SUMA	424,9	644,6	291,9	2261,6	2945,0	1264,0	362,5	286,8	50,3	126,1	161,0	1341,7	SE	58,4	16887,3
DIAS DE DATOS	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31		31	31
MEDIA	13,7	20,8	9,4	73,0	95,0	40,8	11,7	9,3			5,2	43,3		1,9	544,8
MÁX. 24 Hs.	15,5	24,0	10,8	85,0	96,0	64,0	12,7	10,5	15,2	6,3	9,9	83		3,8	545,5
FECHA	11	18; 27	12	15	VARIOS	15	12	9; 12	28	18	11	11		6	14
Nº DE DÍAS	1	2	1	1	23	1	1	2	1	1	1	1		1	1
MIN. 24 Hs.	12,3	16,3	5,8	60,5	84,0	24,0	10,3	7,3	0,0	1,6	0,0	0,0		1,0	544,0
FECHA	15	12	27	22	4	18	22	22	VARIOS	13	19	19		13	21
Nº DE DÍAS	1	1	1	1	1	1	1	1	12	1	1	1		1	1



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA



AÑO: 2019

MES: JUNIO

FECHA	TEMPERATURA °C			HUMEDAD RELATIVA %			TENSIÓN VAPOR	PUNTO ROCÍO	PRECIPITACIÓN	EVAPORACIÓN	HELIOFANÍA		VIENTO		PRESIÓN ATM.
	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	mlb	°C	mm	mm	Horas	%	Dirección	Velocidad m/s	mm Hg
1	14,0	22,3	8,7	74,2	96,0	37,0	12,3	9,9	8,2	3,8	4,6	38	SE	1,3	544,7
2	12,7	18,2	10,1	81,0	96,0	49,0	12,1	9,8	1,3	2,1	3,1	26	SE	1,5	545,3
3	12,3	20,7	8,4	77,1	96,0	44,0	11,5	9,0	0,7	3,1	3,8	32	SE	2,6	545,5
4	13,5	20,8	8,8	74,7	96,0	40,0	12,0	9,7	2,1	5,0	7,1	59	SE	2,6	545,6
5	13,1	20,5	9,0	76,1	96,0	44,0	11,9	9,6	0,0	4,6	5,5	46	SE	1,8	545,0
6	12,6	19,3	8,9	70,5	96,0	38,0	10,9	8,2	0,0	4,3	2,4	20	SE	1,5	545,3
7	13,3	19,9	8,9	68,3	91,0	40,0	10,8	8,1	0,0	4,2	2,1	18	SE	1,3	544,9
8	13,6	21,6	7,5	70,2	96,0	36,0	11,3	8,7	0,0	5,5	8,5	71	SE	2,5	545,2
9	13,1	19,6	9,9	78,3	96,0	43,0	12,1	9,8	0,2	2,9	2,3	19	SE	1,0	545,2
10	12,7	18,5	9,7	79,4	96,0	50,0	12,2	10,0	0,5	3,4	3,1	26	SE	2,3	544,7
11	12,7	20,2	9,4	80,0	96,0	42,0	11,9	9,5	2,0	3,0	2,7	23	SE	2,3	544,5
12	13,0	18,9	9,3	76,3	96,0	43,0	12,1	9,7	0,0	3,1	2,9	24	SE	2,2	545,2
13	12,5	19,7	8,8	78,6	96,0	45,0	11,5	8,9	0,2	3,7	2,4	20	SE	2,0	545,4
14	13,3	20,9	8,9	74,5	96,0	41,0	12,0	9,7	0,0	3,2	4,9	41	SE	2,3	545,6
15	14,1	22,3	9,9	75,6	96,0	41,0	12,1	9,8	0,6	4,6	5,4	45	SE	1,3	545,2
16	13,8	20,3	10,2	76,5	96,0	41,0	12,4	10,2	0,7	3,5	3,1	26	SE	2,5	545,4
17	12,6	19,4	7,4	75,5	96,0	42,0	11,2	8,6	0,1	3,4	2,8	23	NE-SE	3,0	545,4
18	12,7	18,6	9,5	67,7	96,0	38,0	13,9	10,1	0,0	4,8	3,8	32	SE	3,0	545,1
19	13,0	21,3	5,2	62,5	91,0	35,0	9,9	6,8	0,0	6,0	9,6	80	NE	3,8	544,8
20	12,4	19,4	8,0	72,7	93,0	44,0	11,0	8,3	1,6	4,1	3,7	31	SE	2,0	545,1
21	12,3	17,7	9,3	76,9	96,0	40,0	11,4	8,9	0,0	3,3	3,6	30	SE	1,3	545,4
22	11,8	19,1	7,4	76,0	96,0	39,0	11,0	8,3	0,0	3,4	3,8	32	SE	1,8	546,0
23	11,0	14,6	8,8	81,6	96,0	59,0	10,7	8,0	0,0	2,3	0,9	8	SE	1,8	545,7
24	12,3	19,7	8,8	77,7	96,0	40,0	11,4	8,9	0,2	2,7	0,7	6	SE	1,2	545,3
25	14,1	23,9	7,8	67,0	96,0	28,0	11,1	8,6	0,0	5,8	8,3	69	SE	3,6	544,1
26	14,7	22,5	9,1	68,0	95,0	32,0	11,4	8,9	0,0	6,4	9,9	83	NE-SE	3,0	544,1
27	14,6	22,7	9,9	67,9	96,0	33,0	11,7	9,3	0,0	6,3	8,3	69	SE	2,3	544,3
28	14,5	21,8	10,1	65,6	94,0	35,0	11,0	8,4	0,0	5,7	7,2	60	NE	2,3	544,6
29	13,0	19,0	9,2	74,9	96,0	44,0	11,4	8,9	1,2	3,3	2,5	21	SE	2,8	544,3
30	13,0	20,2	7,5	65,7	96,0	32,0	10,0	7,0	0,0	3,3	6,9	58	SE	1,3	545,1
SUMA	391,9	603,6	264,4	2211,0	2864,0	1215,0	345,9	269,2	19,6	120,0	135,9	1132,5	SE	63,6	16352,1
DIAS DE DATOS	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		30	30
MEDIA	13,1	20,1	8,8	73,7	95,5	40,5	11,5	9,0		4,0	4,5	38		2,1	545,1
MÁX. 24 Hs.	14,7	23,9	10,2	81,6	96,0	59,0	13,9	10,2	8,2	6,4	9,9	83		3,8	546,0
FECHA	26	25	16	23	VARIOS	23	18	16	1	26	26	26		19	22
Nº DE DÍAS	1	1	1	1	25	1	1	1	1	1	1	1		1	1
MIN. 24 Hs.	11,0	14,6	5,2	62,5	91,0	28,0	9,9	6,8	0,0	2,1	0,7	6		1,0	544,1
FECHA	23	23	19	19	7; 19	25	19	19	VARIOS	2	24	24		9	25; 26
Nº DE DÍAS	1	1	1	1	2	1	1	1	16	1	1	1		1	2



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA



AÑO: 2019

MES: JULIO

FECHA	TEMPERATURA °C			HUMEDAD RELATIVA %			TENSIÓN VAPOR	PUNTO ROCIO	PRECIPITACIÓN	EVAPORACIÓN	HELIOFANÍA		VIENTO		PRESIÓN ATM.
	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	mlb	°C	mm H ₂ O	mm	Horas	%	Dirección	Velocidad m/s	mm hg
1	12,4	20,0	7,1	69,5	96,0	33,0	9,8	6,8	0,0	3,4	4,7	39	SE	1,2	544,8
2	12,6	20,2	7,8	72,9	96,0	39,0	11,3	8,8	0,0	3,5	2,1	18	SE	1,6	544,8
3	14,7	24,2	9,0	66,3	94,0	31,0	10,9	8,3	0,0	6,2	8,0	67	SE	2,0	543,1
4	15,4	22,6	9,6	67,8	96,0	30,0	11,0	8,4	0,0	6,0	8,7	73	SE	1,5	544,4
5	14,1	21,5	9,1	63,8	93,0	36,0	10,1	7,1	0,3	6,0	6,5	54	SE	2,5	545,2
6	12,8	17,8	9,9	73,9	94,0	50,0	11,3	8,7	0,0	3,4	1,2	10	SE	2,8	545,4
7	12,4	19,3	9,0	74,5	95,0	41,0	10,5	7,7	0,2	3,9	4,1	34	SE	2,5	545,5
8	11,8	19,5	8,1	77,1	96,0	43,0	10,9	8,2	0,0	3,5	5,1	43	SE	2,2	545,0
9	11,2	19,8	6,2	69,9	96,0	31,0	9,5	6,1	0,0	4,1	5,9	49	SE	2,0	545,9
10	12,1	20,7	5,6	63,0	94,0	28,0	8,7	4,9	0,0	6,2	9,4	78	SE-NE	2,2	545,3
11	12,2	23,7	4,0	66,0	94,0	30,0	9,1	5,5	0,0	4,7	10,7	89	SE	1,8	544,7
12	13,0	20,4	8,3	71,8	94,0	40,0	10,9	8,2	0,0	5,6	6,1	51	SE	2,0	544,2
13	13,2	19,8	8,8	71,8	96,0	42,0	11,3	8,8	0,0	4,0	4,8	40	SE	2,3	544,2
14	12,2	19,0	8,8	75,3	96,0	42,0	12,5	8,2	0,0	3,2	2,5	21	SE	1,5	544,7
15	11,8	19,8	7,2	71,9	96,0	36,0	10,1	7,1	0,0	4,3	4,6	38	SE	2,6	544,8
16	11,8	20,7	2,3	65,9	94,0	33,0	8,8	5,0	0,0	4,7	9,5	79	NE-SE	2,2	545,0
17	12,6	19,8	8,7	73,8	96,0	37,0	11,0	8,4	0,0	5,1	2,3	19	SE	1,6	545,3
18	12,5	21,6	7,7	69,0	96,0	33,0	10,6	7,9	0,0	2,7	6,1	51	SE	2,0	545,3
19	12,3	20,5	5,9	66,3	94,0	35,0	9,3	5,9	0,0	4,5	7,9	66	NE-SE	1,5	545,3
20															
21															
22	12,8	19,6	8,9	74,3	96,0	45,0	10,9	8,2	1,0	3,8	3,0	25	SE	1,8	544,6
23	12,2	18,9	8,9	77,0	96,0	39,0	11,2	8,6	1,1	4,2	2,2	18	SE	1,3	545,2
24	12,1	19,8	8,6	74,8	96,0	40,0	11,3	8,8	0,0	4,3	2,9	24	SE	2,3	545,3
25	11,1	19,0	4,9	79,0	96,0	46,0	10,1	7,0	0,2	3,9	2,5	21	SE	1,5	545,3
26	13,1	21,0	9,0	69,5	96,0	37,0	9,8	6,6	0,0	3,7	6,0	50	NE-SE	1,5	545,5
27															
28															
29	12,6	22,7	6,0	60,0	96,0	22,0	8,0	3,6	0,0	7,0	10,6	88	SE	1,8	545,1
30	10,9	21,2	1,9	63,5	91,0	26,0	7,6	3,0	0,0	6,2	10,2	85	SE	1,8	545,5
31	10,7	19,6	4,3	71,4	96,0	35,0	9,1	5,6	0,0	4,2	6,2	52	SE	1,5	545,4
SUMA	336,4	552,7	195,6	1899,9	2569,0	980,0	275,2	191,1	2,8	121,3	153,8	1281,7	SE	51,2	14714,6
DIAS DE DATOS	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27		27	27
MEDIA	12,5	20,5	7,2	70,4	95,1	36,3	10,2	7,1			5,7	47,5		1,9	545,0
MÁX. 24 Hs.	15,4	24,2	9,9	79,0	96,0	50,0	12,5	8,8	1,1	7,0	10,7	89,2		2,8	545,9
FECHA	4	3	6	25	VARIOS	6	14	2; 13; 24	23	29	11	11		6	9
Nº DE DÍAS	1	1	1	1	17	1	1	3	1	1	1	1		1	1
MIN. 24 Hs.	10,7	17,8	1,9	60,0	91,0	22,0	7,6	3,0	0,0	2,7	1,2	10,0		1,2	543,1
FECHA	31	6	30	29	30	29	30	30	VARIOS	18	6	6		1	3
Nº DE DÍAS	1	1	1	1	1	1	1	1	22	1	1	1		1	1



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA



AÑO: 2019

MES: AGOSTO

FECHA	TEMPERATURA °C			HUMEDAD RELATIVA %			TENSIÓN VAPOR	PUNTO ROCIO	PRECIPITACIÓN	EVAPORACIÓN	HELIOFANÍA		VIENTO		PRESIÓN ATM.
	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	mlb	°C	mm H ₂ O	mm	Horas	%	Dirección	Velocidad m/s	mm hg
1	12,0	21,8	3,9	67,6	96,0	31,0	8,9	5,2	0,0	5,3	7,7	64	SE	2,3	544,9
2	13,2	20,5	9,2	77,8	96,0	36,0	11,1	8,5	0,6	1,7	3,6	30	SE	1,5	544,7
3											4,1	34			
4											0,7	6			
5	12,5	22,2	7,4	66,5	96,0	29,0	9,2	5,8	0,0	6,4	8,6	72	SE	1,8	546,0
6	12,7	21,5	5,6	58,5	93,0	26,0	8,7	4,9	0,0	7,0	9,6	80	NE	3,5	546,2
7	12,5	20,4	6,0	62,8	90,0	30,0	9,3	6,0	0,0	5,2	5,6	47	NE	3,0	546,7
8	12,5	21,1	5,8	65,3	96,0	31,0	9,1	5,6	0,0	4,5	5,2	43	SE	2,8	546,9
9	12,7	22,6	6,2	64,9	93,0	30,0	9,1	5,7	0,0	4,8	7,5	63	NE	2,3	545,7
10															
11															
12	13,3	20,6	8,5	69,3	92,0	36,0	10,5	7,7	0,0	4,5	5,5	46	SE	2,3	545,2
13	12,8	19,8	8,6	69,2	96,0	36,0	10,1	7,1	0,0	3,9	5,6	47	SE	2,0	544,8
14	10,8	16,2	8,5	67,3	96,0	38,0	9,4	6,0	0,0	3,6	3,6	30	SE	3,5	545,5
15	9,9	15,8	6,8	75,0	96,0	39,0	9,5	6,2	0,0	2,9	4,1	34	SE	2,3	545,6
16	11,6	20,1	4,5	58,8	88,0	25,0	8,0	3,7	0,0	3,0	5,0	42	SE	1,8	546,7
17															
18															
19	13,2	21,0	8,8	67,6	95,0	36,0	10,3	7,4	0,0	4,3	4,5	38	SE	2,8	545,2
20	12,1	20,0	7,2	67,6	96,0	31,0	9,6	6,3	0,0	3,8	2,0	17	SE	1,8	545,5
21	12,5	19,0	8,1	70,3	95,0	40,0	9,6	6,4	1,2	4,8	7,3	61	SE	3,3	545,7
22	11,7	19,2	7,8	75,5	96,0	39,0	10,5	7,8	0,7	4,1	4,6	38	SE	3,0	545,9
23	11,4	17,6	8,3	75,8	96,0	43,0	10,7	8,0	0,0	2,5	4,2	35	SE	2,5	546,5
24															
25															
26	12,4	20,4	5,8	67,1	92,0	34,0	10,0	7,0	0,0	4,3	3,5	29	NE	2,0	545,3
27	13,2	20,8	8,4	66,8	93,0	34,0	9,9	6,8	0,0	4,7	5,1	43	NE-SE	2,5	545,3
28	13,0	20,0	8,3	74,5	96,0	38,0	10,8	8,1	0,9	4,2	2,8	23	SE	2,8	545,3
29	12,5	21,2	8,4	69,1	96,0	30,0	10,4	7,5	0,0	4,8	6,2	52	SE	2,3	545,2
30	12,2	21,8	3,4	59,3	90,0	19,0	7,8	3,2	0,0	5,6	10,9	91	NE	2,5	545,4
31															
SUMA	270,6	443,6	155,5	1496,5	2073,0	731,0	212,2	140,4	3,4	95,3	127,5	1062,5	SE	54,1	12004,0
DÍAS DE DATOS	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	22	24	24	22	22
MEDIA	12,3	20,2	7,1	68,0	94,2	33,2	9,6	6,4			5,3	44,3		2,5	545,6
MÁX. 24 Hs.	13,3	22,6	9,2	77,8	96,0	43,0	11,1	8,5	1,2	7,0	10,9	91		3,5	546,9
FECHA	12	9	2	2	VARIOS	23	2	2	21	6	30	30		6; 14	8
Nº DE DÍAS	1	1	1	1	12	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1
MIN. 24 Hs.	9,9	15,8	3,4	58,5	88,0	19,0	7,8	3,2	0,0	1,7	0,7	6		1,5	544,7
FECHA	15	15	30	6	16	30	30	30	VARIOS	2	4	4		2	2
Nº DE DÍAS	1	1	1	1	1	1	1	1	18	1	1	1	1	1	1



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA



AÑO: 2019

MES: SEPTIEMBRE

FECHA	TEMPERATURA °C			HUMEDAD RELATIVA %			TENSIÓN VAPOR	PUNTO ROCÍO	PRECIPITACIÓN	EVAPORACIÓN	HELIOFANÍA		VIENTO		PRESIÓN ATM.
	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	mlb	°C	mm H ₂ O	mm	Horas	%	Dirección	Velocidad m/s	mm Hg
1	9,9			57,5	96,0	33,0									
2	13,6	23,7	5,8	58,2	93,0	25,0	8,8	5,2	0,0	6,8	9,6	80	NE	3,5	544,7
3	13,6	22,0	5,3	60,9	89,0	37,0	9,9	6,8	0,0	6,3	8,3	69	NE	3,8	544,6
4	13,7	22,8	6,7	73,1	96,0	34,0	11,1	8,5	2,6	5,3	6,1	51	NE	1,8	544,9
5	13,0	19,6	7,7	72,5	96,0	40,0	10,7	7,9	0,0	3,7	4,2	35	NE-SE	2,6	545,7
6	12,9	19,7	8,4	69,3	96,0	38,0	10,3	7,4	0,0	4,2	1,5	13	NE	3,6	545,6
7	12,3	19,4	6,4	63,3	93,0	31,0	9,4	5,9	0,0	3,6	2,6	22	NE	1,5	546,0
8	13,5	21,6	8,2	54,5	91,0	24,0	8,8	5,0	0,0	6,7	7,5	63	NE-SE	2,3	546,9
9	11,7	21,8	4,3	59,2	85,0	35,0	8,9	5,3	0,0	4,1	6,9	58	SE	2,0	546,4
10	12,8	22,0	3,0	61,4	93,0	32,0	8,6	4,8	0,0	6,5	10,3	86	NE-SE	2,3	545,0
11	14,4	23,0	8,1	63,9	96,0	30,0	10,4	7,5	0,0	5,6	5,6	47	NE-SE	3,6	544,1
12	13,7	22,5	10,2	70,9	95,0	36,0	11,0	8,4	0,4	4,8	2,9	24	SE	2,8	543,9
13	13,9	20,6	9,4	64,9	96,0	36,0	10,2	7,2	0,0	5,2	4,9	41	SE	3,0	544,9
14	12,5	18,8	9,2	70,4	94,0	39,0	10,7	8,0	0,0	3,6	0,5	4	SE	2,3	545,3
15	12,4	18,1	7,3	72,0	94,0	42,0	10,8	8,2	0,0	3,2	1,5	13	SE	1,8	545,1
16	13,5	23,2	4,7	62,8	96,0	27,0	9,2	5,7	0,0	5,3	8,9	74	SE	2,5	545,3
17	13,5	22,8	4,2	61,6	90,0	32,0	9,0	5,3	28,1	6,6	7,6	63	SE	1,5	545,1
18	13,1	20,0	8,4	70,6	96,0	41,0	11,2	8,7	0,4	4,6	2,6	22	SE	1,2	544,9
19	12,2	22,3	5,9	79,5	96,0	42,0	11,0	8,3	19,6	6,3	5,3	44	NW-NE-SE	1,0	543,9
20	12,3	17,8	8,0	80,7	96,0	50,0	11,7	9,3	0,0	2,2	2,4	20	SE	1,8	544,3
21	13,6	19,6	8,1	69,9	96,0	40,0	11,0	8,3	0,0	4,6	4,2	35	NE	3,8	545,2
22	13,4	21,4	8,1	66,3	96,0	30,0	10,6	7,8	0,0	6,3	8,1	68	NE-SE	3,0	545,8
23	11,0	19,2	5,8	78,8	96,0	48,0	9,8	6,7	7,7	2,5	2,2	18	SE	1,3	546,3
24	12,1	18,9	8,0	78,5	96,0	49,0	11,4	9,0	0,1	3,2	2,4	20	SE	1,0	546,3
25	11,6	17,6	8,9	73,5	96,0	49,0	10,8	8,1	0,0	4,0	2,2	18	SE	1,5	546,3
26	13,1	22,0	4,8	64,8	92,0	32,0	9,6	6,3	0,0	4,5	7,6	63	SW-SE	1,5	545,9
27	13,7	22,0	7,6	67,3	96,0	33,0	10,2	7,2	0,0	6,1	8,0	67	SE	2,5	545,3
28	13,5	22,6	9,0	70,8	96,0	33,0	11,2	8,7	0,0	5,7	6,0	50	SE	2,8	545,2
29	13,9	23,2	4,9	65,4	95,0	28,0	10,2	7,2	0,0	6,8	9,6	80	SE	3,3	544,7
30	14,4	24,2	10,7	71,9	96,0	27,0	10,8	8,0	5,7	6,7	5,0	42	SE	1,5	543,6
SUMA	388,8	612,4	207,1	2034,3	2832,0	1073,0	296,9	210,2	64,6	144,4	154,5	1288	SE	66,7	15810,8
DIAS DE DATOS	30	29	29	30	30	30	29	29	29	29	29	29		29	29
MEDIA	13,0	21,1	7,1	67,8	94,4	35,8	10,2	7,2		5,0	5,3	44,4		2,3	545,2
MÁX. 24 Hs.	14,4	24,2	10,7	80,7	96,0	50,0	11,7	9,3	28,1	6,8	10,3	86		3,8	546,9
FECHA	11; 30	30	30	20	18	20	20	20	17	2; 29	10	10		3; 21	8
Nº DE DÍAS	2	1	1	1	VARIOS	1	1	1	1	2	1	1		2	1
MIN. 24 Hs.	9,9	17,6	3,0	54,5	85,0	24,0	8,6	4,8	0,0	2,2	0,5	4		1,0	543,6
FECHA	1	25	10	8	9	8	10	10	21	20	14	14		19; 24	30
Nº DE DÍAS	1	1	1	1	1	1	1	1	VARIOS	1	1	1		2	1



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA



AÑO: 2019

MES: OCTUBRE

FECHA	TEMPERATURA °C			HUMEDAD RELATIVA %			TENSIÓN VAPOR	PUNTO ROCÍO	PRECIPITACIÓN	EVAPORACIÓN	HELIOFANÍA		VIENTO		PRESIÓN ATM.
	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	mlb	°C	mm H ₂ O	mm	Horas	%	Dirección	Velocidad m/s	mm hg
1	13,3	21,8	7,6	65,5	94,0	25,0	10,0	7,0	0,0	3,2	2,6	22	SE	1,5	544,0
2	13,9	22,0	10,4	71,7	96,0	31,0	11,3	8,8	1,6	3,7	1,7	14	SE	2,0	543,5
3	12,1	18,3	8,4	75,0	95,0	45,0	10,8	8,0	3,2	3,2	2,3	19	SE	2,0	545,2
4	14,0	23,7	8,1	66,3	96,0	30,0	10,5	7,7	0,0	6,1	8,0	67	NE-SE	2,0	544,6
5	14,0	23,5	7,3	65,9	95,0	25,0	10,3	7,3	6,5	6,8	9,4	78	NE	2,8	544,4
6	13,6	23,5	8,5	73,3	95,0	43,0	11,5	9,1	0,0	4,0	3,2	27	SE	2,0	544,2
7	13,7	20,5	9,0	69,4	96,0	38,0	11,2	8,6	0,1	4,2	3,3	28	SE	1,5	543,9
8	11,7	17,5	9,9	74,8	96,0	42,0	11,0	8,3	0,8	2,6	0,6	5	SE	1,0	544,8
9	11,9	20,8	4,0	69,3	93,0	38,0	9,9	6,8	0,0	3,4	7,5	63	SE	2,4	544,1
10	12,3	18,7	6,5	74,6	96,0	47,0	10,6	7,8	0,7	3,0	1,1	9	SE	1,8	543,8
11	12,6	20,9	9,0	75,1	96,0	36,0	10,8	8,2	0,0	4,2	3,6	30	SE	1,0	543,6
12	13,8	21,0	9,3	70,0	93,0	40,0	11,2	8,6	0,0	5,1	2,8	23	SE	2,0	543,9
13	12,7	18,7	9,3	71,1	96,0	41,0	10,8	8,1	0,0	3,6	0,8	7	SE	2,8	544,3
14	12,9	20,7	6,3	64,4	94,0	33,0	9,2	5,8	0,0	6,7	7,2	60	SE	1,8	544,9
15	12,9	19,8	7,7	68,4	96,0	37,0	10,4	7,5	0,0	3,5	4,1	34	SE	1,5	545,1
16	12,7	20,5	8,3	75,7	96,0	42,0	11,2	8,6	0,0	3,7	2,7	23	SE	2,2	544,8
17	14,5	23,2	9,1	71,0	96,0	34,0	11,5	9,0	0,0	6,6	8,0	67	SE	3,3	543,9
18	14,7	22,7	10,0	69,6	96,0	32,0	11,2	8,6	0,0	6,2	8,6	72	SE	1,8	543,5
19	13,8	21,4	9,3	74,6	96,0	35,0	11,6	9,1	0,0	3,8	4,0	33	NE	0,8	545,1
20	11,1	13,9	9,2	89,4	96,0	76,0	11,8	9,4	1,2	1,8	0,0	0	SE	0,8	545,4
21	13,0	18,4	8,0	73,6	96,0	48,0	10,9	8,3	0,1	3,0	1,9	16	SE	1,0	544,7
22	14,4	22,6	9,8	70,8	96,0	39,0	11,4	8,8	9,9	4,9	3,7	31	SE	1,3	544,3
23	12,3	18,0	8,5	80,8	96,0	45,0	11,8	9,4	2,2	2,1	0,0	0	SE	0,8	543,8
24	13,4	22,0	9,6	79,0	96,0	46,0	12,1	9,8	2,3	3,6	5,7	48	SE	1,4	543,5
25	12,9	18,5	9,9	77,9	96,0	46,0	11,8	9,4	0,9	4,3	3,1	26	SE	1,4	544,3
26	13,4	18,6	9,8	77,0	96,0	53,0	12,1	9,8	0,6	3,5	5,2	43	SE	2,5	544,5
27	13,9	21,3	9,9	74,8	96,0	38,0	12,2	9,9	0,0	5,1	6,2	52	SE	1,5	544,1
28	14,7	22,7	10,0	68,1	96,0	31,0	11,4	8,8	0,0	7,9	9,5	79	SE	2,0	544,3
29	14,0	21,7	9,0	71,4	96,0	31,0	11,5	9,0	2,2	3,2	4,5	38	SE	1,0	544,1
30	13,6	21,0	6,6	71,9	96,0	39,0	11,3	8,7	0,0	5,4	6,8	57	SE	1,8	543,6
31	13,6	20,3	9,2	71,8	96,0	38,0	11,3	8,7	0,0	5,0	4,4	37	SE	1,6	543,5
SUMA	411,4	638,2	267,5	2252,2	2963,0	1224,0	344,6	262,9	32,3	133,4	132,5	1108,0	SE	53,3	16871,7
DIAS DE DATOS	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31		31	31
MEDIA	13,3	20,6	8,6	72,7	95,6	39,5	11,1	8,5			4,3	35,7		1,7	544,2
MÁX. 24 Hs.	14,7	23,7	10,4	89,4	96,0	76,0	12,2	9,9	9,9	7,9	9,5	79,0		3,3	545,4
FECHA	18; 28	4	2	20	VARIOS	20	27	27	22	28	28	28		17	20
Nº DE DÍAS	2	1	1	1	24	1	1	1	1	1	1	1		1	1
MIN. 24 Hs.	11,1	13,9	4,0	64,4	93,0	25,0	9,2	5,8	0,0	1,8	0,0	0,0		0,8	543,5
FECHA	20	20	9	14	9; 12	1; 5	14	14	VARIOS	20	20; 23	20; 23		19; 20; 23	2; 18; 24; 31
Nº DE DÍAS	1	1	1	1	2	2	1	1	17	1	2	2		3	4



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA



AÑO: 2019

MES: NOVIEMBRE

FECHA	TEMPERATURA °C			HUMEDAD RELATIVA %			TENSIÓN VAPOR	PUNTO ROCÍO	PRECIPITACIÓN	EVAPORACIÓN	HELIOFANÍA		VIENTO		PRESIÓN ATM.
	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	mlb	°C	mm H ₂ O	mm	Horas	%	Dirección	Velocidad m/s	mm Hg
1	14,2	22,3	8,8	71,0	96,0	33,0	11,5	9,1	17,7	4,7	3,2	27	SE	0,8	544,8
2	14,4	20,3	10,0	74,0	96,0	41,0	12,4	10,2	0,0	4,5	6,1	51	SE	2,3	543,6
3	14,8	21,7	10,0	72,1	96,0	33,0	12,4	10,2	0,3	6,3	6,7	56	SE	1,3	543,2
4	15,6	23,6	11,3	65,1	95,0	28,0	11,7	9,2	0,0	7,2	9,1	76	SE	2,0	542,5
5	15,2	23,7	8,9	65,8	96,0	30,0	11,2	8,6	0,0	6,8	10,1	84	SE	2,3	543,1
6	14,5	21,8	10,3	72,9	95,0	37,0	11,9	9,5	5,1	5,2	4,7	39	SE	3,2	543,1
7	13,7	20,8	10,1	74,3	96,0	40,0	11,9	9,6	0,0	4,9	6,1	51	SE	2,6	543,1
8	13,4	22,3	6,8	72,7	96,0	36,0	11,3	8,7	0,0	4,5	4,2	35	SE	1,8	543,1
9	14,4	22,0	9,9	76,9	96,0	41,0	12,9	10,7	2,1	4,7	3,9	33	SE	2,3	543,1
10	14,7	21,0	10,3	74,3	96,0	45,0	12,8	10,7	2,4	2,7	2,1	18	SE	1,0	544,1
11	14,2	19,0	11,0	79,0	96,0	50,0	12,4	10,2	7,7	3,5	1,0	8	SE	1,3	544,0
12	14,8	22,6	10,3	75,9	96,0	41,0	12,8	10,6	20,7	5,6	5,4	45	SE	1,5	543,3
13	14,7	21,6	11,0	76,6	96,0	47,0	13,0	10,8	0,3	3,5	5,2	43	SE	2,0	543,3
14	15,7	23,6	10,8	67,5	94,0	33,0	12,2	9,9	0,0	5,7	7,0	58	NE	1,6	542,9
15	15,5	23,5	11,0	60,8	86,0	30,0	10,6	7,8	0,0	5,1	3,0	25	SE	1,2	543,0
16	13,3	19,6	8,9	75,2	96,0	42,0	11,2	8,7	0,0	2,5	0,5	4	SE	1,3	543,8
17	14,3	25,2	7,8	65,6	91,0	28,0	10,6	7,8	0,0	5,6	7,5	63	SE-SW	0,7	542,4
18	14,3	24,0	8,4	70,7	96,0	28,0	11,1	8,4	17,6	9,1	8,5	71	SE-W	1,0	543,6
19	13,8	20,0	9,9	74,6	96,0	45,0	11,7	9,3	0,2	3,2	4,1	34	SE	1,3	543,9
20	14,2	22,1	9,8	69,6	96,0	35,0	11,5	9,0	0,0	4,8	6,5	54	SE	2,0	543,9
21	14,3	22,7	9,0	73,8	96,0	29,0	11,4	8,8	2,0	5,1	7,4	62	SE	1,2	543,3
22	15,1	23,3	7,8	61,8	91,0	29,0	10,5	7,7	0,0	5,5	7,7	64	SE	1,4	542,8
23	14,5	21,3	9,0	69,9	95,0	35,0	11,2	8,6	0,0	3,7	4,6	38	SE	1,5	543,1
24	14,3	20,6	10,2	74,3	96,0	35,0	12,2	10,0	0,4	5,0	4,0	33	SE	1,8	543,3
25	14,7	22,5	9,6	66,1	96,0	34,0	11,0	8,4	0,0	6,4	7,8	65	SE	1,5	542,9
26	14,4	22,2	9,0	67,0	93,0	37,0	10,9	8,2	0,0	4,6	6,6	55	NE	2,8	542,6
27	14,0	20,0	9,2	67,6	92,0	45,0	11,0	8,4	1,0	3,4	2,6	22	NE	3,6	543,4
28	14,0	21,2	8,9	76,2	96,0	41,0	12,5	10,3	0,4	4,7	5,7	48	SE	2,0	544,1
29	15,0	22,5	10,1	71,8	96,0	39,0	12,1	9,8	0,1	5,1	4,7	39	SE	2,0	543,2
30	15,8	23,6	9,9	69,7	96,0	31,0	11,8	9,4	5,4	6,2	8,0	67	SE	1,8	542,7
SUMA	435,7	660,6	288,0	2132,6	2848,0	1098,0	351,5	278,3	83,4	149,3	164,0	1367	SE	52,6	16299,0
DIAS DE DATOS	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30		30	30
MEDIA	14,5	22,0	9,6	71,1	94,9	36,6	11,7	9,3		5,0	5,5	45,6		1,8	543,3
MÁX. 24 Hs.	15,8	25,2	11,3	79,0	96,0	50,0	13,0	10,8	20,7	9,1	10,1	84		3,6	544,8
FECHA	30	17	4	11	VIARIOS	11	13	13	12	18	5	5		27	1
Nº DE DÍAS	1	1	1	1	21	1	1	1	1	1	1	1		1	1
MIN. 24 Hs.	13,3	19,0	6,8	60,8	86,0	28,0	10,5	7,7	0,0	2,5	0,5	4		0,7	542,4
FECHA	16	11	8	15	15	4; 7; 18	22	22	VIARIOS	16	16	16		17	17
Nº DE DÍAS	1	1	1	1	1	3	1	1	14	1	1	1		1	1



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA



AÑO: 2019

MES: DICIEMBRE

FECHA	TEMPERATURA °C			HUMEDAD RELATIVA %			TENSIÓN VAPOR	PUNTO ROCÍO	PRECIPITACIÓN	EVAPORACIÓN	HELIOFANÍA		VIENTO		PRESIÓN ATM.
	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima	mlb	°C	mm	mm	Horas	%	Dirección	Velocidad m/s	mm Hg
1	13,6	17,2	10,3	80,6	96,0	54,0	12,5	10,3	0,1	3,0	1,0	8	SE	1,0	544,2
2	14,1	21,6	9,3	70,8	96,0	39,0	11,8	9,4	0,0	4,7	3,3	28	SE	1,8	544,5
3	14,4	22,5	8,9	67,0	95,0	32,0	10,9	8,2	0,0	4,8	4,1	34	NE	1,3	544,2
4	15,2	24,0	10,0	69,2	93,0	30,0	11,5	9,1	2,5	6,0	6,4	53	NE-SE	1,6	543,2
5	14,9	22,4	8,7	68,8	96,0	33,0	11,4	8,9	14,9	5,5	7,5	63	SE	3,0	543,4
6	12,8	18,7	9,0	79,0	96,0	53,0	12,0	9,7	5,2	2,7	0,9	8	SE	1,8	544,9
7	13,9	20,0	9,6	72,3	96,0	46,0	11,7	9,3	0,0	3,8	3,4	28	SE	1,0	544,4
8	13,8	22,6	9,7	75,2	96,0	37,0	11,6	9,1	25,7	7,6	6,5	54	SE	1,3	543,6
9	13,4	21,0	8,4	78,3	96,0	36,0	13,0	10,8	0,9	4,1	4,5	38	SE	1,0	544,0
10	14,5	21,9	10,0	72,0	95,0	31,0	11,8	9,4	3,0	6,1	6,4	53	SE	1,5	543,3
11	14,9	22,5	8,6	69,2	95,0	33,0	11,7	9,3	0,0	5,3	7,4	62	SE	1,6	542,8
12	14,3	21,8	10,4	74,5	94,0	38,0	12,6	10,5	0,0	3,5	3,8	32	SE	1,2	542,4
13	14,1	22,4	7,6	65,7	86,0	34,0	11,4	9,0	0,0	4,0	5,6	47	SE	0,8	542,3
14	14,3	23,3	7,2	69,3	94,0	28,0	10,7	7,8	0,0	5,2	7,6	63	SE	1,3	543,2
15	14,4	22,0	9,6	65,4	92,0	36,0	11,2	8,6	0,0	5,3	3,8	32	SE	1,5	544,0
16	15,1	22,6	10,9	67,9	93,0	32,0	11,3	8,8	0,0	6,2	8,9	74	SE	1,3	543,4
17	15,5	23,7	9,8	64,2	94,0	26,0	11,6	9,2	0,0	6,3	9,1	76	SE	1,3	542,7
18	15,4	23,8	10,0	64,2	91,0	27,0	11,0	8,4	0,0	7,0	9,5	79	SE	2,4	541,8
19	14,0	20,8	10,1	70,8	94,0	43,0	11,6	9,1	0,0	4,2	1,9	16	SE	2,0	543,1
20	13,3	19,3	9,7	73,4	92,0	46,0	11,9	9,6	0,0	4,3	2,1	18	SE	2,6	543,4
21	14,5	21,6	9,0	70,0	94,0	39,0	11,7	9,2	0,5	4,5	5,1	43	NE-SE	2,0	543,7
22	14,2	21,0	10,0	71,4	96,0	39,0	11,7	9,3	0,0	6,0	4,2	35	SE	2,5	543,7
23	14,1	19,8	10,3	74,6	92,0	44,0	12,6	10,4	0,2	3,1	0,8	7	SE	1,5	544,0
24	14,6	21,1	10,6	70,2	96,0	41,0	12,1	9,8	0,1	5,2	6,0	50	SE	2,3	543,7
25	15,5	24,0	9,8	66,2	92,0	34,0	12,1	9,8	0,6	4,7	9,0	75	SE	2,3	542,7
26	15,2	22,5	10,5	67,1	96,0	34,0	11,6	9,2	0,3	5,3	5,6	47	SE	2,8	543,1
27	15,1	23,5	10,4	70,5	95,0	36,0	12,2	10,0	0,2	5,6	5,8	48	SE	2,4	543,2
28	15,4	22,8	10,1	67,7	95,0	36,0	11,9	9,6	1,1	5,7	5,7	48	SE	2,8	543,1
29	15,2	21,2	10,0	67,8	93,0	38,0	12,2	9,9	0,0	5,7	5,6	47	SE	2,0	543,0
30	14,6	23,3	10,8	73,6	95,0	36,0	13,0	10,8	2,6	3,5	4,0	33	SE	2,0	543,3
31	15,3	23,5	9,8	76,3	96,0	37,0	12,8	10,6	1,9	5,8	5,1	43	SE	1,8	543,5
SUMA	449,4	678,4	299,1	2193,1	2920,0	1148,0	367,0	292,7	59,8	153,8	160,6	1338,3	SE	55,2	16845,5
DIAS DE DATOS	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31	31		31	31
MEDIA	14,5	21,9	9,6	70,7	94,2	37,0	11,8	9,4		5,0	5,2	43		1,8	543,4
MÁX. 24 Hs.	15,5	24,0	10,9	80,6	96,0	54,0	13,0	10,8	25,7	7,6	9,5	79		3,0	544,9
FECHA	17; 25	4; 25	16	1	11	1	9; 30	9; 30	8	8	18	18		5	6
Nº DE DÍAS	2	2	1	1	VARIOS	1	2	2	1	1	1	1		1	1
MIN. 24 Hs.	12,8	17,2	7,2	64,2	86,0	26,0	10,7	7,8	0,0	2,7	0,8	7		0,8	541,8
FECHA	6	1	14	17; 18	13	17	14	14	15	6	23	23		13	18
Nº DE DÍAS	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1

1. Plan de marketing

El plan de marketing tiene como objetivo fundamental justificar la construcción del secador solar mediante la comercialización del producto seco en la ciudad de Riobamba para lo cual es indispensable realizar un estudio de mercado que sustente el lanzamiento de la fresa seca al mercado, por tal motivo se ha tomado como antecedente investigativo al estudio realizado por Toainga (2019) donde se detalla la existencia de una demanda de productos orgánicos en la ciudad.

1.1. Población y muestra

La población económicamente activa de la ciudad de Riobamba según el INEC (2010) es de 76 113 habitantes, en base a ello calculamos la muestra del estudio mediante la ecuación:

$$n = \frac{m}{e^2(m-1)+1} \quad (48)$$

Donde:

n = Muestra

m = Población

e^2 = Error admisible 0,05 (5%)

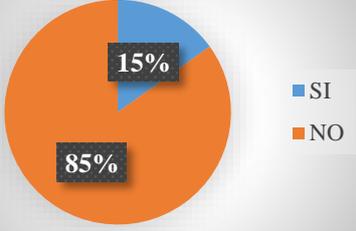
$$n = \frac{76\ 113}{0,05^2(76\ 113 - 1) + 1} = 398$$

1.2. Instrumento de recolección

La encuesta orientada al consumo de productos orgánicos se aplicó a la muestra de 398 habitantes y los resultados se detallan a continuación:

- *PREGUNTA 1: ¿Añade productos orgánicos a su canasta básica familiar?*

Tabla 1: Resultados pregunta 1

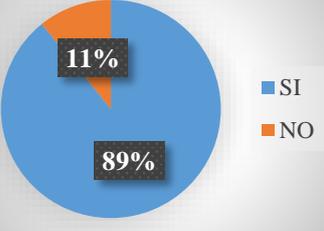
ALTERNATIVA	CANTIDAD	PORCENTAJE	GRÁFICO
SI	60	15%	
NO	338	85%	
TOTAL	398	100%	

Fuente: Autor

En los hogares riobambeños el 15% de la población añade productos orgánicos a su canasta familiar, entre los cuales se encuentran los frutos secos. Este porcentaje de la población se considera como los clientes potenciales para la fresa seca.

- *PREGUNTA 2: ¿En un futuro considera añadir productos orgánicos a su canasta básica familiar?*

Tabla 2: Resultados pregunta 2

ALTERNATIVA	CANTIDAD	PORCENTAJE	GRÁFICO
SI	355	89%	
NO	43	11%	
TOTAL	398	100%	

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

En los hogares riobambeños el 89% de la población considera añadir productos orgánicos a su canasta familiar, entre los cuales se encuentran los frutos secos. Este resultado revela que a futuro la demanda de productos orgánicos aumentará y por consecuencia el negocio será más rentable.

- *PREGUNTA 3: ¿Adquiere frutos secos a los productos orgánicos que consume?*

Tabla 3: Resultados pregunta 3

ALTERNATIVA	CANTIDAD	PORCENTAJE	GRÁFICO
SI	54	90%	
NO	6	10%	
TOTAL	60	100%	

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

El 90% del total de consumidores de productos orgánicos encuestados afirman que añaden frutos secos en su compra, lo cual indica que existe una tendencia del cliente para el consumo del producto obtenido del secado solar.

- *PREGUNTA 4: ¿Ha consumido frutos secos alguna vez en su vida?*

Tabla 4: Resultados pregunta 4

ALTERNATIVA	CANTIDAD	PORCENTAJE	GRÁFICO
SI	342	86%	
NO	56	14%	
TOTAL	398	100%	

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

El 86% de la población ha consumido frutos secos alguna vez en su vida.

- *PREGUNTA 5: Califique en una escala del 1 al 5 el fruto seco que consumió.*

Tabla 5: Resultados pregunta 5

ALTERNATIVA	CANTIDAD	PORCENTAJE	GRÁFICO
1 (Muy baja)	36	9	
2 (Baja)	51	13	
3 (Medio)	60	15	
4 (Bueno)	243	61	
5 (Muy bueno)	8	2	
TOTAL	398	100%	

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

El 61% de los encuestados califica como bueno los productos consumidos, lo que revela que el fruto seco es del agrado para el paladar de la mayoría de la población los frutos secos.

- *PREGUNTA 6: ¿Le gustaría que Yumbillo Express realice promociones de sus productos como una estrategia para el posicionamiento de mercado?*

Tabla 6: Resultados pregunta 6

ALTERNATIVA	CANTIDAD	PORCENTAJE	GRÁFICO
SI	327	82%	
NO	71	18%	
TOTAL	398	100%	

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

Del 100% de los encuestados al 82% les gustaría que Yumbillo Express realice promociones para posicionarse en el mercado, el resultado revela que el interés de la población por consumir el fruto seco a ofertar.

- *PREGUNTA 7: ¿Le gustaría adquirir los frutos secos ofertados por Yumbillo Express?*

Tabla 7: Resultados pregunta 7

ALTERNATIVA	CANTIDAD	PORCENTAJE	GRÁFICO
SI	356	89%	
NO	42	11%	
TOTAL	398	100%	

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

Al 89% de la población le gustaría adquirir los frutos secos ofertados por Yumbillo Express, lo cual demuestra que el producto que oferta la empresa tendría acogida por parte de la población de Riobamba.

Además un análisis de mercado que VECO (2018) realizó a nivel nacional reveló que Riobamba ocupó el segundo lugar de las ciudades que consumen productos orgánicos, cuyo dato es relevante para el presente estudio ya que su fin es la comercialización de productos secos.

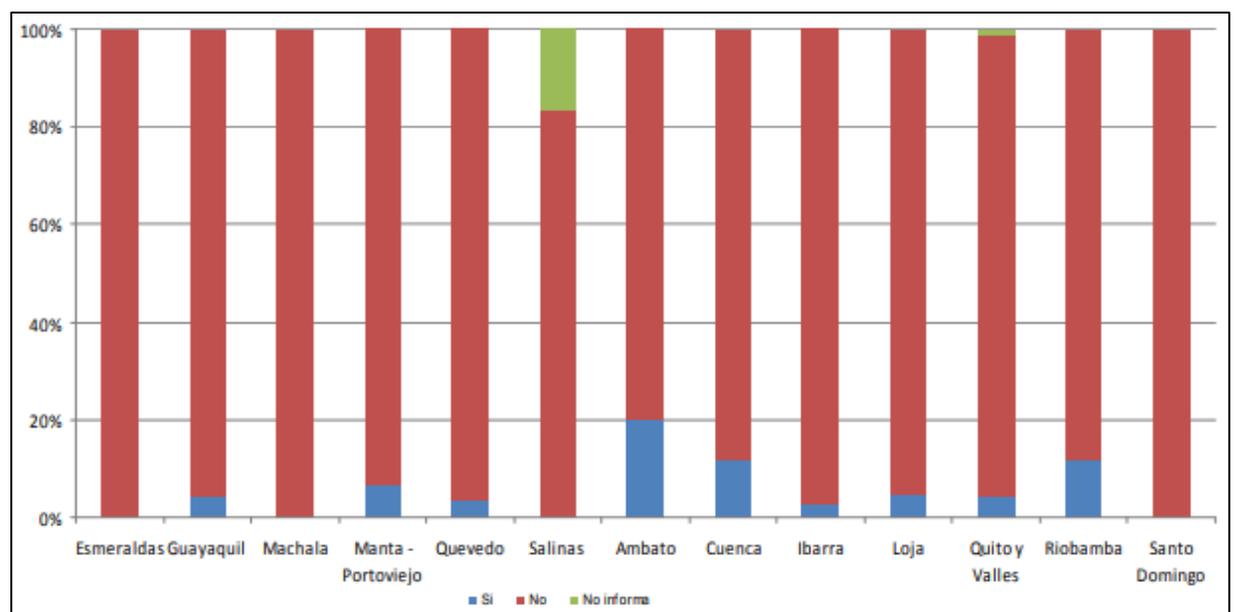


Figura 1: Consumo de productos orgánicos en el Ecuador

Fuente: VECO Ecuador (2018)

1.3. Objetivos del marketing

Se han planteado los siguientes objetivos para la comercialización de productos secos en la ciudad de Riobamba:

- Priorizar la demanda del cliente y satisfacerla fabricando productos de buena calidad.
- Producir y comercializar frutilla seca.

1.4. Competencia

La competencia potencial para la producción de productos secos en la ciudad de Riobamba se detalla en la *Tabla 20-4. Competencia producción de productos secos.*

Tabla 8: Competencia producción de productos secos

Características	Competencia 1 PROAMEC	Competencia 2 JATUNWASI
UBICACIÓN DE LOS CLIENTES	Ciudad de Riobamba	Ciudad de Riobamba
PRODUCTOS	Variedad de productos secos	Variedad de productos secos
FORMA DE DISTRIBUCIÓN	Vehículo propio para el transporte del producto.	Vehículo propio y un agente vendedor que recorre los diferentes lugares según sus pedidos y ofertando los productos.
LOCALIZACIÓN	Planta de procesamiento.	Planta de procesamiento.
TIEMPO EN EL MERCADO	2 años	3 años
PERCEPCIÓN DE LOS CLIENTES	Producto bueno.	Producto aceptable.

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

1.5. Clientes

Los supermercados como Dicosavi, Cordtuch, Ahí es, Tienda ERPE, CAMARI, y los consumidores individuales son los clientes potenciales para el consumo y distribución de la frutilla seca.

1.6. Proveedores

Los principales proveedores son los pequeños agricultores del cantón Riobamba.

1.7. Producción

Una vez comprobado el adecuado funcionamiento del secador solar y evaluado la demanda del mercado para productos orgánicos, se efectuó la producción del producto seco durante los meses de Enero a Agosto de lunes a viernes, los resultados se detallan en la *Tabla 21-4. Producción.*

Tabla 9: Producción

Meses	Temperatura (°C)	Semana 1 (g)	Semana 2 (g)	Semana 3 (g)	Semana 4 (g)	Total (g)	mg obtenidos/día
Enero	13,2	1052	1112	1096	1201	4461	223,05
Febrero	13,9	1123	1302	1023	1306	4754	237,7
Marzo	13,8	1096	1104	1078	1256	4534	226,7
Abril	12,9	1003	998	1001	985	3987	199,35
Mayo	13,2	1102	1105	1076	1094	4377	218,85
Junio	12,7	1002	1020	903	957	3882	194,1
Julio	12,6	998	1002	903	955	3858	192,9
Agosto	12,4	898	972	957	1002	3829	191,45
Total						33682	210,51

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

La producción total de frutilla seca empleando el secador solar fabricado durante los meses de Enero a Agosto es de 33 682 g de producto, con un promedio de 210,51 g de fruta diarios.

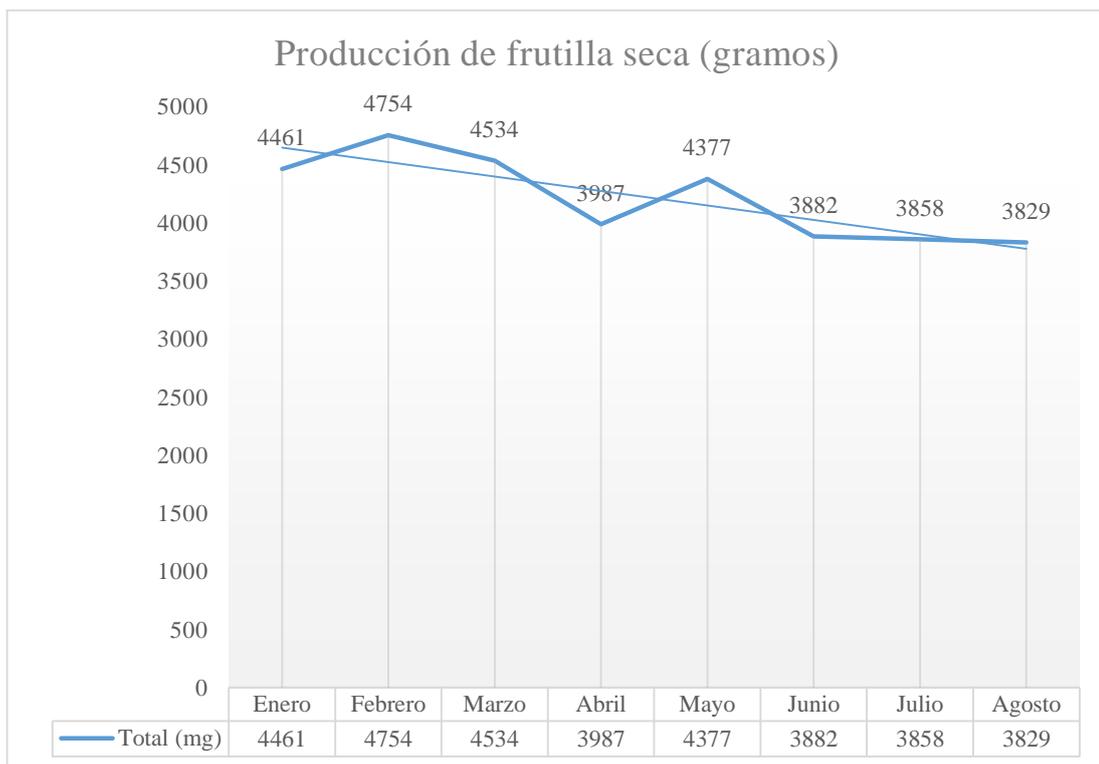


Gráfico 1: Producción de frutilla seca

Realizado por: Yumbillo, Braulio, 2019

Como se puede observar en la figura anterior mensualmente se produce entre 4 y 5 kilogramos de frutilla seca seca.

1.8. Costo beneficio

Se halla la relación costo-beneficio (C/B), que es igual a los ingresos totales netos divididos por los costos totales:

$$\frac{C}{B} = \frac{\text{ingreso total}}{\text{costo total}} \quad (49)$$

Si el análisis de la relación C/B es mayor a 1 significa que es rentable, mientras que si es igual o menor a 1 indica que no es rentable.

El costo de producción por cada unidad del producto resulta de la suma del costo de la frutilla fresca más el valor de sus empaques (plástico y de papel)

$$\text{Costo de producción} = \text{Costo de la frutilla} + \text{empaque} \quad (50)$$

$$\text{Costo de producción} = 25 + 12$$

$$\text{Costo de producción} = 37 \text{ centavos}$$

El costo de producción de un empaque de 20 g de frutilla seca es de 37 centavos mientras que cada empaque de 20 g del producto tiene un precio de venta de 75 centavos. Con estos datos se calcula el C/B como se detalla a continuación:

$$\frac{C}{B} = \frac{\text{ingreso total}}{\text{costo total}}$$

$$\frac{C}{B} = \frac{75}{37}$$

$$\frac{C}{B} = 2,02$$

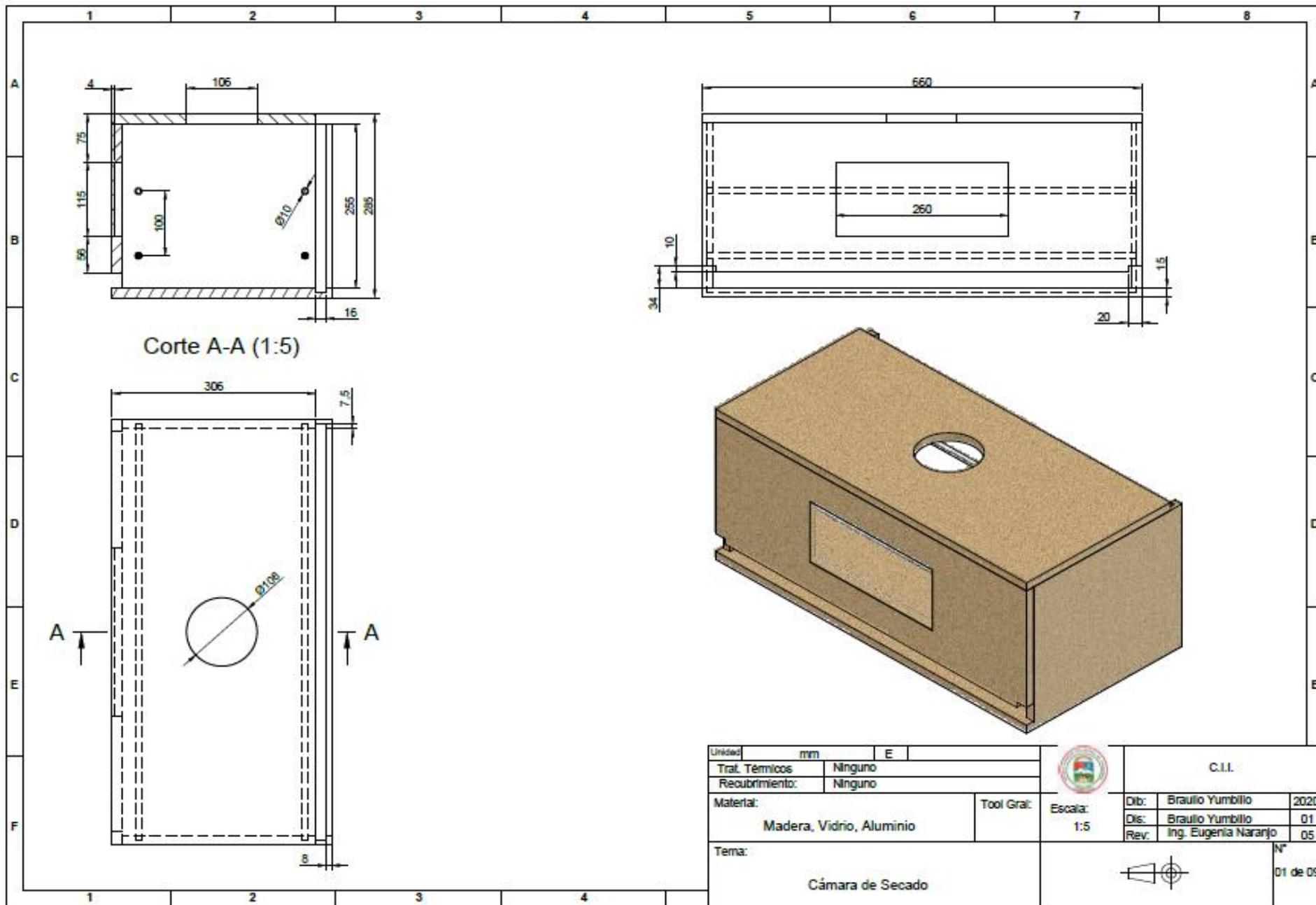
Como se puede observar la relación C/B es mayor a 1 lo que significa que la fabricación y comercialización de la frutilla seca es rentable.

Anexo B. Planos del secador solar

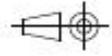
Anexo C. Catalogo de DIPAC.

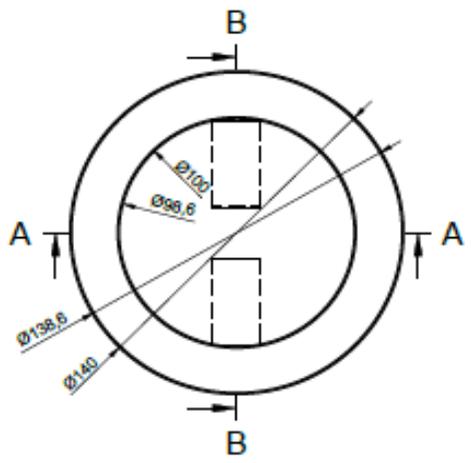
Anexo D. Resultados de Laboratorio.

Anexo E. Encuesta.

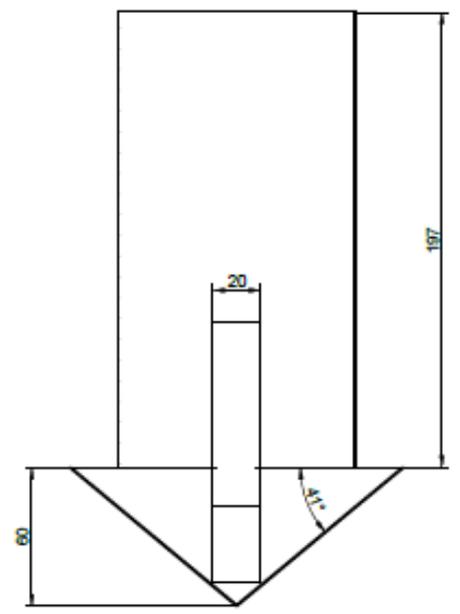


Corte A-A (1:5)

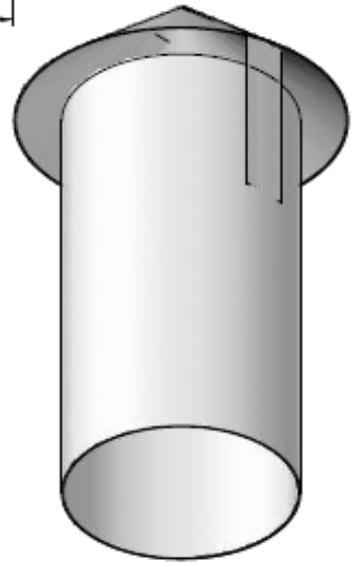
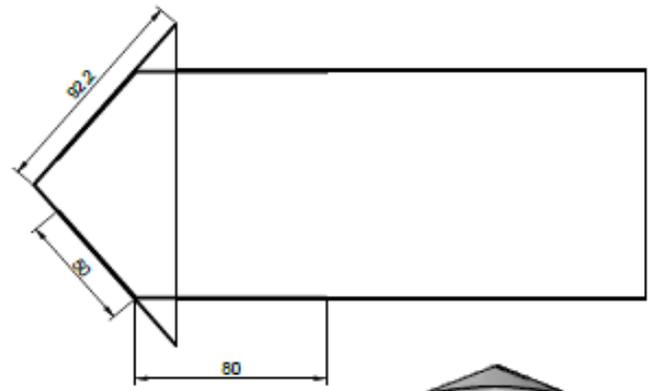
Unidad:	mm	E		C.I.I.	
Trat. Térmicos:	Ninguno			Dib:	Braulio Yumbillo
Recubrimiento:	Ninguno		Dis:	Braulio Yumbillo	01
Materia:	Madera, Vidrio, Aluminio		Rev:	Ing. Eugenia Naranjo	05
Tema:	Cámara de Secado			N°	01 de 09

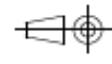


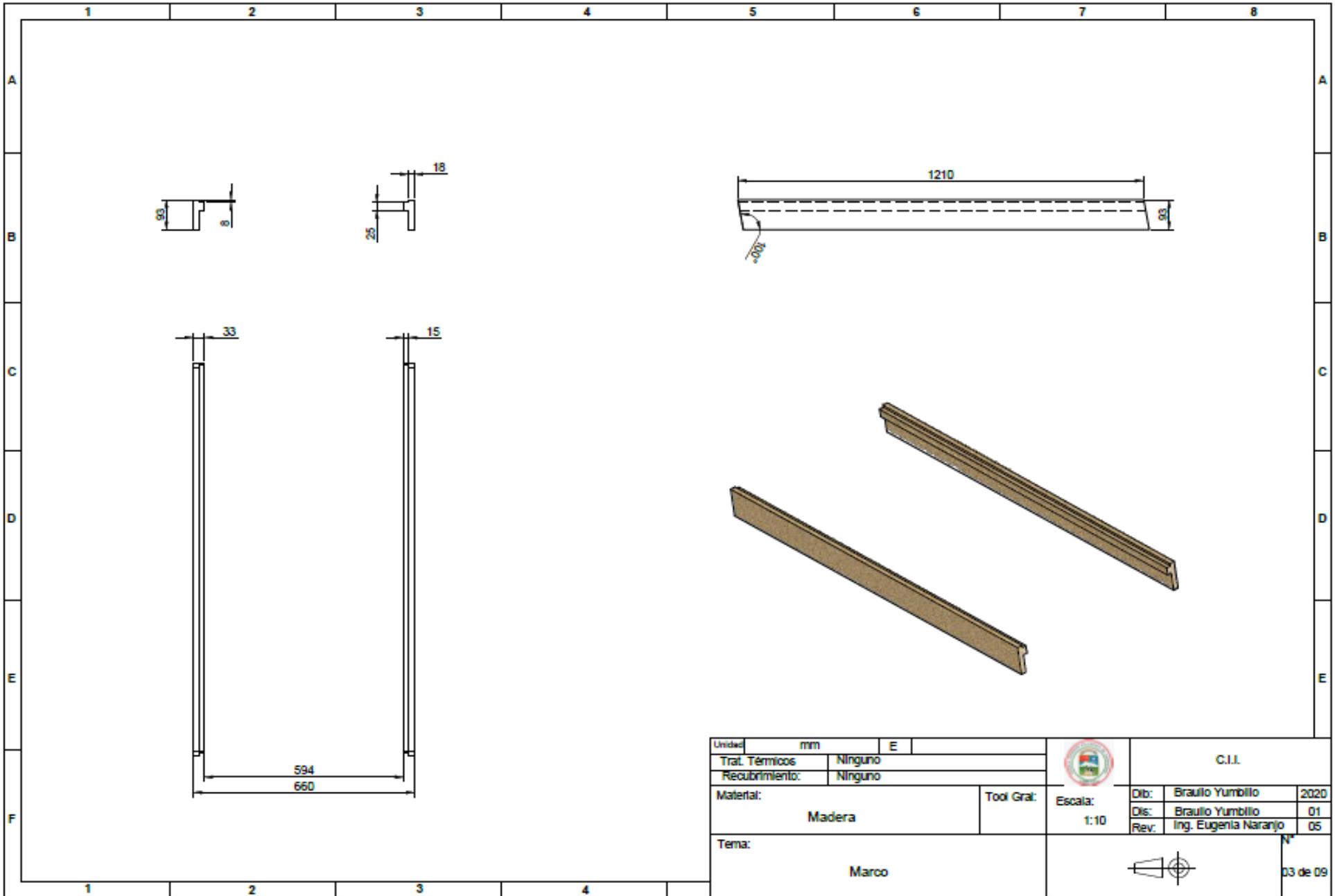
Corte A-A (1:2)



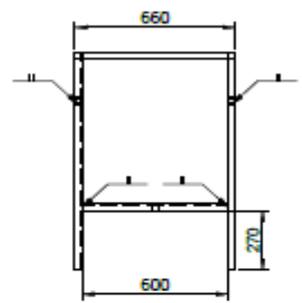
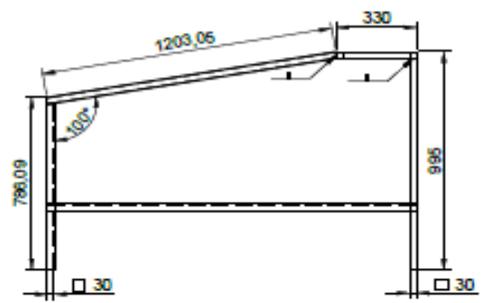
Corte B-B (1:2)



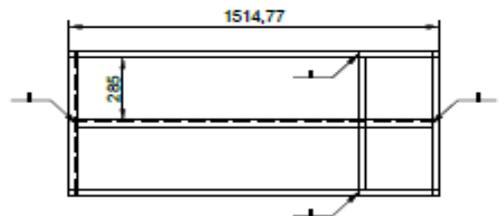
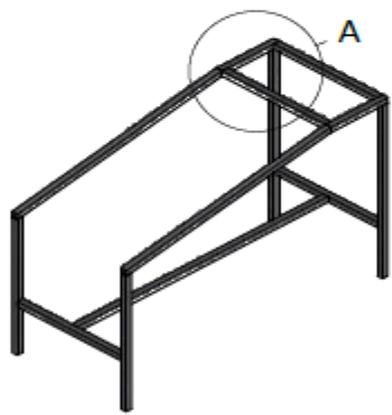
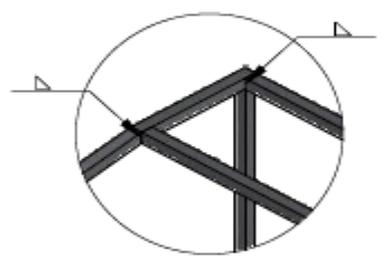
Unidad:	mm	E			C.I.I.		
Trat. Térmicos:	Ninguno				Dib:	Braulio Yumbillo	2020
Recubrimiento:	Ninguno			Dis:	Braulio Yumbillo	01	
Material:	Aluminio		Tool Graf:	Rev:	Ing. Eugenia Naranjo	05	
Tema:			Chimenea				
						N°	02 de 09



Unidad:	mm	E	 C.I.L.			
Trat. Térmicos:	Ninguno					Dib:
Recubrimiento:	Ninguno		Dis:	Braulio Yumbillo	01	
Materia:	Madera		Tool Graf:	Rev:	Ing. Eugenia Naranjo	05
Tema:	Marco		Escala:	1:10		
					03 de 09	

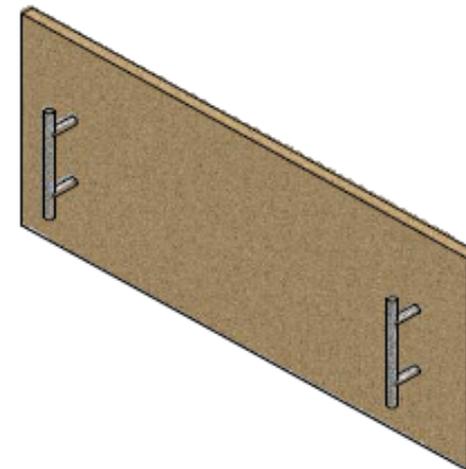
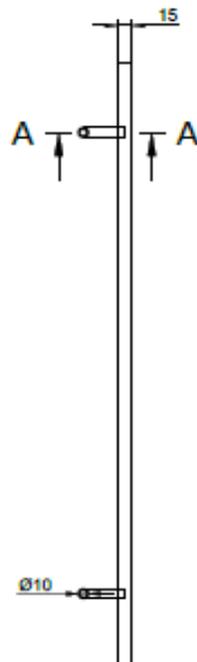
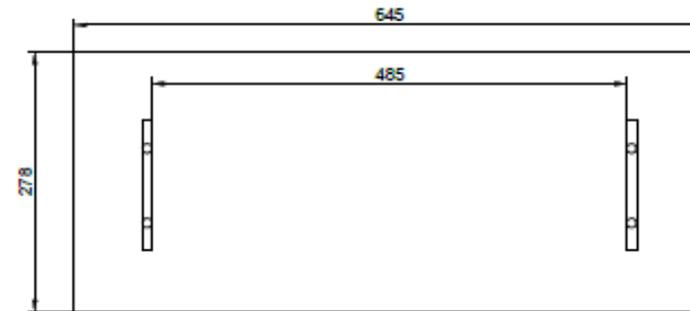
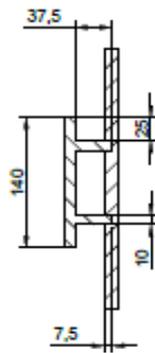


DETALLE A ESCALA (1:10)

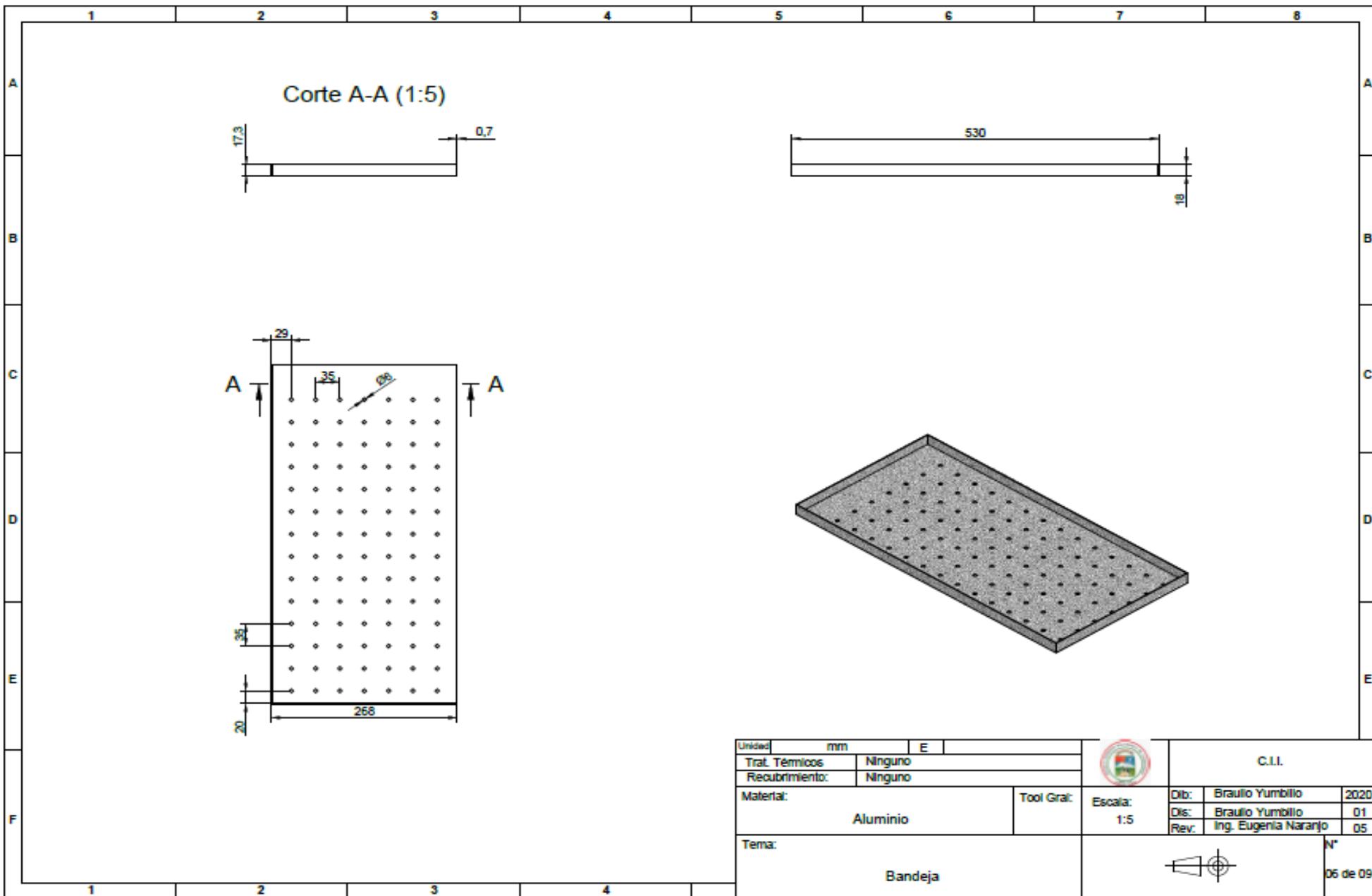


Unidad:	mm	E			C.I.I.	
Trat. Térmicos:	Ninguno					
Recubrimiento:	Ninguno		Escala:	Dib: Braulio Yumbillo		2020
Materia:	Hierro		Tool Graf:	Dis: Braulio Yumbillo		01
			Escala:	Rev: Ing. Eugenia Naranjo		05
Tema:	Soporte					N°
						04 de 09

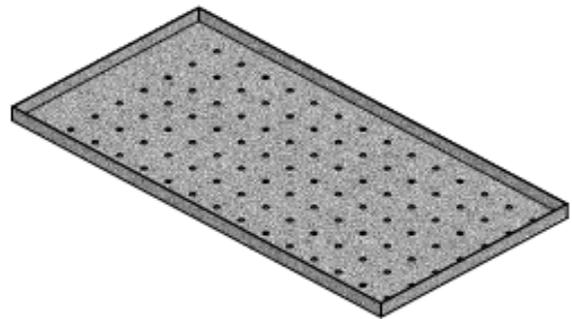
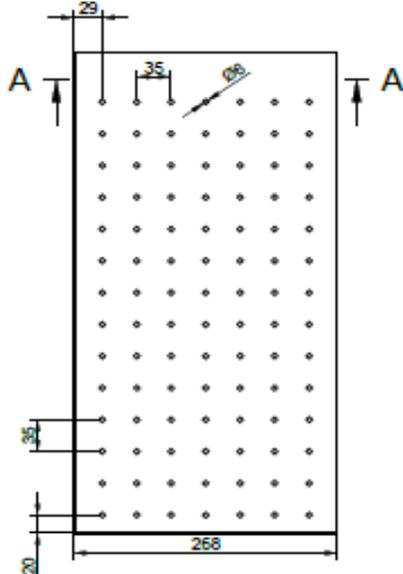
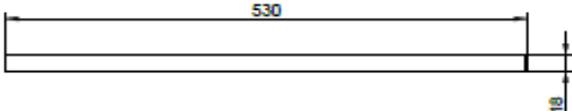
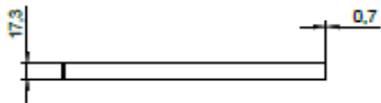
Corte A-A (1:5)

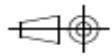


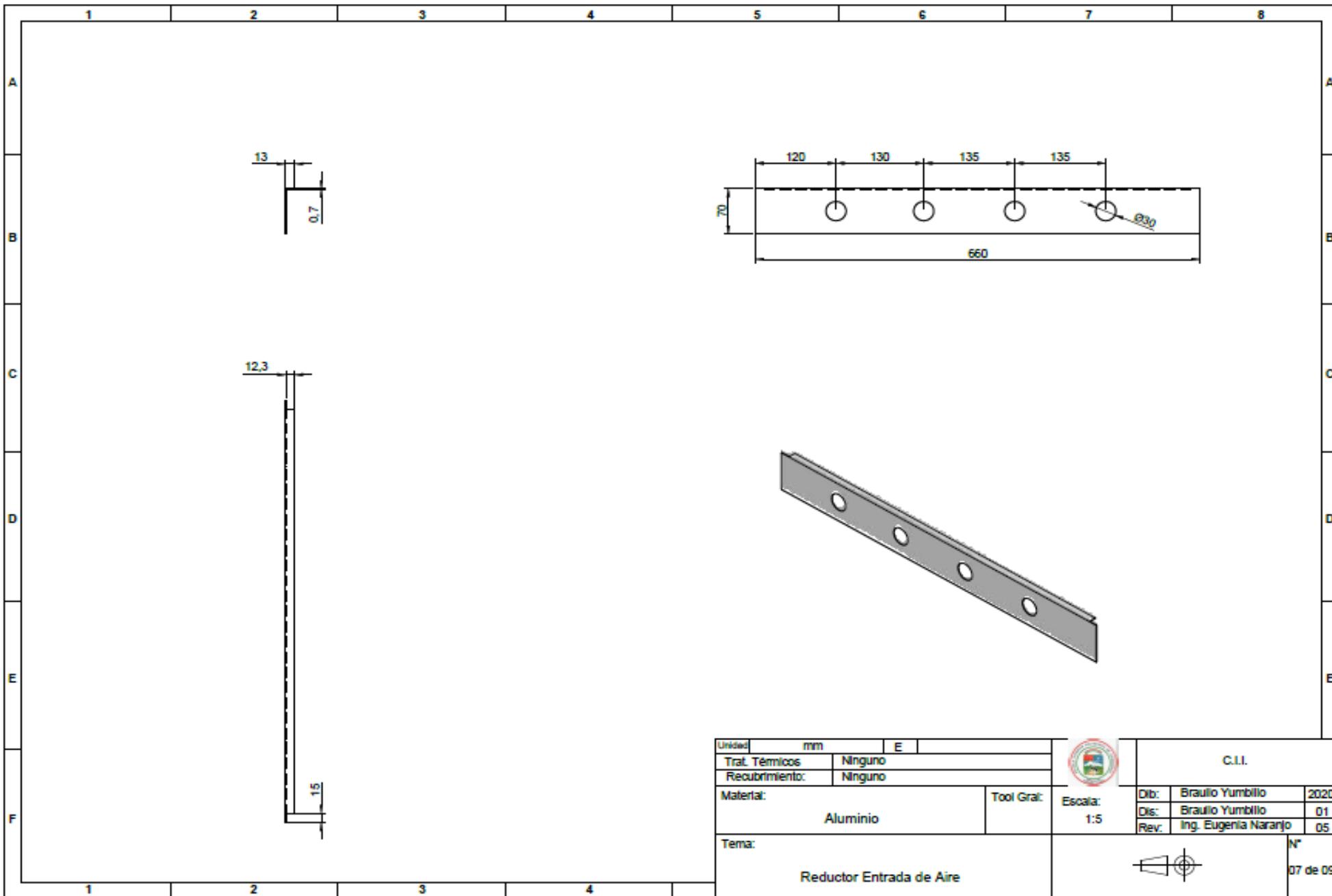
Unidad:	mm	E		C.I.I.	
Traf. Térmicos:				Dib:	Braulio Yumbillo
Recubrimiento:	Ninguno		Dis:	Braulio Yumbillo	01
Material:	Madera y Aluminio		Rev:	Ing. Eugenia Naranjo	05
Tema:	Puerta Cámara de Secado			N°	05 de 09



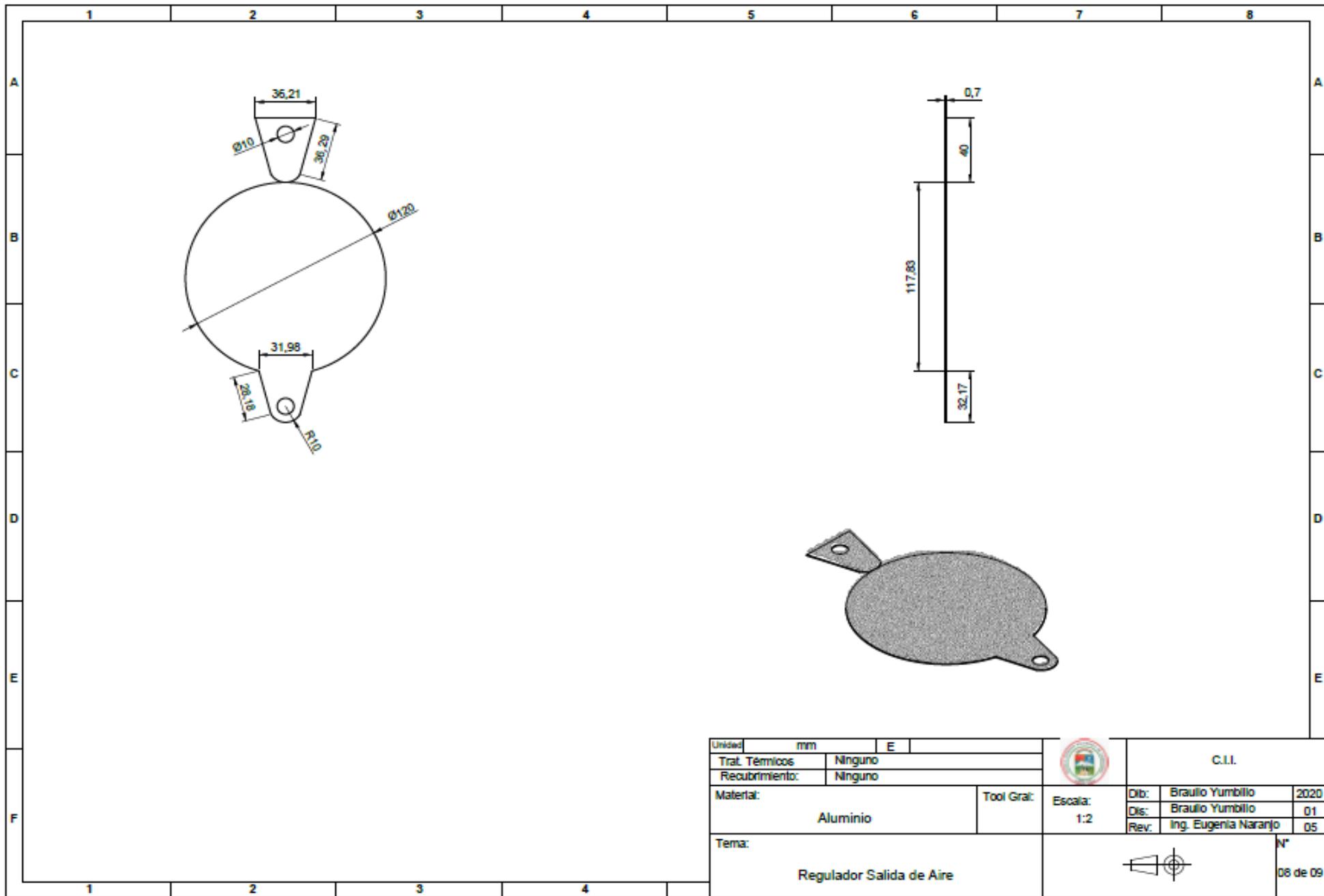
Corte A-A (1:5)

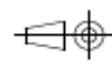


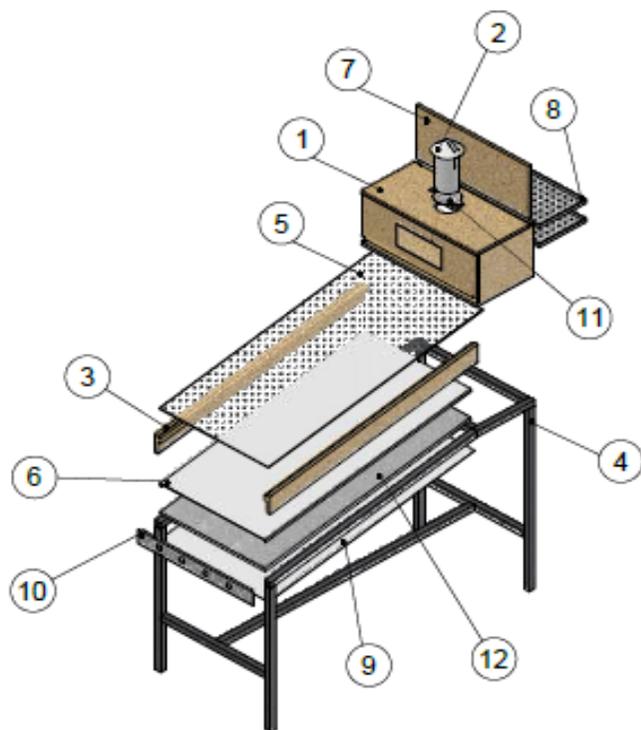
Unidad:	mm	E	 C.I.I.			
Traf. Térmicos:	Ninguno					
Recubrimiento:	Ninguno		Obj:	Braulio Yumbillo	2020	
Materia:	Aluminio		Tool Graf:	Dis:	Braulio Yumbillo	01
Tema:	Bandeja		Escala:	Rev:	Ing. Eugenia Naranjo	05
			 N° 05 de 09			



Unidad:	mm	E	 C.I.I.		
Trat. Térmicos:	Ninguno				
Recubrimiento:	Ninguno		Dib: Braulio Yumbillo Dis: Braulio Yumbillo Rev: Ing. Eugenia Naranjo	2020	01
Material:	Aluminio		Tool Graf:	Escala:	05
Tema:					N°
Reductor Entrada de Aire					07 de 09



Unidad:	mm	E	 C.I.L.			
Trat. Térmicos:	Ninguno					
Recubrimiento:	Ninguno					
Material:	Aluminio	Tool Graf:	Escala:	Dib:	Braulio Yumbillo	2020
			1:2	Dis:	Braulio Yumbillo	01
				Rev:	Ing. Eugenia Naranjo	05
Tema:	Regulador Salida de Aire		 N°			
						08 de 09



N° DE ELEMENTO	N° DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Cámara de Secado	Madera, Vidrio y Hierro	1
2	Chimenea	Aluminio	1
3	Marco	Madera	1
4	Soporte	Hierro	1
5	Lámina	Vidrio	1
6	Lámina	Aluminio	1
7	Puerta Cámara de Secado	Madera y Hierro	1
8	Bandeja	Aluminio	2
9	Cubierta para Aislante	Aluminio	1
10	Reductor Entrada de Aire	Aluminio	1
11	Regulador Salida de Aire	Aluminio	1
12	Aislante	Poliestireno	1

Unidad:	mm	E			C.I.I.		
Tra. Térmicos:	Ninguno						
Recubrimiento:	Ninguno				Dib:	Braulio Yumbillo	2020
Material:	Madera, Hierro, Vidrio, Aluminio y Poliéstireno		Tool Graf:	Escala:	Dis:	Braulio Yumbillo	01
				1:20	Rev:	Ing. Eugenia Naranjo	05
Tema:	Plano de Conjunto						N° 09 de 09

CERTIFICADO DE ANÁLISIS DE LABORATORIO

Certificado No:16-134	R01-5.10 06
Solicitud N°: 16-134	Pag:1 de 1
Fecha recepción:07 de noviembre de 2019	Fecha ejecución de ensayos: 07 de noviembre de 2019
Información cliente:	
Empresa:n/a	C.I/RUC:230018999-6
Representante:Brulio Israel Yumbillo Cuji	Telefono:2761318
Dirección:Av. América N31 232 y, Quito 170129	Celular: 0963040318
Ciudad:Quito	Email: braulioisra1904@gmail.com
Descripción de la muestra	
Producto: Frutilla Dreshidratada	Peso: 20 g
Marca comercial: n/a	Tipo de envase: funda resellable
Loe: n/a	No de muestra: una
F. Elb: n/a	F. Exp.: n/a
Conservación: Ambiente: X Refrigeración: Congelación:	Almc. en Lab: 7 días
Cierres seguridad: Ninguno: X Intactos: Rotos:	Muestreo por el cliente: 07 de noviembre de 2019

RESULTADOS OBTENIDOS

Muestra	Codigo de laboratorio	Codigo cliente	Ensayos solicitados	Métodos utilizados	Unidades	Resultados
Frutilla deshidratada	33346785	Muestra 1	*Humedad	AOAC 934	%	12,23
Frutilla deshidratada	33346786	Muestra 1	*Cenizas	AOAC 920.181	%	0,43
Frutilla deshidratada	33346787	Muestra 1	*Ácido malico	AOAC 962.19	%	0,62
Frutilla deshidratada	33346788	Muestra 1	*Azucares % Totales	INEN 380	%	73,67
Frutilla deshidratada	33346789	Muestra 1	*Azucares reductores %	Metodo interno	%	47,88
Frutilla deshidratada	33346790	Muestra 1	*Azucares no reductores %	Metodo interno	%	24,67

Conds. Ambientales: 19,6 °C; 40,5%HR



 Ing. Tania Paucar
 Dirección de Calidad

Autorización para transferencia electrónica de resultados: Si

CG

Nota: Los resultados conseguidos se refieren exclusivamente a la muestra recibida. El laboratorio no es responsable por el uso incorrecto de este certificado.

No es un documento negociable. Solo se permite su reproducción sin fines de lucro

"La información que se está enviando es confidencial, exclusivamente para su destinatario, y no puede ser vinculante. Si usted no es el destinatario de esta información recomendamos eliminarla inmediatamente. La distribución o copia del mismo está prohibida y será sancionada según el proceso legal pertinente"

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS PARA

EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 30 / 01 / 2020

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombre – Apellido: Braulio Israel Yumbillo Cuji
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Ingeniería Industrial
Título a optar: Ingeniero Industrial
f. Documentalista responsable: