

UNIVERSIDAD ADVENTISTA DE CHILE
Facultad de Ingeniería y Negocios
Ingeniería Civil en Agroindustrias

UNIVERSIDAD
ADVENTISTA
DE CHILE



IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONÓMICA DE UNA
CÁMARA DE SECADO DE FLUJO TRANSVERSAL A PARTIR DE
ENERGÍA SOLAR PARA APLICACIONES DE TRANSFERENCIA
TECNOLÓGICA EN LA AGRICULTURA.

TRABAJO FINAL INTEGRADOR
Presentado en cumplimiento parcial
de los requisitos para el
Título de Ingeniero Civil en Agroindustrias.

Por

Alex E. Palma Santander

Profesor Guía: Guillermo Concha Vargas.

Chillán, 11 de Julio de 2012

DEDICATORIA.

Dedicado a la memoria de mi padre y
al esfuerzo constante y perseverante de mi madre.

A mis hermanos José, Roberto y a mí amada Madelyne.

Por su amor y estímulo.

RESUMEN

En este proyecto de investigación, se logró describir el proceso de construcción y posterior evaluación técnica y económica de un prototipo de deshidratador solar. Se consideraron aspectos referentes al tiempo de secado y la homogeneidad en el secado, la evaluación del potencial económico que podría presentar el proyecto y su impacto medioambiental. Para el tiempo de secado, se obtuvieron muestras desde dos bandejas. Desde cada bandeja se obtuvieron tres muestras desde tres sectores diferentes: los dos extremos y el centro. Las muestras se masaron cada 15 minutos. Para verificar la homogeneidad de los datos obtenidos, estos se validaron a través de un análisis de varianza con el test de Fisher, para niveles de significancia de 95% y 99% sobre una hipótesis nula. El análisis financiero se realizó calculando los indicadores VAN y TIR. El impacto medio ambiental del proyecto se midió a través del cálculo de la huella de carbono asociada al proyecto, el que contempla medir el nivel de CO₂ equivalente liberado al construir y poner en funcionamiento el prototipo. Se empleó un tiempo de secado de seis horas y 45 minutos y se determinó, a través del análisis estadístico, que el proceso de secado es homogéneo en ambas bandejas. Además, el proyecto de prototipo mostró ser rentable y de inversión recuperable en el corto plazo, con valores para el VAN (10%) y TIR, de 15.502 (en miles) y 13,4% respectivamente, determinándose como un proyecto factible de implementar. El impacto en el medio ambiente totalizó un total de emisiones de 61.11 [Kg de CO₂] equivalente.

Palabras claves: *Deshidratador Solar, Secado, Factibilidad económica, Rentabilidad, Huella de Carbono, Emisiones de GEI.*

TABLA DE CONTENIDOS.

Portada	
Hoja de aprobación del trabajo	
Dedicatoria	
Resumen	
Tabla de Contenidos	
Lista de tablas y figuras.	
Listado de Notaciones.	

CAPITULO I: ANTECEDENTES Y NATURALEZA DEL ESTUDIO.

1.1	Introducción.	1
1.2	Objetivos.	1
1.3	Alcances y limitaciones.	2
1.4	Justificación del Proyecto.	2
1.5	Capacidad técnica y financiera para el desarrollo del trabajo de investigación.	3

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.

2.1	El deshidratado o Secado.	4
2.2	Conceptos, valores y otras generalidades asociados al secado por lotes.	5
2.2.1	Dinámica de secado.	5
2.2.2	Velocidad de secado	5
2.2.3	Humedad.	7
2.2.4	Contenido de humedad.	8
2.2.5	Contenido de humedad en equilibrio.	8
2.2.6	Contenido de humedad ligada o retenida	9
2.2.7	Contenido de humedad no ligada o no retenida	9
2.2.8	Constantes y valores de transferencia de calor	10
2.2.9	Actividad de agua en los alimentos	10
2.2.10	Mecanismo de secado transversal	11
2.2.11	Tiempo de secado para el periodo constante.	11

2.2.12.	Tiempo de secado en la región de velocidad de decreciente	12
2.3	La Manzana. Origen, Propiedades, Características y otros	12
2.3.1	Composición nutricional de la manzana	13
2.4	La energía solar	14
2.4.1	Relación Sol-Tierra	15
2.4.2	Inclinación terrestre y ángulo de captación	15
2.5	Diseño y análisis para el experimento estadístico	16
2.5.1	Los experimentos estadísticos	16
2.5.2	El diseño del modelo más apropiado	17
2.5.3	Análisis de varianza para un modelo de efectos fijos del experimento	18
2.5.4	Pruebas de Hipótesis Estadísticas	20
2.5.5	Prueba F de Fisher	21
2.6	Evaluación económica del Proyecto de prototipo de deshidratado Solar	22
2.6.1	Etapas de Factibilidad	22
2.6.2	Evaluación del Proyecto	23
2.6.3	Depreciación	23
2.7	PAS 2050-Cálculo de la Huella de Carbono	25
2.7.1	Fuentes de emisión	26
2.7.2	Asignación de Emisiones	26
2.7.3	Cálculo de emisiones	27

CAPITULO III: MATERIALES Y METODOLOGÍA.

3.1	Materiales	30
3.2	Metodología	30
3.2.1.	Metodología de construcción	30
3.2.2	Metodología para la toma y análisis de información	32

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES.

4.1	Resultados	38
4.1.1	Curvas de cinética de Secado.	38
4.1.2	Resultados del análisis estadístico para las muestras.	38

4.1.3	Resultados del análisis Financiero del proyecto.	38
4.1.4	Resultados para el cálculo de la Huella de Carbono.	39
4.2	Discusiones	39
4.2.1	De la cinética de secado.	39
4.2.2	Análisis estadístico para las muestras.	40
4.2.3	Análisis Financiero del proyecto.	40
4.2.4	Huella de carbono del proyecto.	41
 CAPITULO V: CONCLUSIONES Y COMENTARIOS		
5.1	Conclusiones.	42
5.2	Comentarios.	43
 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.		45
 ANEXOS.		
ANEXO 1: Tablas		49
ANEXO 2: Figuras		71

LISTA DE TABLAS

1	Composición nutricional de la manzana por cada 100 gramos de parte comestible cruda.	13
2	Arreglo común de los datos de la muestra de un experimento con solo un factor completamente aleatorizado.	18
3	Cuadro modelo de Análisis de Varianza para un experimento con sólo un factor completamente aleatorio.	20
4	Lista de Materiales empleados en la construcción del prototipo de deshidratador solar.	50
5	Recolección y análisis de los datos recogidos para una muestra de manzana situado en posición 1 de la bandeja 4.	51
6	Recolección y análisis de los datos recogidos para una muestra de manzana situado en posición 2 de la bandeja 4.	52
7	Recolección y análisis de los datos recogidos para una muestra de manzana situado en posición 3 de la bandeja 4.	53
8	Recolección y análisis de los datos recogidos para una muestra de manzana situado en la posición 1 de la bandeja 5.	54
9	Recolección y análisis de los datos recogidos para una muestra de manzana situado en la posición 2 de la bandeja 5.	55
10	Recolección y análisis de los datos recogidos para una muestra de manzana situado en la posición 3 de la bandeja 5.	56
11	Datos correspondientes a muestra extraída para efectos de cálculo para la elaboración de la tabla 5.	57
12	Datos correspondientes a muestra extraída para efectos de cálculo para la elaboración de la tabla 6.	57
13	Datos correspondientes a muestra extraída para efectos de cálculo para la elaboración de la tabla 7.	57

14	Datos correspondientes a muestra extraída para efectos de cálculo para la elaboración de la tabla 8.	58
15	Datos correspondientes a muestra extraída para efectos de cálculo para la elaboración de la tabla 9.	58
16	Datos correspondientes a muestra extraída para efectos de cálculo para la elaboración de la tabla 10.	58
17	Datos de la diferencia de pérdida de masa (Δm) para las muestras de las bandejas 4 y 5 de acuerdo a su ubicación a lo largo de la bandeja.	59
18	Tiempos teóricos de secado para las muestras de manzanas.	60
19	Resumen de información obtenida a partir de la tabla 18.	60
20	Gastos realizados en materiales para la construcción del prototipo de Deshidratador Solar.	61
21	Costos Asociados a la producción de manzanas deshidratadas en el prototipo de deshidratador solar.	62
22	Programa de inversión para la construcción del Deshidratador.	62
23	Ingresos esperados para los periodos de funcionamiento del prototipo de deshidratador solar, cuyo producto de producción son manzanas.	63
24	Capitales requeridos para el funcionamiento del prototipo de deshidratador solar para las temporadas proyectadas.	63
25	Flujo de caja esperado para 5 periodos de funcionamiento del deshidratador solar con manzanas (valores monetarios en pesos chilenos).	64
26	Análisis de Varianza para datos de muestras de manzanas deshidratadas en el prototipo de deshidratador solar.	65
27	Valores de cuantiles para la distribución F de Fisher para aplicación del test de Fisher con valores de $1 - \alpha = 0,99$ y diversos grados de libertad.	66
28	Valores de cuantiles para la distribución F de Fisher para aplicación del test de Fisher con valores de $1 - \alpha = 0,95$ y diversos grados de libertad.	67

29	Resumen de las emisiones de GEI para las actividades relacionadas al ciclo de vida del Deshidratador Solar por concepto de materias primas e insumos (Fase 1).	68
30	Resumen de las emisiones de GEI para las actividades relacionadas al ciclo de vida del Deshidratador Solar por concepto de construcción (Fase 2).	69
31	Resumen de las emisiones de GEI para las actividades relacionadas al ciclo de vida del deshidratador solar por concepto de traslados, funcionamiento y residuos (Fase 3-5).	70

LISTA DE FIGURAS.

1	Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre.	7
2	Contenido de humedad en el equilibrio para diferentes productos.	9
3	Gráfica de estabilidad de los alimentos. Velocidad relativa de las reacciones degradativas en función de la actividad del agua.	10
4	Espesor de atmosfera que cruzan los rayos solares e inclinación terrestre con respecto a la refracción solar.	16
5	Región critica para la comprobación de la hipótesis nula y alternativa.	21
6	Distribución F para varios grados de libertad.	22
7	Comportamiento de la temperatura interna de la cámara de secado en contraste con la temperatura ambiente exterior en un día del mes de Abril, usando vidrio como componente del colector solar.	72
8	Comportamiento de la temperatura interna de la cámara de secado en contraste con la temperatura ambiente exterior en un día del mes de Abril, usando <i>Makrolon</i> como componente del colector solar.	72
9	Curva típica de velocidad de secado constante para datos de humedad libre en función del tiempo para las muestras contenidas en la bandeja inferior (Bandeja 4).	73
10	Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre para la muestra de la posición 1 de la bandeja 4.	73
11	Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre para la muestra de la posición 2 de la bandeja 4.	74
12	Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre para la muestra de la posición 3 de la bandeja 4.	74
13	Curva típica de velocidad de secado constante para datos de humedad libre en función del tiempo para las muestras contenidas en la bandeja Superior (Bandeja 5).	75

14	Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre para la muestra de la posición 1 de la bandeja 5.	75
15	Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre para la muestra de la posición 2 de la bandeja 5.	76
16	Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre para la muestra de la posición 3 de la bandeja 5.	76
17	Esquema del ciclo de vida del prototipo de deshidratador solar.	77
18	Esquema de Montaje de las piezas de construcción previamente dimensionadas y forradas con láminas de foto aluminio.	78
19	Vista izquierda del diseño de montaje del prototipo de Deshidratador.	78
20	Vista Lateral derecha del prototipo de deshidratado solar con sus respectivas cotas.	79
21	Vista Lateral izquierda del prototipo de deshidratado solar con sus respectivas cotas.	79
22	Vista Frontal del prototipo de deshidratado solar con sus respectivas cotas.	80
23	Vista de Planta del prototipo de deshidratado solar con sus respectivas cotas.	80
24	Esquema de ubicación de las muestras a lo largo de la bandeja.	81
25	Gráfica del Test de Fisher para un nivel de significancia $\alpha = 1\%$.	81
26	Gráfica del Test de Fisher para un nivel de significancia $\alpha = 5\%$.	81
27	Prototipo de Deshidratador Solar terminado.	82
28	Imagen Interior del Prototipo con bandejas para deshidratar.	82
29	Vista Lateral Derecha del Prototipo de Deshidratador Solar Terminado.	83

LISTADO DE NOTACIONES

A	:	Área de sección transversal de exposición al proceso de secado [m^2]
a_w	:	Actividad de agua presente en los alimentos. [$0 < a_w < 1$].
L_s	:	Masa de sólido seco, [kilogramo de sólido seco = kg ss]
m	:	Masa de un sólido cualquiera. (con humedad presente)
R	:	Velocidad de secado [kg/h m^2]
W	:	Masa de un sólido húmedo en kilogramos totales de agua [kg]
W_s	:	Masa de un sólido seco [kg]
X	:	Humedad libre [kg agua/kg sólido seco]
X^*	:	Humedad crítica de equilibrio [kg agua/kg sólido seco]
X_t	:	Humedad libre para un periodo t cualquiera de tiempo [kg totales agua/kg sólido seco] = [kg at / kg ss]
CO	:	Cantidad de monóxido de carbono [kg]
CO ₂	:	Dióxido de carbono [kg]
N ₂ O	:	Óxido Nitroso [g]
CH ₄	:	Metano [g]

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES Y NATURALEZA DEL ESTUDIO

1.1 Introducción.

La utilización de energías limpias renovables, cada vez toma más fuerza en Chile, sumado a la conciencia medioambiental que el mundo entero a puesto a la cabeza entre las prioridades en cuanto a lo que refiere como un impacto social significativo. Este tipo de actividades, en pro de una mejor calidad de vida, lleva a la ingeniería a pensar en cómo poder satisfacer las necesidades nacientes en el ámbito anteriormente descrito y cómo saber si las alternativas planteadas en este orden, logran sobrellevar de buena manera las exigentes demandas existentes hoy en día.

Muy transmitido es todavía, que las tan esperanzadoras “energías limpias y renovables” no logran satisfacer el exigente paladar de los consumidores de hoy en cuanto a procesos industriales para la elaboración de productos de consumo masivo, es por esto que la investigación en este ámbito busca afianzar las alternativas de manejo de productos con energías limpias y renovables, de manera de establecer claramente las ventajas en todo sentido sobre el uso de estos recursos.

En el presente proyecto, se contempla la implementación de una cámara de secado de flujo transversal, alimentado con energía solar para su funcionamiento y cuya previa factibilidad técnica y económica ya fue establecida en una primera instancia (Yévenes, C. 2011). Posteriormente a la implementación, se realizará la fase de evaluación de un producto para estudiar la cinética de secado y calidad del producto terminado de acuerdo a las especificaciones teóricas dadas en la primera instancia de factibilidad.

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivos Generales.

Implementar una cámara de secado utilizando energía solar y establecer las relaciones existentes entre la producción de deshidratados con energía limpia, y un sistema de deshidratado convencional.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Implementar el prototipo de cámara de secado solar de flujo transversal, basándose en especificaciones morfológicas, a un modelo de un tipo de deshidratador de flujo transversal convencional propuesto por C. Yévenes (2011).
- Medir los atributos de velocidad y capacidad de secado del prototipo de deshidratador mediante las curvas de secado características, para una prueba experimental con manzanas (*Malus doméstica*, var. *Fuji*).
- Realizar una evaluación económica de la implementación del prototipo a nivel de proyecto de ejecución para la pequeña industria mediante indicadores económicos de viabilidad, tales como el VAN y TIR.
- Analizar los resultados obtenidos, a través de análisis de varianza para análisis estadísticos de muestreo y diferencias en las medias obtenidas en los ensayos experimentales en cuanto al desempeño mostrado por la cámara de secado solar.
- Medir la huella de carbono del prototipo de Deshidratador, mediante una estimación del ciclo de vida del mismo según el protocolo PAS-2050, en referencia a sus materiales de construcción y funcionamiento equivalentes en emisiones de CO₂ al ambiente.
- Contribuir con un dispositivo para la realización de estudios de secado para la enseñanza y aprendizaje de los alumnos de carreras asociadas al área agroindustrial y alumnos de la universidad en general.

1.3 Alcances y Limitaciones.

El proyecto se ha diseñado y fabricado para un alcance a nivel de prototipo de prueba para futura construcción en masa. Se trata de un secador piloto con capacidad variable de operación. Este estudio se limitó a la construcción y posterior evaluación, tanto técnica, como económica. Dentro de la evaluación técnica, se contempla operar con frutos, evaluando únicamente el poder deshidratador del equipo. A nivel económico, se evaluará la factibilidad del equipo como proyecto.

1.4 Justificación del Proyecto.

En una primera instancia, este proyecto permitirá evaluar las propiedades de secado que en teoría debiera presentar el secador solar, en comparación con un secador convencional

a base de electricidad (u otro que utilice otra fuente energética que pueda servir de referencia para estudio) para realizar un estudio de factibilidad y evaluar así, el impacto tanto económico como funcional de la cámara de secado.

Permite además, conocer las mismas capacidades técnico-económicas de utilizar energías limpias en el procesamiento de hortalizas y otros productos de origen agrícola que se producen en las dependencias de la Universidad Adventista, pudiendo esta última, contar con un equipo de proceso para la elaboración de productos propios para una posterior comercialización y a la vez, servir de estudio para el alumnado asociado al rubro.

Lo anterior, se resume al hecho de que la realización de este diseño prototipo de cámara de secado, permitirá que se apliquen criterios de extensión y generalización que permitirán su posterior escalonamiento a capacidades semi-industriales, masificando el mismo prototipo para alcanzar un mayor volumen; evaluar el impacto energético y medioambiental del mismo, y ver su participación futura como herramienta de gestión medioambiental al disminuir de manera considerable las emisiones de CO₂.

1.5 Capacidad Técnica y Financiera para el Desarrollo del Trabajo de Investigación.

Todo lo que respecta a este punto ya fue presentado y validado por la comisión que evaluó el trabajo hecho por la ya mencionada profesional Carolina Yévenes, como proyecto de título, en cuyo estudio se abarcan los diversos aspectos técnico-económicos de la fabricación de la cámara de secado y adquisición de materiales.

El financiamiento, se encuentra enmarcado dentro del plan de investigación y desarrollo que efectúa la Facultad de Ingeniería y Negocios de la Universidad Adventista de Chile, en el ámbito de la ***aplicación de transferencias tecnológicas en el agro chileno***, y cuya puesta en marcha se encuentra en ejecución.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO.

Para los propósitos de este trabajo investigativo, es necesario explicar y definir los siguientes términos y/o temas de interés.

2.1 El Deshidratado o Secado.

La deshidratación o secado de alimentos, es una de las técnicas más antiguas y naturales para la preservación de frutas, hortalizas, carnes y pescados, ya que los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer o multiplicarse en ausencia de agua, ya que estos dejan de ser activos cuando el contenido de agua se reduce por debajo del 10% en peso, aunque generalmente es necesario reducir este contenido de humedad por debajo del 5% en peso en los alimentos, para preservar así su sabor y su valor nutritivo, logrando así como se dijo, almacenarlos durante periodos bastante largos (C.J. Geankoplis, 2006).

En general, la deshidratación o secado, se entiende como la operación por la cual se remueven cantidades, relativamente pequeñas, totales o parciales, de agua desde un sólido húmedo, líquido o gas (Fito, 2001). Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no pueden funcionar sin agua.

En otros casos, el agua se puede eliminar de los materiales sólidos mediante medios mecánicos, utilizando prensas, centrifugas y otros medios, donde dicho sea de paso, son métodos que resultan más económicos que el secado por medios térmicos para la eliminación de agua. El secado suele ser la etapa final de los procesos antes del empaque y permite un manejo mucho más cómodo para el manejo de productos (C.J. Geankoplis, 2006).

Aunque muchos autores concuerden en que el objetivo principal del secado sea la conservación de alimentos, también puede tener lugar de forma análoga para otros procesos que requieran extracción de agua desde un material. Es por todo lo anterior, que podemos decir que en la operación básica de secado intervienen dos factores importantes, como lo son la *transmisión de calor*, para suministrar el calor latente de vaporización necesario, y el

movimiento de agua o vapor de agua a través del producto alimenticio y su separación del mismo.

En general, se habla de que existen 3 tipos de secado: *por contacto con aire, al vacío y Liofilización*. Donde estos dos últimos no serán tratados puesto que no se ven afectados en esta investigación. En general, el secado por contacto con aire, se realiza a presión atmosférica en el que se transmite calor a la sustancia alimenticia, por medio de aire caliente o bien por superficies calientes, y se extrae el vapor de agua juntamente con aire (Earle, 1988).

2.2 Conceptos, valores y otras generalidades asociados al Secado por Lotes.

2.2.1 Dinámica del Secado.

El método de secado por *lotes*, consiste en introducir en el equipo de secado el material a secar (o deshidratar), durante un periodo de tiempo pre-establecido para los fines que se busca alcanzar y posteriormente, terminado este lapso de tiempo, dicho material es retirado del equipo. El proceso es repetido de la misma manera si se quiere secar (o deshidratar) una nueva cantidad de producto. El Proceso de secado por lotes (Batch), es relativamente costosa y por tanto, limitada a ejecutarse en operaciones a pequeña escala, como en plantas piloto o desarrollos de investigación, también para secar materiales cuyo valor final pueda ser costado por el hecho de haber sido procesados para secado (Treybal, Mass-Transfer Operations, 1981). En este tipo de procesos, existen diferentes formas para operar con el material al interior del deshidratador. Para efecto de esta investigación, el sistema a utilizar emplea calor, el cual es añadido por contacto directo a través de aire caliente y a presión atmosférica, eliminando posteriormente el vapor de agua formado, por medio del mismo aire. Este tipo de mecanismo se denomina convección natural.

En la convección natural, al entrar en calor un gas o líquido su densidad suele disminuir. Si el líquido o gas se encuentra en condiciones normales de presión, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende (Incropera, 1999).

2.2.2 Velocidad de Secado.

Para lograr la reducción del contenido de humedad en el proceso de secado de diversos materiales, se estima por lo general el tamaño del secador, las condiciones de

operación de humedad, la temperatura del aire empleado y el tiempo necesario para lograr el grado de secado. No obstante lo anterior, no es posible determinar el contenido de humedad de equilibrio (humedad final del producto) de los diversos materiales, por lo que es necesario determinarlo por las vías experimentales (Geankoplis, 2006). De igual manera, dado que el conocimiento de los mecanismos básicos de las velocidades de secado son bastante incompletos, es indispensable obtener algunas mediciones experimentales de las velocidades de secado.

Para esta investigación, por tratarse de un proceso Batch (por lotes), deben tomarse ciertas precauciones con el objeto de obtener datos útiles en condiciones que se parezcan lo más posible a las que imperarán en operaciones a gran escala. Las muestras no deben ser pequeñas y puestas, en lo posible, en bandejas lo más parecidas a las que se utilizarán en la producción. La velocidad del secado, la humedad, la temperatura y la dirección del aire deben ser las mismas y constantes para poder simular un secado en condiciones constantes. Cabe mencionar que la temperatura del aire de secado, influirá en el contenido de humedad final del producto, donde este disminuirá al aumentar la temperatura.

Para efectos respecto de la velocidad de secado, se debe tener presente que en la cinética de secado de los materiales en general, existen dos fases de secado, una primera llamada *velocidad de secado constante*, y otra llamada *velocidad de secado decreciente*.

En el período de velocidad constante, la superficie del sólido está muy húmeda al principio y sobre ella hay una película de agua continua. Esta capa de agua es agua no combinada y actúa como si el sólido no estuviera presente (Geankoplis, 2006), esta delgada capa de agua es también llamada *agua no ligada* (Treybal, 1980). La velocidad de evaporación con condiciones establecidas para el proceso, es ayudada debido a las ondulaciones y hendiduras existentes en la superficie del sólido, de manera que esta es más alta comparada con la que tendría una superficie completamente plana. Si el sólido es poroso, la mayor parte del agua que se evapora durante el periodo de velocidad constante proviene de su interior. Este periodo continúa mientras el agua siga llegando a la superficie con la misma rapidez con la que se evapora (Geankoplis, 2006).

La etapa de velocidad decreciente, la cual se divide en dos etapas, comienza cuando se llega al *contenido crítico de humedad libre* (X_c) del sólido en deshidratación. En este punto se considera que no existe suficiente agua en la superficie para mantener una película

continua, por lo que la superficie ya no está totalmente mojada y la porción mojada comienza a disminuir durante el periodo de velocidad decreciente hasta que la superficie queda totalmente seca. La segunda etapa de la velocidad decreciente comienza cuando la superficie está seca en su totalidad y el plano de evaporación comienza a desplazarse con lentitud por debajo de la superficie. El calor de evaporación se transfiere a través del sólido hasta la zona de vaporización, donde el agua evaporada atraviesa el sólido para llegar hasta la corriente de aire.

En algunos casos no hay discontinuidad definida y el cambio de condiciones de secado de una superficie con humedad parcial a una superficie completamente seca es tan gradual que no se detecta un punto de inflexión (Geankoplis, 2006, pág. 591).

También se puede dar el caso en que la cantidad de humedad que se elimina durante el periodo de velocidad decreciente sea bastante pequeña, sin embargo el tiempo que se requiera para eliminar dicha humedad sea largo.

La figura 1 muestra la típica curva de secado que resulta de un proceso. Aquí se pueden apreciar ambas fases descritas anteriormente.

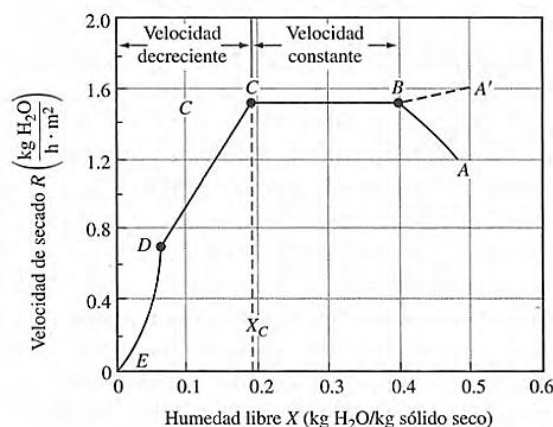


Figura 1. Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre. Fuente: (Geankoplis, 2006, pág. 590).

2.2.3 Humedad.

La humedad (H), de una mezcla de aire y vapor de agua, se define en su forma más simple como los kilogramos de vapor de agua por kilogramo de aire seco. Esta definición de la humedad sólo depende de la presión parcial de vapor de agua en el aire y de la presión total, la

cual se considera para efectos de cálculos siempre constante e igual a 101.325 [KPa], (1 atm abs o 760 mmHg) (Geankoplis, 2006).

En otros términos, la humedad es la relación entre el peso del vapor de agua de aire y el peso de aire seco contenido en el mismo volumen (Earle, 1988).

2.2.4 Contenido de Humedad.

El contenido de humedad es la cantidad de agua evaporable que contiene un producto, es decir el agua que no es constituyente del producto. Se expresa generalmente en términos de porcentaje, ya sea en relación a su masa total (contenido de humedad en base húmeda) o a su masa seca (contenido de humedad en base seca). Para los efectos de cálculo de la curva de velocidad de secado, se debe tener presente dos conceptos importantes. El primero se refiere al contenido de humedad libre en un producto, denotado como X , y el segundo hace referencia al contenido de humedad en equilibrio, denotado como X^* . Ambos están relacionados mediante de la siguiente ecuación:

$$X = X_t - X^* \quad \text{Ec. 1}$$

De la ecuación anterior, el valor X_t indica el contenido de humedad medido un cierto periodo de tiempo, siendo un valor variable al momento de realizar una prueba de secado. Este valor de X_t se puede calcular, en el transcurso de una prueba de secado, de la siguiente manera:

$$X_t = \frac{W - W_s}{W_s} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde W es el peso del sólido húmedo en kilogramos totales de agua más sólido seco. W_s es el peso del sólido seco en kilogramos. A partir de estos datos, es posible construir la gráfica mostrada en la figura 1, desde donde se puede extraer, a partir de la lectura simple del gráfico, el valor del contenido de humedad crítico, denotado como X_c (Geankoplis, 2006).

2.2.5 Contenido de humedad en equilibrio.

El contenido de humedad en equilibrio, considera un aspecto más importante sobre el agua constituyente de un alimento o producto y la forma en que interactúa con el ambiente al que se encuentra sometido. La presión de vapor de equilibrio que tiene un producto alimenticio, viene determinada no sólo por la temperatura, sino también por el contenido de agua del producto, por la forma en que dicha agua está unida al alimento y por la presencia en

el alimentos de solidos solubles en el agua. El alimento, el cuál se sabe que está sometido a la presión de vapor de agua presente en el aire que lo rodea, alcanza una humedad que está en equilibrio con su entorno, llamándose *humedad de equilibrio*. Lo anterior se explica con el siguiente ejemplo: el contenido de humedad de una muestra de papa a 20 °C, mostrada en a figura 2, en una atmosfera de humedad relativa del 30%, es de 0,1 kg de agua/kg de papa seca; esto quiere decir que no será posible secar papas por debajo del 10% de humedad por medio de un secador de aire que esté a 20 °C y una humedad relativa del 30% (Earle, 1988).

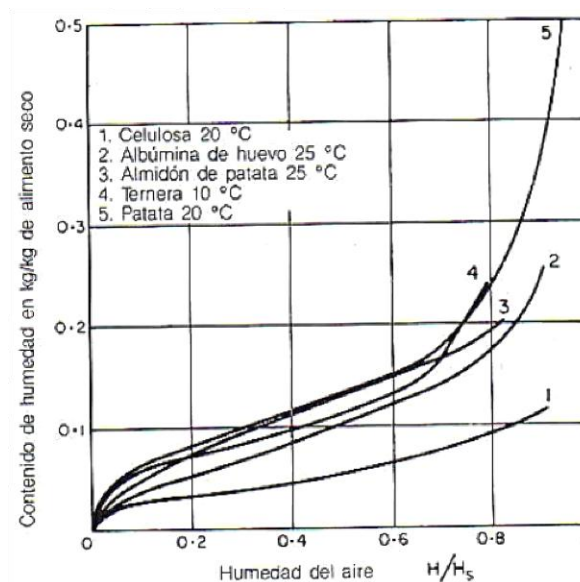


Figura 2. Contenido de humedad en el equilibrio para diferentes productos. Fuente: (Earle, 1988).

2.2.6 Contenido de humedad ligada o retenida

Es el contenido de humedad que presenta un producto cuando alcanza condiciones de equilibrio con aire saturado (humedad relativa del 100%) (Treybal, Operaciones de Transferencia de Masa, 1980).

2.2.7 Contenido de humedad no ligada o no retenida

Se refiere a la humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio igual a la del líquido puro a la misma temperatura (Treybal, 1980).

2.2.8 Constantes y valores de transferencia de calor.

Es sabido, que cuando ocurre un proceso de convección, existe un coeficiente de transferencia de calor asociado, el cual para los casos donde ocurre convección normal, varía entre valores de 2 y 25 [$W/m^2\ ^\circ C$] y entre 50 y 1000 [$W/m^2\ ^\circ C$] para la convección natural en líquidos. La convección natural, que es el caso de interés para esta investigación ocurre cuando entra en calor un gas o líquido y por tanto su densidad suele disminuir. Si el líquido o gas se encuentra en *condiciones normales de presión*, el fluido más caliente y menos denso asciende, mientras que el fluido más frío y más denso desciende. Este tipo de movimiento se denomina *convección natural*.

2.2.9 Actividad de agua en los alimentos.

Al deshidratar un alimento no sólo se disminuye su contenido de agua sino que se disminuye la disponibilidad de esta agua. Esta disponibilidad varía de un producto a otro según su composición, algunas estructuras o moléculas retiene más agua que otras. La forma de expresar la disponibilidad de agua, es decir el grado de libertad del agua del producto, es la relación parcial de agua en el alimento (p) y la presión de vapor de agua pura (p_0) a la misma temperatura (Scott, 1953).

$$a_w = \frac{p}{p_0} = \frac{\%HRE}{100} \quad \text{Ec.3}$$

Define la actividad de agua en el producto y su relación con la humedad relativa de equilibrio (%HRE) del medio.

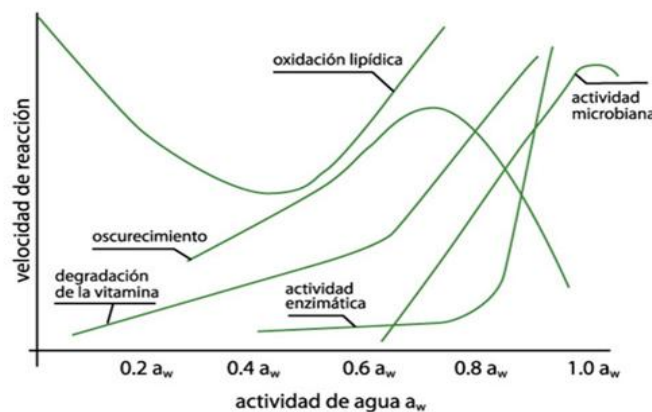


Figura 3. Gráfica de estabilidad de los alimentos. Velocidad relativa de las reacciones degradativas en función de la actividad del agua (Labuza, 2000).

La actividad de agua se define con relación a un estado de referencia que es el del agua pura, para la cual dicha actividad es igual a 1 ($p = p_0$). Si el agua esta ligada al sustrato seco por fuerzas de unión físico-químicas, se tendrá que $p < p_0$. Su valor está comprendido entre 0 y 1 ($0 \leq a_w \leq 1$).

2.2.10 Mecanismo de secado transversal.

Como se mencionó anteriormente, cuando un gas pasa a través de un lecho de solidos granulares húmedos, puede resultar tanto un periodo de rapidez constante como un periodo decreciente; La evaporación de la humedad no contenida hacia el gas ocurre en una zona relativamente estrecha que se mueve lentamente a través del lecho; por otra parte, solo si el lecho se calienta internamente, el gas que sale de esta zona esta, para todos los fines prácticos, saturado a la temperatura de saturación adiabática del gas entrante. Esta temperatura también es la temperatura superficial de las partículas húmedas. La rapidez de secado es constante mientras la zona este completamente dentro del lecho. Cuando la zona alcanza al principio el final del lecho, la rapidez de secado empieza a decaer debido a que el gas ya no sale en una condición saturada (Geankoplis, 2006).

2.2.11 Tiempo de secado para el periodo de secado en la región constante.

El tiempo de secado de un sólido en las mismas condiciones para las cuales se ha determinado completamente una curva de cinética de secado, se necesita simplemente leer la diferencia en los tiempos que corresponden a los contenidos inicial y final de humedad mediante la curva que se muestra en la figura 4. Sin embargo, dentro de ciertos límites, algunas veces es posible calcular la apariencia de una curva de rapidez de secado como la que se muestra en la figura 1, donde poder realizar una lectura es difícil, por lo que para determinar el tiempo de secado, se puede hacer lo siguiente, ya que por definición, la rapidez de secado es:

$$R_C = \frac{-Ls \, dX}{A \, d\theta} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde al reordenar la ecuación para despejar el diferencial de tiempo ($d\theta$), y luego integrando, se obtiene la ecuación para la región de secado constante:

$$\theta = \frac{L_s}{A} \frac{(X_1 - X_2)}{R_C} \quad \text{Ec. 5}$$

Que representa al tiempo de secado para un material, sin embargo, se debe notar que esta ecuación será específica para cada material particular a secar y no puede aplicarse a cualquier producto (Treybal, 1980).

2.2.12 Tiempo de secado teórico en la región de velocidad decreciente.

Cuando la velocidad es una función lineal que pasa a través del origen, en algunos casos, una recta proyectada desde el contenido crítico de humedad, X_c , que pasa a través del origen represente de manera adecuada a la totalidad del periodo de velocidad decreciente. La suposición anterior se establece con bastante frecuencia cuando se carece de datos más detallados. Entonces, para una recta a través del origen, donde la velocidad de secado es directamente proporcional al contenido de humedad libre, se tendrá que el tiempo de secado para la región decreciente se representa como:

$$\theta = \frac{L_s X_c}{A R_C} \ln \frac{X_c}{X_2} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde L_s , representa la masa del sólido seco, A es el área de la región expuesta al secado, R_c es la velocidad puntual en punto crítico, X_c es la humedad crítica.

2.3 La Manzana. Origen, Propiedades, Características y otros.

La manzana es una fruta pomácea comestible obtenida del manzano doméstico (*Malus domestica*), otros manzanos (especies del género *Malus*) o híbridos de aquel. Se le llama *pero* (o también conocida como *pera*) cuando tiene forma alargada, aunque en muchas partes se le llama indistintamente *pero* a la manzana (Real Academia Española, 2010).

Es una de las frutas más cultivadas del mundo. Los productores de Latinoamérica más importantes son Chile y Argentina, ambos con más de 1 millón de toneladas cada uno, producidos principalmente en Valle Central (Chile) y Alto Valle del Río Negro (Argentina), zonas donde el clima y las características del suelo favorecen el cultivo (Garriz I. & Bilder, 2002).

2.3.1 Composición nutricional de la manzana.

Tabla 1.

Composición nutricional de la manzana por cada 100 gramos de parte comestible cruda.

Contenido nutricional	Aporte	% CDR (cantidad diaria recomendada)
Energía	59 kcal	3
Proteínas	0,190 g	-
Hidratos de Carbono	12,6 g	4
Fibra	2,7 g	11
Vitamina A	5 µg ER	1
Vitamina B1	0,017 mg	1
Vitamina B2	0,014 mg	1
Vitamina B6	0,048 mg	2
Vitamina B12	-	-
Niacina	0,11 mg EN	1
Vitamina C	5,7 mg	10
Vitamina E	0,32 mg EαT	3
Calcio	7 mg	1
Fósforo	7 mg	1
Magnesio	5 mg	1
Hierro	0,18 mg	2
Potasio	115 mg	6
Cinc	0,04 mg	-
Grasa Total	0,36 g	1
Grasa Saturada	0,058 g	-
Colesterol	-	-
Sodio	1,5 mg	-

Fuente: El Poder Medicinal de los Alimentos (Pamplona Roger, 2005, pág. 216).

La tabla 1 muestra la composición general de los nutrientes presentes en la manzana, aunque esta no especifica la variedad de manzana, se entiende de que en general estos son los

aportes nutricionales que tiene este fruto, y que puede también variar de una variedad respecto a otra.

2.4 La energía solar.

La energía solar es la energía producida por la irradiación solar. Existen dos formas básicas de energía aprovechables del sol: la energía solar térmica (que aprovecha la luz del astro para convertirla en calor) y la energía solar fotovoltaica (que genera energía eléctrica directamente de los rayos luminosos).

Ambos tipos tienen diversas aplicaciones en las actividades humanas, pero para los fines de esta investigación, sólo se atenderá lo relacionado a la energía solar térmica. Los sistemas de energía solar térmica son los que aprovechan la radiación solar como un sistema de calentamiento. Dentro de los sistemas térmicos se puede distinguir los sistemas pasivos y los activos. En el primer caso se aprovecha la radiación solar para la climatización de viviendas mediante el diseño arquitectónico; las viviendas bioclimáticas serían un ejemplo claro de ello. Los sistemas térmicos activos de energía solar son aquellos que son capaces de captar la energía de la radiación solar mediante un captador o colector por el que circula un fluido y transferirla a un sistema para su aprovechamiento posterior (Agencia de Energía de Valencia, 2012).

A pesar de lo anteriormente mencionado, el sol no emite su energía de forma homogénea sobre las distintas zonas del planeta. A decir verdad, la radiación varía en función de su latitud, alcanzando el máximo en el ecuador y decreciendo hacia los polos (aunque esta aproximación se ve sujeta a fenómenos meteorológicos locales) (Red de Energía Solar y medio ambiente, 2011).

Los sistemas térmicos activos se emplean para obtener un fluido caliente con unos rendimientos altos (entre 30 y 70%), mientras que los sistemas solares fotovoltaicos son utilizados para la producción de electricidad y en estos, a diferencia de los térmicos, existe una conversión energética con un rendimiento más bajo (alrededor de 12-14%). El alto interés en aumentar de manera rápida el rendimiento y la eficiencia de aprovechamiento de las energías renovables, principalmente con el objetivo de acercarlos a los niveles de los combustibles fósiles, está intensificando el apoyo al estudio de los elementos que afectan la optimización de

su uso. Entre estos elementos se destacan los materiales empleados, tanto los utilizados en los componentes activos para la captación, transporte y transformación de la energía como en los elementos constructivos de los sistemas de aprovechamiento de las energías renovables (Agencia de Energía de Valencia, 2012).

En años recientes se han investigado diversos materiales convencionales y no convencionales por su capacidad de almacenar energía térmica. Estos dispositivos de almacenamiento de energía térmica (*Thermal energy storage devices*, TESD) se seleccionan de acuerdo a propiedades físicas, químicas y económicas cruciales, las cuales incluyen punto de fusión, calor de fusión, densidad, capacidad calorífica, conductividad térmica, compatibilidad con el contenedor y costo de producción (Vasistha D. Bhatt & Arunabh, 2010).

2.4.1 Relación Sol-Tierra.

La distancia existente entre el sol y la tierra, no es el único factor determinante a la hora de captar la energía proveniente del astro, sino que también tienen un rol importante la inclinación y la traslación de la tierra, que a la larga determinan lo que conocemos como las estaciones del año. Lo anterior, se traduce en variaciones de la temperatura, la cual además se ve influenciada por la latitud geográfica de donde se esté ubicado, es decir, mientras más cercano a los polos, menor temperatura (Inzunza, 2004).

El gradual pero significativo cambio en la duración del día, es una de las diferencias que se observan entre el verano y el invierno. También la altura del Sol al mediodía cambia notablemente: en verano el Sol a las 12 horas se ve más alto sobre el horizonte y lo vemos inclinarse cada vez más a medida que llega el invierno. Además la salida del Sol es más temprano, y la puesta del Sol más tarde en verano que en invierno, por lo tanto los días más largos, es decir se recibe mayor cantidad de energía solar en verano que en invierno (Inzunza, 2004, pág. 48).

2.4.2 Inclinación terrestre y ángulo de captación.

Las variaciones en el ángulo que llegan los rayos del sol sobre la tierra y la duración del día, se deben a que la orientación del eje terrestre respecto al Sol cambia continuamente en el transcurso de un año. El eje de rotación terrestre no es perpendicular al plano de su órbita en torno al Sol, sino que presenta una inclinación de 23.5° respecto al plano (véase Figura 4). Si el eje no estuviera inclinado, no habría cambios estacionales durante el año. El eje terrestre

casi siempre en la misma dirección, es decir, hacia la *estrella del norte*, por lo que la orientación de la Tierra es su traslación en torno al Sol, siempre está cambiando respecto a los rayos solares.

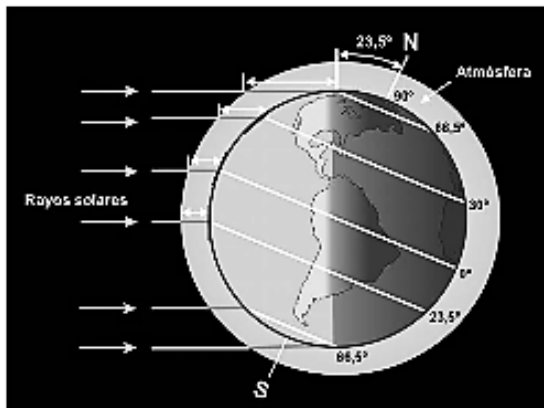


Figura 4. Espesor de atmosfera que cruzan los rayos solares e inclinación terrestre con respecto a la refracción solar (Inzunza, 2004, pág. 50).

2.5 Diseño y análisis para el experimento estadístico.

2.5.1 Los experimentos estadísticos.

Dentro de la investigación para el desarrollo del prototipo de deshidratador solar, se pensó en un análisis estadístico que pudiera afirmar que los resultados obtenidos estuvieran en una línea muy cercana con los resultados que se pueden obtener del uso de tecnologías convencionales, tales como la electricidad. Para desarrollar dicho análisis, Canavos establece que existen ciertos detalles importantes en un experimento y que se deben reconocer muy bien.

Cuando se está frente a un fenómeno donde existe la incertidumbre, el procesamiento apropiado para investigarlo es experimentar con él, de manera de poder identificar las características de interés [...]. El elemento más importante de un experimento, y que muchas veces se subestima, es la formulación del problema a resolver. No puede esperarse una oportunidad de éxito razonable sin alguna dirección con respecto al propósito del experimento (Canavos, 1988: p. 401).

Una vez que se define el propósito del experimento, se deben llevar a cabo otros pasos que ayudan a cimentar los primeros pasos de la investigación. Uno de estos pasos corresponde a la *identificación de la variable por medir*, también conocida como *respuesta*, y un segundo paso es reconocer *el factor o factores potenciales* que puedan influir en la

respuesta. La *respuesta* también se conoce como variable dependiente; *el factor (o factores)*, recibe el nombre de *variable independiente* y se asume que este se encuentra bajo control del investigador.

Para esta investigación, necesitamos comprobar que la cinética de secado obtenida por operar con el prototipo de deshidratado solar, no difiere en su funcionamiento con un deshidratador que usa energías convencionales.

Otro concepto que se debe tener presente, hace referencia al valor o condición bajo el cual se observará la respuesta medible y se conoce como *nivel o tratamiento del factor*. Es decir, la forma en que se llevará a cabo el estudio. Para seleccionar el procedimiento adecuado, está directamente relacionado a las metas que se quieren alcanzar con el experimento.

También, se define como *unidad experimental* al objeto o persona que es capaz de producir una medición de la variable de *respuesta* después de aplicar un *tratamiento* dado (Canavos, 1988).

En esta investigación y para instruir al lector, se da a conocer los conceptos anteriormente mencionados. Como esta investigación, pretende atender un proceso de deshidratado con base en el uso de energías no convencionales, la interrogante que se genera al respecto tiene relación con la pérdida de humedad que puede llegar a alcanzar un producto al interior de la cámara de secado y si este proceso de pérdida de humedad será homogéneo para todo el producto a lo largo y ancho de la extensión de la bandeja; y por otra parte, si también será homogéneo en todo el producto si hay más bandejas al interior de la cámara de secado, dado que el flujo de aire circulante actuará transversalmente a través de las bandejas. Por tanto, se puede reconocer que *la respuesta* dice relación con la pérdida homogénea de humedad. El *factor* será la posición de la muestra en la bandeja (extremos y centro de la bandeja). El *nivel o tratamiento* serán la existencia de dos bandejas de secado con producto y la *unidad experimental* serán las rodajas de manzanas como muestra.

2.5.2 El diseño del modelo más apropiado.

Para poder medir las observaciones de la respuesta de un experimento, se requiere de un proceso denominado diseño estadístico, el cual debe ser modelado de tal manera que minimice al máximo posible los sesgos propios de la experimentación y toma de datos. En un

experimento diseñado estadísticamente, es de igual importancia el concepto anteriormente mencionado de repetición cuyo propósito es medir el error experimental.

En el diseño de experimentos estadísticos, el interés primario recae en como asignar las unidades experimentales a los tratamientos o viceversa, para así asegurar un proceso imparcial. Bajo este contexto, es que la técnica del *análisis de varianza* proporciona un procedimiento inferencial para probar la hipótesis nula dada por:

$$H_o: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k \quad \text{Ec. 7}$$

Donde la necesidad de tener unidades experimentales esencialmente homogéneas, puede organizarse de acuerdo a la Tabla 2.

Tabla 2.

Arreglo común de los datos de la muestra de un experimento con solo un factor completamente aleatorizado.

Tratamientos					
1	2	...	j	...	k
Y_{11}	Y_{12}	...	Y_{1j}	...	Y_{1k}
Y_{21}	Y_{22}	...	Y_{2j}	...	Y_{2k}
...	...	...	...	...	...
Y_{i1}	Y_{i2}	...	Y_{ij}	...	Y_{ik}
...	...	...	...	...	...
Y_{n1-1}	Y_{n22}	...	Y_{n1j}	...	Y_{nkk}

Fuente: (Canavos, 1988, pág. 341).

2.5.3 Análisis de varianza para un modelo de efectos fijos del experimento.

La técnica del análisis de varianza en realidad es un análisis de la variación de las medias y éste se logra mediante la participación de la variación total en las observaciones en componentes no especificados por el modelo matemático. Esto permite determinar una estadística apropiada de tal manera que pueda tomarse una decisión con respecto a una hipótesis nula. La expresión fundamental del análisis de varianza se expresa a continuación:

$$\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (Y_{ij} - \bar{Y}_{..})^2 = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (\bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..})^2 + \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (Y_{ij} - \bar{Y}_{.j})^2 \quad \text{Ec. 8}$$

El término en el lado izquierdo de la igualdad de la ecuación 10 es la *suma total de cuadrados* y se denota por *STC*. El primer término después de la igualdad se denomina *Suma de los cuadrados de los tratamientos* y se denota por *SCTR*. El último término es la *suma de los cuadrados de los errores*, denotada por *SCE*. Por tanto la ecuación 10 se transforma en la ecuación:

$$STC = SCTR + SCE \quad \text{Ec. 9}$$

SCE mide la cantidad de variación en las observaciones debida a un error aleatorio. Si todas las observaciones que se encuentran dentro de un mismo tratamiento son las mismas, y si este hecho es cierto para todos los *k* tratamientos, entonces *SCE*=0. De acuerdo con lo anterior, entre más grande es *SC*, mayor es la variación en las observaciones que puede atribuirse a un error aleatorio. *SCTR* mide la extensión de la variación, en las observaciones, que se debe a diferencias entre los tratamientos. Si todas las medias de los tratamientos son iguales entre sí, entonces *SCTR*=0. De esta forma, entre más grande el valor de *SCTR*, mayor es la diferencia que existe entre las medias de los tratamientos y la media global. Con base en la Ec. 11, el número de grados de libertad para *SC* será igual a la diferencia entre el número de grados de libertad (*gl*) para *STC* y *SCTR*,

$$gl(SCE) = gl(STC) - gl(SCTR) \quad \text{Ec. 10}$$

$$gl(SCE) = N - 1 - (k - 1) \quad \text{Ec. 11}$$

$$gl(SCE) = N - k \quad \text{Ec. 12}$$

Si se considera que en un tratamiento, sus medias no son todas iguales entre sí y de esta forma, se corre el riesgo de rechazar la hipótesis nula planteada el comienzo, entonces se habla de que esta condición sucederá cuando el estadístico siguiente se encuentre dentro de una región crítica superior de tamaño α :

$$F = \frac{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \frac{(\bar{Y}_{.j} - \bar{Y}_{..})^2}{(k-1)}}{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} \frac{(\bar{Y}_{ij} - \bar{Y}_{.j})^2}{(N-k)}} \quad \text{Ec. 13}$$

El análisis anterior constituye la técnica de varianza para un experimento con un solo factor completamente aleatorizado. Las fuentes de variación, grados de libertad, suma de cuadrados, cuadrados medios y el cociente *F* juntos, constituyen lo que se conoce como tabla de análisis de varianza (ANOVA), representada en el Tabla 3.

Tabla 3.

Cuadro modelo de Análisis de Varianza para un experimento con sólo un factor completamente aleatorio.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F ₀
Tratamientos	SCTR	k-1	$\frac{SCTR}{(k-1)}$	Ver Ecuación 13.
Error	$\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (Y_{ij} - \bar{Y}_{.j})^2$	N-k	$\frac{\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^{n_j} (Y_{ij} - \bar{Y}_{.j})^2}{(N-k)}$	
Total	STC	N-1		

Fuente: (Hines, Montgomery, Goldsman, & Borror, 2005, pág. 429).

2.5.4 Pruebas de Hipótesis Estadísticas.

La esencia de probar una hipótesis estadística es el decidir si la afirmación se encuentra apoyada por la evidencia experimental que se obtiene a través de una muestra aleatoria. En forma general, la afirmación involucra ya sea a algún parámetro o a alguna forma funcional no conocida de la distribución de interés a partir de la cual se obtiene una muestra aleatoria. La decisión acerca de si los datos muestrales apoyan estadísticamente la afirmación se toma con base en la probabilidad, y, si esta es mínima, entonces será rechazada. Esta primera idea de hipótesis, se conoce como hipótesis nula y se denota como H_0 . Una hipótesis nula debe considerarse como verdadera a menos que exista suficiente evidencia en contra.

La probabilidad de rechazar la hipótesis nula (H_0), dado que ésta sea cierta, se define como la probabilidad del error tipo I, y se denota por α , con $0 \leq \alpha \leq 1$.

La probabilidad de no rechazar la hipótesis nula, dado que ésta es falsa, se define como la probabilidad del error tipo II y se denota por β , con $0 \leq \beta \leq 1$.

Entonces, por ejemplo, para un nivel de significancia α , los valores críticos de la variable aleatoria en estudio se representan en la siguiente imagen,

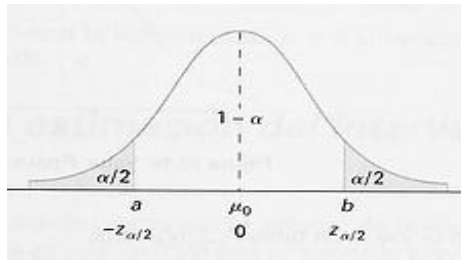


Figura 5. Región crítica para la comprobación de la hipótesis nula y alternativa (Walpole, Myers, & Myers, 1999, pág. 307).

Para construir una regla de decisión apropiada en la prueba de una hipótesis estadística, también es necesario establecer una *hipótesis alternativa* que refleje el valor posible o intervalo de valores del parámetro de interés si la hipótesis nula es falsa. Esto es, la hipótesis alternativa representa alguna forma de negación de la hipótesis nula. Generalmente la hipótesis alternativa representa alguna forma de negación de la hipótesis nula.

La probabilidad α del error tipo I también se conoce como *nivel de significancia estadístico*. En este contexto la palabra *significancia* sólo implica que la evidencia muestral es tal, que garantiza el rechazo de H_0 a un nivel dado de α . En consecuencia, la frase *el rechazo de H_0 es estadísticamente inapreciable a un nivel dado α* , es lo más apropiado, dado el caso.

2.5.5 Prueba F de Fisher.

En estadística se le denomina *test F (de Fisher)* a cualquier prueba en la que el estadístico utilizado sigue una distribución F si la hipótesis nula H_0 puede ser rechazada. En la estadística aplicada se prueban muchas hipótesis mediante éste test, entre ellas: la hipótesis de que las medias de múltiples poblaciones normalmente distribuidas y con la misma desviación estándar son iguales. El test entonces se basa en un cociente modificado de la suma de cuadrados de residuos de los dos modelos, tal como los descritos en la sección antes indicada.

La gráfica de la distribución F, para diferentes grados de libertad, se muestra en la figura 6.

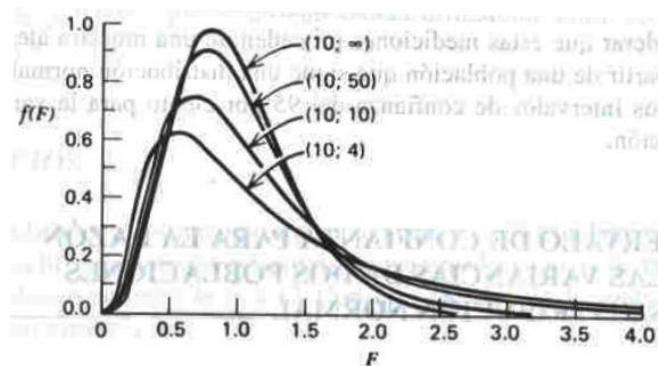


Figura 6. Distribución F para varios grados de libertad. Fuente: (Walpole, Myers, & Myers, 1999, pág. 338).

2.6 Evaluación económica del Proyecto de prototipo de deshidratado Solar.

Se debe tener en consideración las etapas cronológicas en la formulación de un proyecto, las que son: *el perfil del proyecto*, *proyecto de pre factibilidad* y *proyecto de factibilidad*.

Para fines de este proyecto, la etapa de factibilidad concluye en la viabilidad comercial, técnica, organizacional, financiera y económica.

2.6.1 Etapa de Factibilidad.

Considera una formulación más detallada, tanto en las cotizaciones de inversiones e insumos, como en las posibilidades de venta de los productos o servicios agrícolas. Los estudios se realizan de manera más rigurosa recurriendo a fuentes primarias y sólo a secundarias cuando corresponde. Se afinan los criterios considerados en etapas anteriores del proyecto y de ser necesario, se pueden hacer reformulaciones o ajustes. Los resultados determinan en forma definitiva la conveniencia de realizar una inversión y para llevar a cabo esto, se debe realizar lo que se llama una *evaluación privada*, llamada así dado que el proyecto del que estamos hablando no tiene un fin social (no es un proyecto social). Esta evaluación puede hacerse desde dos puntos de vista que son complementarios: uno *económico* y otro *financiero*. El primero busca determinar la eficiencia con que se usan todos los recursos puestos a disposición del proyecto, sin distinguir entre los recursos propios y los prestados por un agente financiero, por tanto, la rentabilidad que se puede obtener corresponderá a todos los recursos de capital puestos a disposición del proyecto. La evaluación financiera por su parte,

distingue el origen de dichos recursos, estima los gastos y la capacidad de pago del proyecto, y evalúa la eficiencia solamente de los capitales propios (Olavarría A., Jaime A.; Jara G., Carlos; Troncoso C., Javier L., 2003).

2.6.2 Evaluación del Proyecto.

Como métodos de evaluación financiera y económica de proyectos, se presentan los siguientes:

- Valor actual neto (VAN): Este indicador resulta de la suma de todos los flujos esperados para el proyecto, durante el periodo de evaluación para luego comparar esta suma con la inversión inicial. Dentro de este concepto, es importante tener en cuenta *la tasa de retorno* (r_0) que se define como la mínima rentabilidad que se está dispuesto a recibir por realizar el proyecto. Por tanto, se define el VAN como:

$$VAN = -I + \frac{F_1}{(1+r_0)} + \frac{F_2}{(1+r_0)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+r_0)^n} \quad \text{Ec. 14}$$

Donde I representa la inversión inicial, F_i son los flujos de caja del proyecto en el periodo i ($i=1,2,\dots, n$). Bajo este indicador, se debe aceptar el proyecto sólo en el caso que el VAN sea igual o superior a cero.

- Tasa Interna de Retorno (TIR): Representa la rentabilidad del proyecto. Se calcula basándose en determinar la tasa de descuento para la cual el VAN se iguala a cero, es decir, determinar r_0 tal que $VAN = 0$.

$$VAN = -I + \frac{F_1}{(1+r_0)} + \frac{F_2}{(1+r_0)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+r_0)^n} = 0 \quad \text{Ec. 15}$$

Bajo este indicador, el proyecto ha de aceptarse si es mayor que la tasa exigida. Existen otros indicadores de aceptación para proyectos de inversión, sin embargo, para interés de esta investigación, los mencionados anteriormente cumplen de manera más objetiva lo que se espera demostrar.

Este método de evaluación, considera que una inversión es aconsejable si la TIR resultante es igual o superior a la tasa exigida por el inversor, y entre varias alternativas, la más conveniente será aquella que ofrezca una T.I.R. mayor (Garrido Martos, 2006).

2.6.3 Depreciación.

Como el prototipo de deshidratado corresponde a un bien tangible, utilizado para desarrollar una actividad, tendrá un tiempo de vida útil, el cuál claramente será superior a un año. Por este hecho, se puede establecer que el prototipo de deshidratador está sujeto a lo que se denomina *depreciación*.

Se ha de tener en consideración, para efectos de la depreciación, lo que se denomina *el costo de adquisición*, que represente el importe económico al que recurrió para poder adquirir el bien y ponerlo en condiciones de ser utilizado en la actividad. Incluye los precios de compra y otros gastos necesarios, tales como fletes, seguros, honorarios, trámites de registro (en caso de que se necesiten realizar), compras, construcciones anexas, ensayos de puesta en marcha, capacitación de personal, etc. Los gastos en que se incurra después de la puesta en marcha del equipo, serán considerados resultados del período al que se asignen.

Entre sus causas pueden deberse a la duración física propia del bien, entre estas se encuentran *el agotamiento, desgaste o envejecimiento*. Por causas económicas, se puede hablar de *explotación por tiempo limitado, envejecimiento ya sea técnico o económico*. Por temas contables, se puede referir a *consolidación, política de dividendos o tributarias*.

Por todo lo anterior, para poder calcular la depreciación, hay que tener en cuenta: *el valor a depreciar, el valor de recuperación, la vida útil y finalmente, qué método se ocupará*. El *método de depreciación en línea recta*, es también llamado método lineal o constante, el cual admite que la depreciación es una función constante del tiempo y que las causas que la provocan tienen efectos continuos y homogéneos.

Para el cálculo se considera el *valor a depreciar*, el que se calcula de la siguiente manera:

$$C.A. - V.E.R = Valor a Depreciar \quad \text{Ec. 16}$$

Donde la sigla C.A. indica el costo de Adquisición y V.E.R, indica el valor de recuperación estimado al finalizar el uso.

Este valor a depreciar, es básicamente el costo de adquisición, pero no se debe ignorar el valor que el bien pueda tener para el proyectista al dejar de ser útil en su actividad, es decir, *el valor de recuperación*, que es la estimación del valor que el bien tendrá para la empresa una vez finalizada su utilización. Este valor surge de la diferencia entre el precio de venta estimado y todas las erogaciones necesarios para retirar el bien de servicio.

Posteriormente, se debe asignar al bien, un periodo de funcionamiento que se considerará apto para cumplir las metas que haya de disponer para el provecho del equipo. A esto se le llama *vida útil*, que se puede considerar en tiempo o en capacidad de producción. Así, con lo antes mencionado, la cuota de depreciación para el método en línea recta, se determina de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Valor a depreciar}}{\text{Vida útil estimada}} = \text{Cuota de depreciación} \quad \text{Ec.17}$$

De esta manera se obtiene la cuota de depreciación correspondiente al período sobre el cual se harán los cálculos para completar el flujo de cajas y calcular posteriormente los indicadores de VAN y TIR (Sapag Puelma, 2000).

2.7 PAS 2050-Cálculo de la Huella de Carbono.

La normativa PAS 2050, es la especificación más reciente para la evaluación del ciclo de vida de las emisiones de efecto invernadero, procedente de actividades y productos asociados a una organización o producto. Este tipo de emisiones (en adelante GEI) se basan en las ya conocidas normas ISO, específicamente en las normas ISO 14040 e ISO 14044.

Cabe mencionar el hecho de que cumplir con esta normativa, en ningún caso confiere a ninguna organización o producto la inmunidad frente a los cumplimientos de sus obligaciones legales, sino más bien es un procedimiento al que las organizaciones se someten voluntariamente y salvo en algunos casos, este protocolo es requisito para cumplir reglamentos legales.

Uno de los aspectos críticos es que las organizaciones o instituciones que reclamen conformidad del cálculo de la huella de carbono de sus productos conforme al protocolo PAS 2050, deben garantizar que el análisis del ciclo de vida de sus productos sea completo, es decir, asegurándose que se han considerado todos los aspectos relevantes y la totalidad del ciclo de vida del producto. Para lo último, PAS 2050 diferencia dos tipos de ciclo de vida en función del producto:

- *Business to Business*, que considera el ciclo de vida finalizado cuando el producto es entregado a otra organización para que sea utilizado en la elaboración de otro producto.

- *Business to Customer*, que considera el ciclo de vida completo del producto incluyendo actividades posteriores a la entrega del producto al consumidor final.

2.7.1 Fuentes de emisión.

Se requiere considerar al menos, y de forma no limitante toda una serie de fuentes de emisión tales como: uso de energías, procesos de combustión, reacciones químicas, pérdidas de gases refrigerantes y otros gases volátiles.

También, a las fuentes de emisiones se establecen especificaciones muy concretas en relación a:

- La emisión de CO₂ y otros gases que puedan proceder de carbones fósiles y vegetales.
- Carbono almacenado en los productos, donde se debe incluir una metodología para calcular una posible emisión de CO₂ a partir de dicho carbono contenido.
- Incluir las emisiones de GEI que puedan proceder del cambio en la utilización de terreno (solo si es aplicable). De ser aplicable, se debe tener en consideración las directrices IPCC para inventarios nacionales de GEI.
- Si los productos son de origen agrícola, se debe incluir una trazabilidad limitada, esto es, tener claridad sobre todo lo concerniente al origen del producto.

Es importante tener presente que no se deben excluir del análisis del ciclo de vida de un producto, emisiones asociadas utilizando como argumento que dichas emisiones quedan fuera del análisis por han sido compensadas por algún mecanismo reconocido a nivel nacional o internacional, refiérase a esto, aportaciones para plantación de árboles, compra o venta de derechos de emisión, pago de impuestos por emisión.

2.7.2 Asignación de Emisiones.

Establece requisitos en relación a la asignación de emisiones asociadas a:

- La generación de residuos, con lo cual se identifican emisiones de CO₂, otros gases distintos al CO₂ y combustiones de metano.
- Utilización de energías de limpias.
- Transporte de bienes, tales como materias primas o productos, considerando incluso las emisiones de vehículos cuando retornan vacíos.

- Uso de materiales reciclados y reciclaje de producto.
- Reutilización y/o Reacondicionamiento.

2.7.3 Cálculo de emisiones.

Todo el proceso de evaluación culmina con este proceso de cálculo. Para llevarlo a cabo, se establecen un método de cálculo que contempla 5 etapas:

- Convertir primeramente los datos primarios y secundarios en emisiones de GEI.
- Convertir dichas emisiones a su equivalente en CO₂.
- Calcular el carbono almacenado en el producto y convertirlo en CO₂ equivalente.
- Calcular las emisiones de GEI por unidad funcional de producto y llevarlas a su equivalente en CO₂.
- Calcular finalmente las emisiones de CO₂ considerando las materias primas o procesos menores que hayan sido excluidos del análisis del ciclo de vida.

Finalmente, una vez terminado el proceso antes descrito, se realiza la *declaración de conformidad*, la cual se puede efectuar mediante 3 formas de acuerdo al PAS 2050.

- Certificación por tercera parte independientemente acreditados.
- Verificaciones de otras partes
- Auto verificación. Cuyo caso requiere que el método para verificación y declaración se encuentren en conformidad con la norma ISO 14021 (British Standards Institution Group Iberia, S.A.U, 2010).

Teniendo en consideración lo mencionado anteriormente, la fórmula de cálculo para las emisiones de CO₂ concernientes a la Huella de Carbono en el ciclo de vida de un producto se determina mediante:

$$F.P. \times F.E = Emisión de CO_2 \quad \text{Ec. 18}$$

Donde *F.P.*, indica a la fuente primaria de emisión; *F.E.*, indica el factor de emisión de acuerdo a los patrones establecidos por la IPCC (2006). De manera similar, El factor de emisión es calculable de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\frac{X [Kg] de CO_2 eq.}{Kg de combustible} = F.E \quad \text{Ec. 19}$$

Ambas ecuaciones anteriormente descritas pueden traducirse a lo siguiente:

$$kg \text{ de combustible} \times \frac{kg \text{ CO}_2 \text{ equivalente}}{kg \text{ Combustible}} = kg \text{ de CO}_2 \text{ equivalente} \quad \text{Ec. 20}$$

Cabe recalcar que cuando se habla de *combustible*, no necesariamente se refiere al tipo de combustible que se conoce como diesel o gasolina, sino más bien, se refiere a la posible fuente contaminante que es capaz de emitir CO₂ y aportar a los GEI.

La única salvedad respecto a la determinación de emisiones de CO₂, se produce al momento de querer estimar el CO₂ producido por los combustibles (transporte terrestre), como por ejemplo la gasolina, diesel u otro similar, dado que para este caso es necesario estimar también las emisiones de óxido nítrico (N₂O) y Metano (CH₄), liberados al ambiente por la combustión, puesto que estos gases, producidos en porcentaje considerable por estos efectos, también son considerados como GEI. Primeramente, para los efectos de cálculo de CO₂ asociado al transporte, el procedimiento es el siguiente:

- CO₂ del transporte terrestre:

$$Emisión \text{ de CO}_2 [kg] = \text{litros consumidos (ida y regreso)} \times EF_a \quad \text{Ec. 21}$$

Donde EF_a es el factor de emisión [kg/Lt] y el subíndice a , hace referencia al tipo de combustible (para nuestros efectos es gasolina). Cabe mencionar que el factor de emisión de CO₂ toma en cuenta todo el carbono del combustible, incluido el que se emite en forma de CO y material particulado.

- N₂O y CH₄ del transporte terrestre:

$$Emisión [kg] = \text{Litros consumidos (ida y regreso)} \times EF_a \quad \text{Ec. 22}$$

Donde EF es el factor de emisión [g de N₂O ó CH₄/Lt], el subíndice a refiere al tipo de combustible (diesel, gasolina, etc.).

Por otra parte, cuando se trata de desechos, la norma sólo aplica a Riles y bien a desechos orgánicos. Es en este último punto donde las normas del IPCC aclaran que los residuos orgánicos harán referencia al Carbono Orgánico Degradable (DOC), cuyo cálculo viene dado por la ecuación:

$$DOC = DOC_i \times W_i \quad \text{Ec. 23}$$

Donde DOC, es la fracción de carbono orgánico degradable en desechos brutos [g/g de desecho]; DOC_i , es la fracción de carbono orgánico degradable en los desechos de tipo i, en este caso, desechos de tipo alimenticio y W_i , es la fracción del tipo de desecho, en este caso alimenticio²¹.

Posteriormente, la sumatoria de todas las emisiones de CO₂ equivalentes asociadas a todas las fuentes, darán por resultado la huella de carbono, es decir:

$$\sum Emisiones\ de\ CO_2\ Equivalente\ de\ todas\ las\ fuentes \xrightarrow{entrega} Huella\ de\ Carbono$$

La validez de los resultados de un análisis de ciclo de vida es de dos años como máximo, excepto en los casos en que se produzca un cambio de vida en el ciclo del producto, en cuyo caso el resultado deja de tener validez inmediatamente (Inostroza, 2011).

CAPÍTULO 3

MATERIALES Y METODOLOGÍA.

3.1 Materiales.

Para la construcción de la cámara de secado y colector solar, se emplearon materiales que logran minimizar los costos de fabricación del prototipo, y que no afectan mayormente al desempeño esperado, con respecto al planteamiento inicial propuesto por Yévenes (2011). Estos materiales se describen en la Tabla 1.

3.2 Metodología.

Esta metodología será dividida en dos partes. Una que tiene relación con la construcción física del prototipo y otra referente a la toma y análisis de información sobre el funcionamiento del prototipo, la que a su vez está dividida en cinco criterios que abarcan mediciones de la cinética de secado, homogeneidad en el secado, validez estadística del procedimiento de secado adoptado, validez financiera del proyecto y medición del impacto medio ambiental.

3.2.1 Metodología de Construcción.

El diseño del prototipo de secado, se basó en los estudios y propuesta de Yévenes (2011). Sumado a la necesidad, por parte del investigador, de agregar la energía solar como fuente de energía, se le acondicionó un sistema de colector solar, muy similar al denominado *Cesmart 2*, hecho por el Ingeniero Químico uruguayo Cesar Martínez Yaquelo, pero que solamente contempla dentro de su elaboración, la forma y las características de captación de los rayos del sol (Centro Uruguayo de Tecnologías Apropiables, 2007).

Dentro de las características del prototipo de este trabajo, el deshidratador solar cuenta de dos partes: una cámara de secado y un colector solar. La cámara de secado cuenta de las siguientes dimensiones: 1,5 [m] de alto; 0,8 [m] de ancho y 0,7 [m] de espesor y está hecho de planchas de MDF de 3 [mm] de espesor, forrada por dos láminas de aluminio en ambas caras de la plancha. En las esquinas, consta de perfiles angulares de 90° de aluminio de 1 mm de espesor y 20 [mm] de aleta para unir las planchas.

El dimensionado de las planchas de MDF se solicitó en la tienda comercial desde donde se abasteció de este material. Las dimensiones solicitadas fueron, para la cámara de secado: dos trozos de $0,7 \times 1,5$ [m]; un trozo de $0,8 \times 1,5$ [m], un trozo de $0,8 \times 1,1$ [m] y dos trozos de $0,7 \times 0,8$ [m]. Para el colector, un trozo de $0,7 \times 0,8$ [m] y un trozo de $0,55 \times 0,7$ [m], donde este último trozo se subdividió en dos partes para formar el costado del colector solar, el cual debía quedar con una inclinación propia para cumplir la función de captar los rayos del sol. Posteriormente, se procedió a forrar por ambos lados de las planchas dimensionadas con las láminas de foto-aluminio.

El montaje tanto de la Cámara de Secado como del colector solar, se realizó mediante la unión de las planchas dimensionadas una vez que estuvieron forradas con las láminas de foto-aluminio. Para la cámara de secado, se tomaron las planchas de $0,7 \times 1,5$ [m] y se unieron perpendicularmente con las de $0,8 \times 1,5$ y $0,8 \times 1,1$ [m] respectivamente, mediante los perfiles angulares de aluminio de alas iguales. Previamente, en una de las planchas de $0,7 \times 1,5$ [m], se realizó un dimensionado con interior, con el objeto de colocar la puerta de acceso para las bandejas. Para la plancha de $0,8 \times 1,1$ [m], se tomó la precaución de dejar 40 [cm] por sobre el suelo con el objeto de dejar la entrada para la conexión con el colector solar (Ver Anexo de imágenes). Luego de este proceso, se colocó la base de la cámara de secado de $0,8 \times 0,7$ [m], la que de igual manera, se unió al resto de la estructura mediante los perfiles angulares de aluminio.

Posteriormente, se procedió a la instalación de las divisiones para disponer las bandejas al interior de la cámara de secado. Este procedimiento se realizó con los perfiles angulares de aluminio. La separación entre cada nivel para las bandejas fue de 15 [cm] y el ancho de ingreso fue de 65 [cm]. Este esquema de instalación se muestra en las. Finalmente, en la parte superior de la cámara de secado, se instaló la ventilación del equipo para la salida el aire caliente húmedo que resulta del proceso de deshidratado (véase *Figura 29*).

La cámara de secado, de acuerdo a las dimensiones especificadas, totaliza un volumen de $0,84$ [m³]. Consta de una capacidad para 5 bandejas de secado, cuyas dimensiones deben ser de $0,8 \times 0,61$ [m]. Dichas bandejas deben ser ingresadas con el producto a deshidratar por una puerta lateral y ubicadas en una de las 5 divisiones que están disponibles.

Por otra parte, el colector solar se procedió a construir siguiendo los mismos pasos anteriormente descritos para la cámara de secado ocupando los trozos de $0,7 \times 0,8$ [m] y el

trozo de 0,55 x 0,7 [m]. Este último trozo, se procedió a dimensionar en dos trozos iguales realizando una división en diagonal dejando una pendiente de 25° de inclinación con el objeto de captar más directamente los rayos del sol. Las uniones de los trozos también se realizaron con los perfiles angulares de aluminio y en la parte más estrecha de del colector, se colocó un trozo de malla mosquetera para evitar el ingreso de insectos u otro tipo de agente vector contaminante que afecte el proceso de deshidratado en el interior de la cámara. Por encima del colector y con el objeto de dejar pasar los rayos del sol, se instaló un vidrio simple de 2 [mm] de espesor, fijado con silicona para evitar fugas de calor.

El prototipo de deshidratador solar, fue diseñado pensando en la portabilidad del mismo, es por esto que, sumado a su liviano peso, el colector solar y la cámara de secado se caracterizan por ser dos piezas completamente separadas, pero ajustables al momento de cumplir su función. Esta característica se logra gracias a un sistema de unión mediante cierres de aluminio, llamados *cierres de caracol*, los cuales permiten unir y separar el colector de la cámara de secado cuando se requiera.

La construcción de las bandejas se realizó de la siguiente manera: Primero, se contaron dos trozos de perfil angular de aluminio de 56 [cm] de largo, cuatro trozos de pletina de 75 [cm] de largo y un trozo de 80 x 56 [cm] de malla mosquitera. La malla mosquitera fue unida a los trozos de aluminio en sus cuatro partes para formar una bandeja. Los costados más largos de la malla fueron unidos a las pletinas y los lados más cortos fueron unidos a los perfiles de aluminio. Primeramente se fijó un extremo delgado de la malla a un perfil de aluminio con la ayuda de remaches ciegos tipo pop. Posteriormente, se procedió a fijar los costados más largos con las pletinas uniéndolos por un extremo al perfil de aluminio y haciendo presión por ambos lados con la malla que estaba entre las dos pletinas, fijando con remaches. Por último, se anexó el otro extremo más delgado de la malla al resto de la estructura, pegándose a los otros extremos de pletinas con la ayuda de los remaches. Las cotas de medición del proyecto, se pueden apreciar con mayor detalle en las figuras 20 a la 23.

3.2.2 Metodología para la toma y análisis de información.

3.2.2.1 Pruebas de temperatura y secado.

Para comenzar a usar el prototipo de deshidratador solar, primeramente se efectuaron pruebas de temperatura en la cámara de secado con el objeto de monitorear el comportamiento

de la temperatura interna de la cámara de secado, con respecto al exterior y tener una clara idea de la temperatura que se puede alcanzar en el mes de Abril en la zona de Chillán. Se efectuaron pruebas de captación de calor con dos tipos de materiales sobre el colector solar: Makrolon, que es utilizado actualmente en la fabricación de los invernaderos más sofisticados y cuyas propiedades sobresalen sobre el nylon tradicional por ser casi igual de liviano, pero altamente resistente contra los efectos de la intemperie y los daños provocados por el sol; y vidrio, que es más pesado, pero altamente efectivo para captar los rayos del sol, entre otras propiedades. No obstante, se debe considerar que el funcionamiento óptimo del prototipo, está pensado para días más cálidos, como los que se registran durante los meses de Octubre a Marzo, en la ciudad de Chillán.

Primero, se llevó tanto la cámara de secado como el colector solar a un sitio despejado de árboles y otro tipo de objetos que pudieran obstaculizar el contacto de los rayos del sol con el colector solar.

Una vez ubicada la posición precisa donde se ubicaría el deshidratador, se procedió a realizar la conexión entre el colector solar y la cámara de secado mediante los *cierres de caracol* instalados en el colector y que van unidos a la cámara de secado.

Una vez anexo el colector, se procedió a ubicar el deshidratador en dirección al sol para poder comenzar a captar los rayos. A la vez, se instaló por el costado opuesto al ingreso de las bandejas, un Termómetro digital para poder medir la diferencia de temperatura con respecto al exterior y se dejó en contacto con el exterior, otra termocupla.

El esquema del comportamiento de la temperatura al interior de la cámara de secado, con los dos tipos de materiales antes mencionados, se muestra en las gráficas 1 y 2 del Anexo de gráficas de esta investigación.

Posteriormente, se procedió a realizar las pruebas de deshidratado de manzanas de la variedad *Fuji*, las que fueron adquiridas en mercado local de la ciudad de Chillán. Las manzanas fueron cortadas en rodajas de 5 [mm] de espesor, en forma cilíndrica y dispuestas en las bandejas.

Una vez listas todas las bandejas con el producto, se procedió a identificar las muestras que serían extraídas para medir la pérdida de peso mediante el proceso de deshidratado. Para su identificación, se escogieron tres rodajas de cada bandeja las que estaban dispuestas en diferentes sectores, preferencialmente en los dos extremos y al centro de la

bandeja, y se les etiquetó con un dígito para su identificación. Luego las bandejas fueron colocadas al interior de la cámara de secado donde se dio por comenzado el proceso de deshidratado.

Se determinó que el rango de tiempo para obtener los diferentes pesos de las distintas muestras serían cada 15 minutos. Terminado cada intervalo de tiempo, se extrajeron las muestras con pinzas y fueron colocadas en placas *Petri*, previamente taradas, donde se pudo registrar el peso de la muestra extraída en una balanza digital, con sensibilidad de 0,1 [gr]. Una vez terminado el proceso de masado de las muestras, estas fueron puestas nuevamente en las respectivas bandejas para continuar con el proceso.

Este proceso se repitió desde las 11.00 hrs. hasta la puesta de sol, que en el mes de Abril, ocurría alrededor de las 18.30 hrs. Pasada esa hora, las muestras fueron separadas y guardadas en *placas petriq* con su respectiva tapa y puestas en un desecador, el cual actúa como trampa de humedad al contener sílica gel en su interior (ambiente libre de humedad). De igual manera se hizo con el resto del producto, el cual fue separado por bandeja y puestos en ambiente libre de humedad, para seguir con el proceso de deshidratado al día siguiente.

Paralelo al trabajo de deshidratado que se estaba efectuando, se debió mover cada cierto tiempo el deshidratador conforme el sol se trasladaba durante su curso natural de día, para así poder captar de mejor manera los rayos del sol. A la vez, cada 15 minutos se abrió la escotilla de ventilación del deshidratador dejando salir el aire caliente húmedo acumulado en la cámara de secado y terminado el proceso de masado de muestras, se volvía a cerrar la escotilla.

Posterior a la toma de datos de la prueba de secado descrita anteriormente, se procedió a secar completamente las muestras extraídas mediante una estufa. De esta forma se obtuvo la masa de la manzana completamente seca utilizada en kilogramos de sólido seco [Kg ss], denotado para efectos de cálculo como *Ls* (véase Tablas 11 a la 16).

A partir de los procedimientos anteriormente mencionados, se muestran los datos obtenidos de la toma de muestras (véase Tablas 5 a la 10).

3.2.2.2 Técnicas de análisis de datos.

Consistió en efectuar las pruebas de análisis de varianza para determinar si el proceso de deshidratado de la fruta en las bandejas ocurre de manera homogénea en toda la extensión

de ésta y también, a través de los dos niveles de bandeja existentes al interior de la cámara para evaluar si la presencia de una bandeja en un nivel inferior, afecta a la bandeja que esta inmediatamente después. Para efectos de determinar la existencia de estas posibles diferencias, se tomaron los datos anteriormente recolectados en las pruebas de secado. Los datos correspondieron a los capturados al momento de sacar la muestra para registrar su masa conforme transcurría el tiempo de secado, denotados con la letra m (véase Tablas 5 a la10). Luego se procedió a calcular la diferencia entre una masa inicial y la siguiente para así formar una nueva tabla de datos con las diferencias en pérdidas de masa para un intervalo definido de tiempo (véase Tabla 18).

La hipótesis inicial (H_0) centra sus bases en el hecho de que: *la pérdida de humedad en ambas bandejas debe ser homogénea conforme avanza el tiempo de secado, y por ende, la posición de una sobre la otra no afecta el proceso de secado de toda la población*. En parte, esta hipótesis se desprende de la interpretación de la tendencia reflejada por todas las muestras, visto también en los gráficos 5 al 7 y 9 al 11 del anexo de gráficos. Esta línea de tendencia, deja entrever que todas las muestras se encuentran en la etapa de pérdida de humedad constante, por lo que solo cabe confirmar que además, dicha pérdida sea homogénea para la población. Para probar lo anteriormente dicho, se realizan pruebas de hipótesis con un nivel de significancia (α) de un 5% y posteriormente con un nivel de significancia del 1%, interpretándose este último nivel, como una prueba de mayor rigurosidad para comprobar la hipótesis nula.

El proceso de cálculo se basó en la tabla modelo descrita en la Tabla 3. Para la comprobación final de la hipótesis, se recurrió a consultar los datos para valores cuantiles de la función de Fisher, donde dichos valores están ordenados por grados de libertad de numerador y denominador, para diferentes niveles de significancia. Para efectos de cálculo, se procedió a interpolar los valores referidos a los grados de libertad del denominador (véase Tablas 27 y 28), puesto que no aparecían explícitamente. Todos los resultados asociados al análisis estadístico se detallan en la Tabla 26.

3.2.2.3 Metodología de análisis financiero.

Este análisis consistió primeramente en establecer un programa de Inversión para la construcción. Se estimó que el valor de salvamento del equipo, terminada su vida útil sería del

50% del costo de fabricación original como precio de reventa del prototipo. Dicho periodo de vida útil es solo una estimación de parte del investigador, dado que se puede presentar un nuevo proyecto de mejora o sustitución posterior a ese periodo de uso por parte de la casa de estudios. Junto a lo anterior, se dispuso a ordenar la información referente a los costos de fabricación del prototipo en una tabla. No se contemplaron la adquisición de un terreno de funcionamiento, dado que el equipo operaría en las dependencias de la Universidad. Los detalles de este programa se detallan en la Tabla 22.

Por otra parte, el estudio hecho por el investigador a cargo de la materialización del proyecto, quien decidió poner a prueba el prototipo de deshidratado con manzanas de la variedad Fuji, determinó que dicho producto deshidratado tiene un valor comercial a nivel artesanal de \$4.000 pesos chilenos por kilogramo de producto terminado, de acuerdo a una cotización de precios de mercado del mismo tipo de producto (OLX: Anuncios gratis Online. 4 abril de 2012). Este valor puede ir incrementando a medida que pueda determinarse otro valor de mercado o bien, se hagan mejoras en el prototipo. Por otra parte, se determinó que dada la capacidad de funcionamiento del prototipo, el cual solo tiene capacidad de 4 kilogramos de manzana recién pelada y el proceso de secado demora alrededor de 3 días, por lo que una persona encargada de operar el prototipo tendría que pelar aproximadamente 28 kilogramos de manzana durante el mes. Sumado a lo anterior, el gasto de agua asociado al lavado, pelado y limpieza de los frutos, se asumiría por una cantidad de un m^3 de agua potable por kilogramo de manzana, a un valor comercial por m^3 de agua, según proveedor Essbio (véase Tabla 21).

También se determinó que el capital de trabajo será de 1,1 veces el costo de operación mensual, asumiendo un 10% más a los costos por cualquier imprevisto. Los costos de administración fueron desestimados para estos efectos, dado que el proyecto se contempla dentro un plan piloto de funcionamiento y los costos fijos para operar el deshidratador se reducen a la compra de bolsas plásticas para el envasado del producto final en \$ 2000, cuyo contenido son de 100 bolsas; y manzanas frescas, cuyo valor unitario por kilogramo es \$350. Para los demás efectos de cálculo, se despreciaron los valores de costo de oportunidad. Se debe tener en consideración que al deshidratar fruta, ésta perderá aproximadamente un 80% de su peso, por lo que el rendimiento Batch ha de ser calculado con el peso final de producto deshidratado y los meses de funcionamiento óptimo del deshidratador, se darán en los meses

de primavera y verano para aprovechar las temperaturas cálidas de esos meses. Los costos financieros asociados al calendario de inversiones y al capital de trabajo se analizan en las Tabla 23 y 24.

En cuanto a las inversiones para construir el prototipo, dado que estas se hicieron antes de la puesta en marcha del proyecto, pero no se incurrió en endeudamiento o solicitud de préstamos, no están afectos a intereses.

El cálculo de las depreciaciones, para el caso del terreno donde opera el prototipo, no se desvaloriza ni se toma en cuenta un posible desarrollo de plusvalía del mismo, por esto genera cambios de pérdidas o ganancias. Se hicieron los cálculos de la depreciación del equipo y posteriormente, para determinar el capital de trabajo, se estimaron el costo operacional total para el primer periodo y los subsecuentes 4 restantes. Dichos cálculos están detallados en la Tabla 14 del anexo de tablas.

Por último, se analizaron todos los antecedentes a través de un flujo de caja (véase Tabla 25), procediéndose a calcular los indicadores VAN y TIR. Para calcular el valor actual neto (VAN), se procedió bajo una tasa del 10%, pensando en que lo que se deja de percibir en los meses de inactividad del prototipo y a la vez, considerando en doblar el costo de oportunidad por el hecho de tener el valor de inversión inicial en una cuenta de depósito a plazo en un banco durante un año, cuyo valor aumenta en aproximadamente un 4% anual.

3.2.2.4 Metodología para determinar la huella de carbono.

Para determinar la huella de carbono, el procedimiento consistió en crear un inventario, dividido en tópicos principales, llamados fases, tal como se muestra en la Figura 17, donde se contemplan desde la creación del prototipo, hasta el funcionamiento como tal, donde este último punto, contempla incluso lo referido al procesado de manzana, desde el huerto hasta su procesado y posterior deshidratado. De esta forma, de acuerdo al protocolo PAS-2050, se contempla todo el ciclo de vida del producto, para posteriormente, mediante la guía IPCC para transformar los equivalentes de CO₂, realizar el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero por concepto de funcionamiento del prototipo de deshidratador solar. Cabe recordar que dentro del proceso de deshidratado, no existe combustión alguna directa o indirecta, puesto el calor para evaporar el agua del material a deshidratar, proviene de los rayos del sol. Estos datos se encuentran en la tabla 8 del anexo de tablas de esta investigación.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIONES.

4.1 Resultados.

4.1.1 Curvas de cinética de Secado.

Tras la obtención de los datos de prueba experimentales hechos con los cilindros de manzana, se trazaron las curvas de secado de humedad libre (X) en función del tiempo y velocidad de secado en función de la humedad libre. Estas gráficas se obtuvieron a partir de los datos generados desde las tablas 5 a la 10. Los contenidos de humedad de equilibrio para cada muestra, X^* , masa de solido seco y área de secado del producto se muestran en las Tablas 11 a la 16.

Además, se procedió a estimar los tiempos de secado teóricos para las muestras de manzana. Estos resultados se obtuvieron a partir de las tablas de datos de cada una de las muestras en observación descritas anteriormente. Los resultados se pueden observar en las Tabla 18.

4.1.2 Resultados del análisis estadístico para las muestras.

Se efectuó el test de Fisher aplicando un análisis de varianza con el objeto de comprobar la hipótesis nula de que las muestras representativas para las dos bandejas que eran sometidas a un secado de flujo transversal, perdían humedad de manera homogénea conforme se sometían al tratamiento de secado. Para esto, se procedió a calcular el estadístico respectivo para evaluarlos con los dos niveles de significancia de α de 1% y 5% bajo un error tipo I. Los límites de aceptación críticos para los niveles de significancia de 1% y 5%, resultaron ser de 3,148 y 2,279 respectivamente. Mientras tanto, el estadístico calculado resultó ser igual a 0,00308. El valor del estadístico se sitúa en la zona de aprobación de la hipótesis nula, para ambos valores de α . Las gráficas para el test de Fisher se encuentran representadas en las figuras 25 y 26.

4.1.3 Resultados del análisis Financiero del proyecto.

El análisis financiero, consistió en determinar el flujo de caja asociado al funcionamiento proyectado para el prototipo de deshidratador solar, con el objeto de tener los

flujos netos para los diferentes periodos y obtener así los indicadores de VAN y TIR. El valor para el indicador del Valor Actual Neto (VAN) para un retorno exigido del 10%, dado los antecedentes entregados en la sección 3.2.4, resultó ser de 15.502. Así mismo, el indicador de Tasa Interna de Retorno resultó ser de 0,134 (13,4%).

4.1.4 Resultados para el cálculo de la Huella de Carbono.

Las emisiones de GEI asociadas prototipo de deshidratador solar, cuyo análisis se basó en el protocolo PAS-2050 para ciclo de vida asociado a los productos arrojó resultados para 3 tipos de emisiones: Dióxido de Carbono (CO_2), Óxido de Nitrógeno (N_2O) y Metano (CH_4). Las emisiones de dióxido de carbono se calcularon en 61.11 [Kg de CO_2 eq.]. Las emisiones de óxido de nitrógeno fueron de 0,5 [g] y las emisiones de metano se calcularon en 0,326 [g]. El detalle de los cálculos se encuentra disponible en las Tablas desde la 29 a la 31.

4.2 Discusiones.

4.2.1 De la cinética de secado.

Las curvas que relacionan humedad libre versus tiempo (véase Figuras 9 y 13), para las muestras en ambas bandejas, presentan la forma característica para la curva de su tipo. En la mayor parte de esta gráfica se puede observar una tendencia hacia una línea recta, salvo en el último trozo de la curva que parte aproximadamente desde la hora cinco de operación, donde se puede observar una pequeña inflexión. El primer segmento descrito, de tendencia recta, representa el período de velocidad constante de secado. Este comportamiento es visible para todas las muestras en ambas bandejas. Posteriormente, a partir de la hora cinco de funcionamiento, se observa, igualmente en ambas gráficas, un punto de inflexión, cuya interpretación es que en ese punto, la velocidad de secado comienza a disminuir, entrando a la etapa de secado decreciente y de igual manera, pareciera mostrar una tendencia lineal.

Las curvas que relacionan la humedad libre versus la velocidad de secado para las muestras, figuras desde la 10-12 y desde la 14-16, muestran las dos etapas características de un proceso de secado. Partiendo desde el tiempo cero, el contenido de humedad inicial se observa, para todas las muestras, desde la derecha de eje de la abscisa y a medida que el proceso de secado avanza, se traslada hacia la izquierda del eje. Se aprecia claramente en las gráficas que el proceso de secado pasó por la etapa de secado constante, donde se muestra una

tendencia en línea recta a través de los puntos, llegando hasta el punto crítico de humedad donde pasa a la etapa decreciente, donde se muestra una tendencia hacia el origen. Tal como se estableció anteriormente, la etapa decreciente muestra una tendencia lineal para todas las muestras en estudio. En esta etapa de velocidad decreciente, podemos decir que la superficie de las manzanas ya no están totalmente mojadas, por lo que la porción mojada comienza a disminuir, sin embargo, no es interpretable a simple vista de las gráficas, si las manzanas logran estar secas en su totalidad, pues no es observable un segundo periodo de esta región que pueda llevar a la idea de que la superficie de las manzanas están secas en su totalidad.

Por lo anteriormente expuesto, puede ser posible, sólo para efectos de esta experiencia, que la cantidad de humedad que se requiera eliminar aún para esta región de secado decreciente sea bastante pequeña, sin embargo, el tiempo requerido para hacerlo puede ser largo. Es por lo anterior que se hizo necesario realizar un cálculo del tiempo teórico de secado, cuyo resultado arrojó que dicho tiempo de operación, en promedio, debe bordear las 9,2 horas bajo las condiciones experimentales en que se operó. Bajo este tiempo de operación, se puede determinar si las muestras logran estar secas en su totalidad o bien pueden conseguir un nivel de secado significativo (Geankoplis, 2006).

4.2.2 Análisis estadístico para las muestras.

Bajo los resultados obtenidos, es completamente aceptable decir que la pérdida de humedad al interior de la cámara de secado se lleva a cabo de manera homogénea para para ambas bandejas, sin importar la posición de donde se distribuya el material alrededor de la bandeja, la pérdida de humedad promedio para la población total será la misma. Además, se puede decir que el hecho de que una bandeja se encuentre inmediatamente después, un nivel más arriba que la otra, no dará pie a que esta última pierda humedad de manera menos homogénea. En otras palabras, que el flujo sea transversal a través de la cámara de secado no debe ser obstáculo para la cantidad de bandejas superpuestas que se pretende establecer para operar el prototipo. Lo dicho anteriormente se respalda, dada la prueba estadística, con un 99% de certeza.

4.2.3 Análisis Financiero del proyecto.

Con un valor actual neto (VAN) igual a 15.502, para un retorno exigido del 10%, se puede decir que el proyecto es rentable y por lo tanto, es completamente aceptable de poner en funcionamiento dada las condiciones establecidas. Por su parte, el valor del TIR refleja que la tasa interna de retorno para ejecutar el proyecto puede ser de 13,4%, lo que reafirma la decisión de apoyar el proyecto como tal. Cabe mencionar que los resultados obtenidos, están sujetas a las condiciones establecidas en el capítulo 3, y por lo tanto, si el costo de oportunidad llegara a ser otro, o bien, cambiara por una condición especial, se debe recalcular el costo financiero, dado dicho cambio. Por ende, también cambiaría el valor del VAN y TIR.

4.2.4 Huella de carbono del proyecto.

Los índices más altos calculados fueron los registrados por concepto de construcción del prototipo. Esto se debe a que asociado con la construcción, está el uso de energías convencionales (luz eléctrica) y los materiales usados, los cuales tienen un elevado nivel de emisión de CO₂ equivalente. Este hecho es posible, debido a las emisiones industriales liberadas para producir un material, como por ejemplo, los perfiles de aluminio. Sin embargo, por concepto de funcionamiento, se determinó que no existe liberación de CO₂ eq., por lo tanto, podemos decir que la actividad de deshidratar productos frutícolas con energía solar, no aportará niveles de CO₂ que contribuyan a la emisión de GEI y dado este hecho, se puede afirmar que es una actividad limpia y amigable con el medio ambiente. A modo de referencia, notar que un automóvil a gasolina libera 3,088 [Kg] de CO₂ por cada 10 km de recorrido, aparte de los otros gases generados.

Cabe mencionar además, que no podemos extrapolar al 100% lo comentado anteriormente para una actividad de deshidratado que involucre hortalizas o vegetales, dado que el uso de suelo, sumado a la actividad realizada para obtener estos productos (uso de fertilizantes, faenas de arado, etc.) tiene un índice diferente de emisión de CO₂ equivalente.

También, es importante mencionar que algunos estudiosos consideran que el vapor de agua, debe ser considerado como un GEI, dado que este contribuye a aumentar el calor por el hecho de actuar como *lupa* al ser expuesto con los rayos del sol, sin embargo, no existe concordancia al respecto entre los más entendidos.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y COMENTARIOS.

5.1 Conclusiones.

- La materialización del secador y su posterior puesta en marcha experimental fue hecha satisfactoriamente realizando un análisis técnico y económico. Para estos efectos, se incluyeron diversos análisis bibliográficos de expertos en la materia para reafirmar dichos resultados.
- Los atributos de velocidad y capacidad de secado del prototipo de deshidratador solar obtenidos mediante las curvas de secado características, para una prueba experimental con manzanas (*Malus doméstica*, var. *Fuji*), resultaron ser medianamente satisfactorios, dado que si bien se pudo obtener las curvas de secado características, por otra parte no se pudo tener la certeza de que el tiempo de secado empleado haya conseguido lograr que las muestras se secaran en su totalidad, por lo que se debió recurrir a herramientas empíricas para estimar teóricamente, bajo las condiciones operantes, el tiempo necesario de secado requerido. Esta condicionante se debió a factores climáticos que hicieron interrumpir el proceso, sin embargo, los resultados obtenidos hasta este punto, fueron igualmente decisivos en cuanto a la morfología de las curvas y el problema anterior no implica que el prototipo de deshidratador solar no sea capaz de cumplir su función principal cabalmente.
- Los indicadores económicos del VAN y TIR, resultaron ser apropiados para implementar el prototipo de deshidratador solar, dejando entrever que se trata de un proyecto viable y rentable en el corto plazo (un año), recuperándose lo invertido en este periodo y obteniendo utilidades en los próximos periodos de funcionamiento.
- Los resultados estadísticos demuestran que las experiencias realizadas en el prototipo pueden ser muy confiables en cuanto a la homogeneidad y capacidad de secado, demostrando además que la forma en que están dispuestas las materias primas no interfieren unas con otras y por tanto, el proceso de secado se efectúa con normalidad en los niveles y para la capacidad predeterminadas en el equipo, para un producto en particular.
- La huella de carbono, que dice relación con el impacto medioambiental del proyecto, presenta una cifra no menos importante en cuanto a la contribución con gases de efecto

invernadero (GEI). Sin embargo, este significativo aporte inicial (por implementación), puede considerarse constante e invariable en el largo plazo, pues por concepto de operación del prototipo, el proyecto presenta emisiones de GEI que pueden ser consideradas despreciables, lo que le confiere un bajo nivel de aporte contaminante si lo comparamos, por ejemplo, con el uso de un automóvil durante un año, o a nivel más industrial, con las emisiones de CO₂ de una caldera a leña durante el mismo periodo. Por tanto, la huella de carbono asociada al proyecto puede considerarse por terminada cuando finaliza la construcción del prototipo, de acuerdo al protocolo PAS-2050 y de no ser así, se estima que las variaciones en las emisiones de CO₂ equivalente sean ínfimas y sujetas al tipo de materia prima con que se esté operando o bien, sea sujeta a las modificaciones que se le pueda realizar al equipo. Cabe mencionar también, que la acreditación como un producto con un bajo aporte de GEI, queda sujeta a las entidades correspondientes identificadas en el capítulo 2 de esta investigación.

- Por todo lo anterior, el proyecto de deshidratador solar puede considerarse, además de un proyecto que genere una rentabilidad monetaria, una herramienta más para el alumnado y docencia en cuanto a la realización de estudios de secado, pertinente al área agroindustrial de la Universidad Adventista de Chile.

5.2 Comentarios.

El desarrollo en el cual se enmarcó el presente proyecto de investigación se estableció como *prototipo*, y como tal, siempre estará sujeto a las mejoras que surgen de nuevas investigaciones, tanto en tecnología como funcionamiento.

La idea inicial de los gestores de este proyecto, la Facultad de Ingeniería y Negocios de la Universidad Adventista de Chile, fue el de incluir la tecnología electrónica con el objeto de automatizar las funciones que presenta hoy el diseño y que para fines de esta investigación, debieron hacerse de manera manual. En este sentido, dichas mejoras al prototipo le confieren un valor agregado al proyecto ya que simplifica el uso y lo potencia competitivamente frente a los sistemas convencionales conocidos. El paso que se da al materializar esta idea de construir un deshidratador solar, y comprobar su viabilidad como proyecto, viene a reafirmar la visión inicial de este trabajo.

Por otra parte, dichas mejoras no debieran intervenir en lo medular del proyecto, que se refleja en el uso de energías limpias para su funcionamiento. La idea en sí, no es innovadora, sino más bien asume un compromiso para un desarrollo sustentable y amigable con la naturaleza.

Desde el punto de vista académico, se espera que el proyecto sea bien acogido por los alumnos y la comunidad docente del área agroindustrial, ya que como se comprobó, el prototipo resulta fácil de utilizar y no debería presentar objeciones al momento de realizar experiencias de secado. Es importante destacar que el deshidratador solar, viene a reforzar y diversificar las alternativas tecnológicas académicas existentes.

En lo que respecta al compromiso medioambiental del proyecto, sería de gran interés el hecho de poder materializar la acreditación del prototipo como un proyecto amigable con el medio ambiente pues, si bien es cierto, se lograron determinar los aportes de emisiones de CO₂, este hecho no le confiere una acreditación oficial. Entre la actividades necesarias para lograr dicha acreditación, que escapan a esta investigación, están las: declaraciones de conformidad, las cuales deben ser verificadas por una contraparte independiente; acciones de mitigación, como desarrollos de estrategias y proyectos de reducción de emisiones de GEI y aumento de la eficiencia de los procesos productivos; Compensaciones y Comunicación. Este último punto contempla la promoción y difusión, para quienes se pueden afectar o son afectados por las actividades que se realizan con el prototipo, sobre los beneficios obtenidos en las etapas de la estrategia de gestión de la huella de carbono.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.

- Agencia de Energía de Valencia. (Abril de 2012). Guía Práctica de Energía Renovable. Energía Solar Térmica. (A. J. V., Ed.) *Revista VIRTUALPRO. Procesos Industriales*(123), 5.
- British Standards Intitution Group Iberia, S.A.U. (22 de Noviembre de 2010). *Auditoría y Certificación: Gestion de Gases de Efecto Invernadero*. Recuperado el 18 de Abril de 2012, de Sitio Web de British Standards Intitution.: <http://www.bsigroup.es/es/certificacion-y-auditoria/Sistemas-de-gestion/Biblioteca-de-BSI/Documentacion-corporativa/LD-corporative-docs-Source/PAS-2050---Verificacion-de-la-Huella-de-Carbono/>
- Canavos, G. C. (1988). *Probabilidad y Estadística. Aplicaciones y Métodos*. (E. G. Urbina Medal, & D. d. Electrica, Trans.) Naucalpan de Juárez., Mexico: McGraw-Hill/Interamericana de Mexico.
- Centro Uruguayo de Tecnologías Apropriadas. (2007). *Biblioteca: Tecnologías Apropriadas*. (G. Honty, Ed.) Obtenido de Sitio Web de CEUTA.: <http://www.tecnologiasapropiadas.com/biblioteca/CeutaEnergiaSolarParte3.pdf>
- CMR. (s.f.). *Contrucción: Sodimac*. Obtenido de Sitio Web de Homecenter Sodimac: <http://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/160717/3-mm-1.52x2.44m,-Placa-MDF---?passedNavAction=push>
- Davies Waldron, C., Harnisch, J., Lucon, O., Scott McKibbin, R., Saile, S., Wagner, F., y otros. (2006). *Combustión Móvil* (Vol. II). (I. L. Malta, Trad.) Kanagawa, Japon.
- Earle, R. L. (1988). *Ingeniería de los Alimentos. (Las operaciones básicas del procesamiento de los alimentos)* (Segunda ed.). ZARAGOZA, ESPAÑA: ACRIBIA S.A.
- Ferree Warrington, I. J. (s.f.). *Apples: Botany, Production and Uses*. CABI Publishing.
- Freund, J. E., & Manning Smith, R. (1995). *Estadística* (Cuarta ed.). (H. Acevedo Espinosa, Ed., & J. C. Hernández García, Trad.) Naucalpan de Juárez, Mexico: Prentice Hall Hispanoamericana, S.A.
- Garrido Martos, L. (2006). *Métodos de Análisis de Inversiones - VAN y TIR*. Recuperado el 8 de Mayo de 2012, de Zona Económica: <http://www.zonaeconomica.com/inversion/metodos>
- Garriz I., P., & Bilder, E. A. (2002). La produccion de manzanas en Argentina. (A. latino, Ed.) *Fruticultura profesional*(128), 24-28.
- Geankoplis, C. J. (2006). *Procesos de Transporte y principios de procesos de separación*. (Cuarta ed.). México: Continental.

- Grupo Intercom. (4 de Febrero de 2011). *Productos: Pagina Web de Directodelcampo.com*. Recuperado el 18 de Mayo de 2012, de Pagina Web de Directodelcampo.com: <http://www.directodelcampo.com/manzana-deshidratada--pro--1ldg0bn34/>
- Hayes, G. D. (1992). Manual de Datos para Ingeniería de los Alimentos. En G. D. Hayes, *Manual de Datos para Ingeniería de los alimentos*. (J. Burgos González, Trad., pág. 72). Zaragoza, España: Acribia S.A.
- Hines, W. W., Montgomery, D. C., Goldsman, D. M., & Borror, C. M. (2005). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería* (Cuarta ed.). (G. Nagore, Trad.) Mexico: Compañía Editorial Continental.
- Incropera, F., & De Witt, D. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (Cuarta ed.). México: Prentice Hall.
- Inostroza, S. S. (Julio de 2011). Gestión de la Huella de Carbono. Santiago, Metropolitana, Chile.
- Inzunza, J. (5 de Enero de 2004). *Meteorología Descriptiva*. (J. Insunza, Ed.) Recuperado el 30 de Abril de 2012, de Sitio Web de la Universidad de Concepción: <http://www2.udec.cl/~jinzunza/meteo/cap2.pdf>
- Laboratorio Ferrer. (s.f.). *Fichas Técnicas: Actividad de Agua*. Recuperado el 30 de Abril de 2012, de Sitio Web de Laboratorio Ferrer.: <http://avdiaz.files.wordpress.com/2008/09/actividad-del-agua.pdf>
- Labuza, T. (2000). *Essential of functional foods*. Estados Unidos.: Aspen Publishers, Inc.
- Marks, J., Agyemang-Bonsu, W. K., Firmento Born, M., Green, L., Kvande, H., Martchek, K., y otros. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Vol. III). Tokyo, Japón: Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Olavarría A., Jaime A.; Jara G., Carlos; Troncoso C., Javier L. (2003). Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión Agropecuaria. *Topico VI*, VI. (P. d. Chile., Ed.) Talca, Maule, Chile.: Programa de Gestión Agropecuaria Fundación Chile.
- OLX. (2006). *Compra-Venta Chile: Deshidratados*. Recuperado el 18 de Mayo de 2012, de Sitio Web de OLX, Servidor de búsqueda: <http://www.olx.cl/q/deshidratada/c-210>
- Pamplona Roger, J. (2005). El poder medicinal de los alimentos. En J. Pamplona Roger, *El poder medicinal de los alimentos* (págs. 216-217). Buenos Aires: Casa Editora Sudamericana.
- Pipatti, R., & Svardal, P. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de Efecto Invernadero* (Vol. V). (I. T. Malta, Trad.) Kanagawa, Japón: IGES.
- Real Academia Española. (2010). *Definición de Pero. Diccionario de la Lengua española.*, 1.0. Recuperado el 13 de Marzo de 2012, de Sitio Web de la Real Academia Española:

http://buscon.rae.es/draeI/SrvltGUIBusUsual?TIPO_HTML=2&TIPO_BUS=3&LEMA=pero

- Red de Energía Solar y medio ambiente. (2011). REMAR. *Almacenamiento y nuevos materiales en las energías renovables*.(8), 10.
- Saavedra, J. A., Gonzalez, G. A., & Camousseigt, I. B. (s.f.). *Automatizacion de un secador convectivo de aire caliente para fines de docencia en Ingeniería en Alimentos*. Valparaíso: PUCV - UTEM.
- Sapag Puelma, J. M. (2000). *Evaluación de Proyectos* (Segunda ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- Scott, W. (1953). Water relations of *Staphylococcus aureus* at 30 °C. *Australian Journal of Biological Science*, XXIV(1).
- Treybal, R. E. (1980). *Operaciones de Transferencia de Masa* (Segunda ed.). Mexico: McGRAW-HILL.
- Treybal, R. E. (1981). *Mass-Transfer Operations* (Tercera ed.). Singapur: McGRAW-HILL.
- Vasistha D. Bhatt, K. G., & Arunabh, M. (Jul-Sept. de 2010). Thermal Energy storage Capacity of some phase Changing Materials and ionic liquids. *International Journal of ChemTech Research*., 2(3).
- Walpole, R. E., Myers, R. H., & Myers, S. L. (1999). *Probabilidad y Estadística para Ingenieros*. (Sexta ed.). México: PRENTICE - HALL, HISPANOAMERICANA S.A.

ANEXOS

ANEXO 1:

TABLAS

Tabla 4.

Lista de Materiales empleados en la construcción del prototipo de deshidratador solar.

Materiales	Espesor [mm]	Largo [m]	Ancho [m]	Cantidad
Perfil Angular 90° <i>alas iguales</i> de Aluminio	1	6	0,15-0,15	9
Pletina de Aluminio	2.5	6	0.19	6
Plancha MDF Estructural para interiores	3	2.44	1.22	1,5
Lamina de Foto Aluminio (Reciclada)	0.5	0.9	0.7	25
Remaches Ciego tipo pop.	-	-	-	700
Silicona Sellante Color Gris. Alta resistencia	-	-	-	1
Malla mosquetera para interior.	-	-	-	1
Vidrio Simple	3			1
Cierres de Aluminio. <i>Cierres de caracol</i>	-	-	-	4
Bisagras de Acero Inoxidable	-	-	-	2
Pestillos de Bronce de 2"	-	-	-	2

Fuente: Elaboración propia del Investigador.

Tabla 5.

Recolección y análisis de los datos recogidos para una muestra de manzana situado en el posición 1 de la bandeja 4 (Véase Figura 24).

Temperatura [°C]	Tiempo t [h]	Masa m[kg]	X _t [kg a.t/kg s.s.]	X	ΔX [kg]	Δt [h]	ΔX/Δt [Kg/h]	R [Kg/hm ²]
31,2	0	0,015	19,00	16,27	1,59	0,25	6,358	0,8837
32	0,25	0,0139	17,41	14,68	0,66	0,25	2,649	0,3682
33,5	0,5	0,0134	16,75	14,02	0,53	0,25	2,119	0,2946
34,2	0,75	0,013	16,22	13,49	0,66	0,25	2,649	0,3682
33,8	1	0,0125	15,56	12,83	0,66	0,25	2,649	0,3682
34,1	1,25	0,012	14,89	12,16	0,53	0,25	2,119	0,2946
35,5	1,5	0,0116	14,36	11,63	0,79	0,25	3,179	0,4419
36	1,75	0,011	13,57	10,84	0,40	0,25	1,589	0,2209
35,4	2	0,0107	13,17	10,44	0,53	0,25	2,119	0,2946
35,3	2,25	0,0103	12,64	9,91	0,66	0,25	2,649	0,3682
34	2,5	0,0098	11,98	9,25	0,26	0,25	1,060	0,1473
33,4	2,75	0,0096	11,72	8,99	0,40	0,25	1,589	0,2209
32,6	3	0,0093	11,32	8,59	0,26	0,25	1,060	0,1473
31	3,25	0,0091	11,05	8,32	1,19	0,25	4,768	0,6628
34,2	3,5	0,0082	9,86	7,13	0,53	0,25	2,119	0,2946
34,7	3,75	0,0078	9,33	6,60	0,40	0,25	1,589	0,2209
36,2	4	0,0075	8,93	6,20	0,53	0,25	2,119	0,2946
37,6	4,25	0,0071	8,40	5,67	0,40	0,25	1,589	0,2209
38,1	4,5	0,0068	8,01	5,28	0,66	0,25	2,649	0,3682
38,8	4,75	0,0063	7,34	4,61	1,19	0,25	4,768	0,6628
38,1	5	0,0054	6,15	3,42	0,79	0,25	3,179	0,4419
37,4	5,25	0,0048	5,36	2,63	0,40	0,25	1,589	0,2209
37	5,5	0,0045	4,96	2,23	0,53	0,25	2,119	0,2946
37,1	5,75	0,0041	4,43	1,70	0,66	0,25	2,649	0,3682
36,8	6	0,0036	3,77	1,04	0,40	0,25	1,589	0,2209
36,4	6,25	0,0033	3,37	0,64	0,40	0,25	1,589	0,2209
36	6,5	0,003	2,97	0,24	0,24	0,25	0,974	0,1354
32	6,75	0,0028	2,71					

Fuente: Elaboración propia del Investigador.

Tabla 6.

Recolección y análisis de los datos recogidos para una muestra de manzana situado en la posición 2 de la bandeja 4 (véase Figura 24).

Temperatura [°C]	Tiempo t [h]	Masa m [kg]	X_t [kg a.t/kg s.s.]	X	ΔX [kg]	Δt [h]	$\Delta X/\Delta t$ [kg/h]	R [kg/hm ²]
31,2	0	0,0159	19,00	16,48	1,01	0,25	4,0252	1,0063
32	0,25	0,0151	17,99	15,47	0,63	0,25	2,5157	0,6289
33,5	0,5	0,0146	17,36	14,84	0,50	0,25	2,0126	0,5031
34,2	0,75	0,0142	16,86	14,34	0,63	0,25	2,5157	0,6289
33,8	1	0,0137	16,23	13,71	0,75	0,25	3,0189	0,7547
34,1	1,25	0,0131	15,48	12,96	0,50	0,25	2,0126	0,5031
35,5	1,5	0,0127	14,97	12,45	0,88	0,25	3,5220	0,8805
36	1,75	0,012	14,09	11,57	0,50	0,25	2,0126	0,5031
35,4	2	0,0116	13,59	11,07	0,63	0,25	2,5157	0,6289
35,3	2,25	0,0111	12,96	10,44	0,75	0,25	3,0189	0,7547
34	2,5	0,0105	12,21	9,69	0,25	0,25	1,0063	0,2516
33,4	2,75	0,0103	11,96	9,44	0,38	0,25	1,5094	0,3774
32,6	3	0,01	11,58	9,06	0,25	0,25	1,0063	0,2516
31	3,25	0,0098	11,33	8,81	1,76	0,25	7,0440	1,7610
34,2	3,5	0,0084	9,57	7,05	0,63	0,25	2,5157	0,6289
34,7	3,75	0,0079	8,94	6,42	0,50	0,25	2,0126	0,5031
36,2	4	0,0075	8,43	5,91	0,50	0,25	2,0126	0,5031
37,6	4,25	0,0071	7,93	5,41	0,38	0,25	1,5094	0,3774
38,1	4,5	0,0068	7,55	5,03	0,50	0,25	2,0126	0,5031
38,8	4,75	0,0064	7,05	4,53	1,26	0,25	5,0314	1,2579
38,1	5	0,0054	5,79	3,27	0,75	0,25	3,0189	0,7547
37,4	5,25	0,0048	5,04	2,52	0,50	0,25	2,0126	0,5031
37	5,5	0,0044	4,53	2,01	0,38	0,25	1,5094	0,3774
37,1	5,75	0,0041	4,16	1,64	0,63	0,25	2,5157	0,6289
36,8	6	0,0036	3,53	1,01	0,50	0,25	2,0126	0,5031
36,4	6,25	0,0032	3,03	0,51	0,25	0,25	1,0063	0,2516
36	6,5	0,003	2,77	0,25	0,25	0,25	1,0143	0,2536
32	6,75	0,0028	2,52					

Fuente: Elaboración propia del Investigador.

Tabla 7.

Recolección y análisis de los datos recogidos para una muestra de manzana situado en la posición 3 de la bandeja 4 (véase Figura 24).

Temperatura [°C]	Tiempo t [h]	Masa m [kg]	Xt [kg a.t/kg s.s.]	X	ΔX [kg]	Δt [h]	$\Delta X/\Delta t$ [kg/h]	R [kg/hm ²]
31,2	0	0,0144	19,00	15,14	0,14	0,25	0,556	0,111
32	0,25	0,0143	18,86	15,00	0,83	0,25	3,333	0,667
33,5	0,5	0,0137	18,03	14,17	0,28	0,25	1,111	0,222
34,2	0,75	0,0135	17,75	13,89	0,83	0,25	3,333	0,667
33,8	1	0,0129	16,92	13,06	0,69	0,25	2,778	0,556
34,1	1,25	0,0124	16,22	12,36	0,56	0,25	2,222	0,444
35,5	1,5	0,012	15,67	11,81	0,83	0,25	3,333	0,667
36	1,75	0,0114	14,83	10,97	0,56	0,25	2,222	0,444
35,4	2	0,011	14,28	10,42	0,69	0,25	2,778	0,556
35,3	2,25	0,0105	13,58	9,72	0,97	0,25	3,889	0,778
34	2,5	0,0098	12,61	8,75	0,28	0,25	1,111	0,222
33,4	2,75	0,0096	12,33	8,47	0,56	0,25	2,222	0,444
32,6	3	0,0092	11,78	7,92	0,28	0,25	1,111	0,222
31	3,25	0,009	11,50	7,64	0,28	0,25	1,111	0,222
34,2	3,5	0,0088	11,22	7,36	0,69	0,25	2,778	0,556
34,7	3,75	0,0083	10,53	6,67	0,56	0,25	2,222	0,444
36,2	4	0,0079	9,97	6,11	0,56	0,25	2,222	0,444
37,6	4,25	0,0075	9,42	5,56	0,69	0,25	2,778	0,556
38,1	4,5	0,007	8,72	4,86	0,42	0,25	1,667	0,333
38,8	4,75	0,0067	8,31	4,45	0,69	0,25	2,778	0,556
38,1	5	0,0062	7,61	3,75	0,56	0,25	2,222	0,444
37,4	5,25	0,0058	7,06	3,20	0,69	0,25	2,778	0,556
37	5,5	0,0053	6,36	2,50	0,42	0,25	1,667	0,333
37,1	5,75	0,005	5,94	2,08	0,56	0,25	2,222	0,444
36,8	6	0,0046	5,39	1,53	0,42	0,25	1,667	0,333
36,4	6,25	0,0043	4,97	1,11	0,42	0,25	1,667	0,333
36	6,5	0,004	4,56	0,70	0,70	0,25	2,782	0,556
32	6,75	0,0035	3,86					

Fuente: Elaboración propia del Investigador.

Tabla 8.

Recolección y análisis de los datos recogidos para una muestra de manzana situado en posición 1 de la bandeja 5 (véase Figura 24).

Temperatura [°C]	Tiempo t [h]	Masa m[Kg]	Xt [kg a.t/Kg s.s.]	X	ΔX [kg]	Δt [h]	$\Delta X/\Delta t$ [kg/h]	R [kg/hm ²]
31,2	0	0,0151	19,00	16,03	0,53	0,25	2,119	0,3216954
32	0,25	0,0147	18,47	15,50	0,53	0,25	2,119	0,3216954
33,5	0,5	0,0143	17,94	14,97	0,53	0,25	2,119	0,3216954
34,2	0,75	0,0139	17,41	14,44	0,53	0,25	2,119	0,3216954
33,8	1	0,0135	16,88	13,91	0,66	0,25	2,649	0,4021192
34,1	1,25	0,013	16,22	13,25	0,53	0,25	2,119	0,3216954
35,5	1,5	0,0126	15,69	12,72	0,66	0,25	2,649	0,4021192
36	1,75	0,0121	15,03	12,06	0,40	0,25	1,589	0,2412715
35,4	2	0,0118	14,63	11,66	0,40	0,25	1,589	0,2412715
35,3	2,25	0,0115	14,23	11,26	0,66	0,25	2,649	0,4021192
34	2,5	0,011	13,57	10,60	0,13	0,25	0,530	0,0804238
33,4	2,75	0,0109	13,44	10,47	0,40	0,25	1,589	0,2412715
32,6	3	0,0106	13,04	10,07	0,40	0,25	1,589	0,2412715
31	3,25	0,0103	12,64	9,67	1,32	0,25	5,298	0,8042384
34,2	3,5	0,0093	11,32	8,35	0,53	0,25	2,119	0,3216954
34,7	3,75	0,0089	10,79	7,82	0,40	0,25	1,589	0,2412715
36,2	4	0,0086	10,39	7,42	0,53	0,25	2,119	0,3216954
37,6	4,25	0,0082	9,86	6,89	0,40	0,25	1,589	0,2412715
38,1	4,5	0,0079	9,46	6,49	0,40	0,25	1,589	0,2412715
38,8	4,75	0,0076	9,07	6,10	1,46	0,25	5,828	0,8846623
38,1	5	0,0065	7,61	4,64	0,79	0,25	3,179	0,482543
37,4	5,25	0,0059	6,81	3,84	1,06	0,25	4,238	0,6433907
37	5,5	0,0051	5,75	2,78	0,66	0,25	2,649	0,4021192
37,1	5,75	0,0046	5,09	2,12	0,79	0,25	3,179	0,482543
36,8	6	0,004	4,30	1,33	0,53	0,25	2,119	0,3216954
36,4	6,25	0,0036	3,77	0,80	0,26	0,25	1,060	0,1608477
36	6,5	0,0034	3,50	0,53	0,53	0,25	2,119	0,3216954
32	6,75	0,003	2,97					

Fuente: Elaboración propia del Investigador.

Tabla 9.

Recolección y análisis de los datos recogidos para una muestra de manzana situado en la posición 2 de la bandeja 5 (véase Figura 24).

Temperatura [°C]	Tiempo t[h]	Masa m [Kg]	Xt [kg a.t/kg s.s.]	X	ΔX [kg]	Δt [h]	$\Delta X/\Delta t$ [kg/h]	R [kg/hm ²]
31,2	0	0,0168	19,00	13,69	0,48	0,25	1,905	0,380
32	0,25	0,0164	18,52	13,21	0,48	0,25	1,905	0,380
33,5	0,5	0,016	18,05	12,74	0,24	0,25	0,952	0,190
34,2	0,75	0,0158	17,81	12,50	0,48	0,25	1,905	0,380
33,8	1	0,0154	17,33	12,02	0,48	0,25	1,905	0,380
34,1	1,25	0,015	16,86	11,55	0,36	0,25	1,429	0,285
35,5	1,5	0,0147	16,50	11,19	0,48	0,25	1,905	0,380
36	1,75	0,0143	16,02	10,71	0,36	0,25	1,429	0,285
35,4	2	0,014	15,67	10,36	0,48	0,25	1,905	0,380
35,3	2,25	0,0136	15,19	9,88	0,48	0,25	1,905	0,380
34	2,5	0,0132	14,71	9,40	0,24	0,25	0,952	0,190
33,4	2,75	0,013	14,48	9,17	0,24	0,25	0,952	0,190
32,6	3	0,0128	14,24	8,93	1,43	0,25	5,714	1,140
31	3,25	0,0116	12,81	7,50	0,95	0,25	3,810	0,760
34,2	3,5	0,0108	11,86	6,55	0,36	0,25	1,429	0,285
34,7	3,75	0,0105	11,50	6,19	0,36	0,25	1,429	0,285
36,2	4	0,0102	11,14	5,83	0,48	0,25	1,905	0,380
37,6	4,25	0,0098	10,67	5,36	0,36	0,25	1,429	0,285
38,1	4,5	0,0095	10,31	5,00	0,48	0,25	1,905	0,380
38,8	4,75	0,0091	9,83	4,52	1,07	0,25	4,286	0,855
38,1	5	0,0082	8,76	3,45	1,19	0,25	4,762	0,950
37,4	5,25	0,0072	7,57	2,26	0,60	0,25	2,381	0,475
37	5,5	0,0067	6,98	1,67	0,48	0,25	1,905	0,380
37,1	5,75	0,0063	6,50	1,19	0,36	0,25	1,429	0,285
36,8	6	0,006	6,14	0,83	0,36	0,25	1,429	0,285
36,4	6,25	0,0057	5,79	0,48	0,24	0,25	0,952	0,190
36	6,5	0,0055	5,55	0,24	0,24	0,25	0,950	0,190
32	6,75	0,0053	5,31					

Fuente: Elaboración propia del Investigador.

Tabla 10.

Recolección y análisis de los datos recogidos para una muestra de manzana situado en posición 3 de la bandeja 5 (véase Figura 24).

Temperatura [°C]	Tiempo t [h]	Masa m [Kg]	Xt [kg a.t/kg s.s.]	X	ΔX [kg]	Δt [h]	$\Delta X/\Delta t$ [kg/h]	R [kg/hm ²]
31,2	0	0,0178	19,00	12,81	0,67	0,25	2,697	0,570
32	0,25	0,0172	18,33	12,14	0,56	0,25	2,247	0,475
33,5	0,5	0,0167	17,76	11,57	0,45	0,25	1,798	0,380
34,2	0,75	0,0163	17,31	11,12	0,67	0,25	2,697	0,570
33,8	1	0,0157	16,64	10,45	0,56	0,25	2,247	0,475
34,1	1,25	0,0152	16,08	9,89	0,56	0,25	2,247	0,475
35,5	1,5	0,0147	15,52	9,33	0,79	0,25	3,146	0,665
36	1,75	0,014	14,73	8,54	0,45	0,25	1,798	0,380
35,4	2	0,0136	14,28	8,09	0,56	0,25	2,247	0,475
35,3	2,25	0,0131	13,72	7,53	0,67	0,25	2,697	0,570
34	2,5	0,0125	13,04	6,85	0,34	0,25	1,348	0,285
33,4	2,75	0,0122	12,71	6,52	0,34	0,25	1,348	0,285
32,6	3	0,0119	12,37	6,18	0,56	0,25	2,247	0,475
31	3,25	0,0114	11,81	5,62	0,00	0,25	0,000	0,000
34,2	3,5	0,0114	11,81	5,62	0,34	0,25	1,348	0,285
34,7	3,75	0,0111	11,47	5,28	0,45	0,25	1,798	0,380
36,2	4	0,0107	11,02	4,83	0,34	0,25	1,348	0,285
37,6	4,25	0,0104	10,69	4,50	0,45	0,25	1,798	0,380
38,1	4,5	0,01	10,24	4,05	0,45	0,25	1,798	0,380
38,8	4,75	0,0096	9,79	3,60	1,24	0,25	4,944	1,045
38,1	5	0,0085	8,55	2,36	0,67	0,25	2,697	0,570
37,4	5,25	0,0079	7,88	1,69	0,34	0,25	1,348	0,285
37	5,5	0,0076	7,54	1,35	0,45	0,25	1,798	0,380
37,1	5,75	0,0072	7,09	0,90	0,22	0,25	0,899	0,190
36,8	6	0,007	6,87	0,68	0,34	0,25	1,348	0,285
36,4	6,25	0,0067	6,53	0,34	0,22	0,25	0,899	0,190
36	6,5	0,0065	6,30	0,11	0,11	0,25	0,449	0,095
32	6,75	0,0064	6,19					

Fuente: Elaboración propia del Investigador.

Tabla 11.

Datos correspondientes a muestra extraída para efectos de cálculo para la elaboración de la tabla 5.

<i>Variable.</i>	<i>Valor</i>	<i>Dimensión</i>
<i>Ls</i>	0,00075	<i>Kg</i>
<i>A</i>	0,00540	<i>m²</i>
<i>Ls/A</i>	0,139	<i>Kg/m²</i>
<i>X*</i>	2,73	<i>Kg humedad eq./kg ss.</i>

Fuente: Elaboración propia del Investigador.

Tabla 12.

Datos correspondientes a muestra extraída para efectos de cálculo para la elaboración de la tabla 6.

<i>Variable.</i>	<i>Valor</i>	<i>Dimensión</i>
<i>Ls</i>	0,00080	<i>Kg</i>
<i>A</i>	0,00318	<i>m²</i>
<i>Ls/A</i>	0,250	<i>Kg/m²</i>
<i>X*</i>	2,52	<i>Kg humedad eq./kg ss.</i>

Fuente: Elaboración propia del Investigador.

Tabla 13.

Datos correspondientes a muestra extraída para efectos de cálculo para la elaboración de la tabla 7.

<i>Variable.</i>	<i>Valor</i>	<i>Dimensión</i>
<i>Ls</i>	0,00072	<i>Kg</i>
<i>A</i>	0,00360	<i>m²</i>
<i>Ls/A</i>	0,200	<i>Kg/m²</i>
<i>X*</i>	3,86	<i>Kg humedad eq./kg ss.</i>

Fuente: Elaboración propia del Investigador.

Tabla 14.

Datos correspondientes a muestra extraída para efectos de cálculo para la elaboración de la tabla 8.

<i>Variable.</i>	<i>Valor</i>	<i>Dimensión</i>
<i>Ls</i>	0,000755	<i>Kg</i>
<i>A</i>	0,00497	<i>m²</i>
<i>Ls/A</i>	0,152	<i>Kg/m²</i>
<i>X*</i>	2,97	<i>Kg humedad eq./kg ss.</i>

Fuente: Elaboración propia del investigador.

Tabla 15.

Datos correspondientes a muestra extraída para efectos de cálculo para la elaboración de la tabla 9.

<i>Variable.</i>	<i>Valor</i>	<i>Dimensión</i>
<i>Ls</i>	0,00084	<i>Kg</i>
<i>A</i>	0,00421	<i>m²</i>
<i>Ls/A</i>	0,1995	<i>Kg/m²</i>
<i>X*</i>	5,31	<i>Kg humedad eq./kg ss.</i>

Fuente: Elaboración propia del investigador.

Tabla 16.

Datos correspondientes a muestra extraída para efectos de cálculo para la elaboración de la tabla 10.

<i>Variable.</i>	<i>Valor</i>	<i>Dimensión</i>
<i>Ls</i>	0,00089	<i>Kg</i>
<i>A</i>	0,00421	<i>m²</i>
<i>Ls/A</i>	0,2114	<i>Kg/m²</i>
<i>X*</i>	6,19	<i>Kg humedad eq./kg ss.</i>

Fuente: Elaboración propia del investigador.

Tabla 17.

Datos de la diferencia de pérdida de masa (Δm) para las muestras de las bandejas 4 y 5 de acuerdo a su ubicación a lo largo de la bandeja.

Δm [Kg]					
M1 - B4	M1 - B5	M2 - B4	M2 - B5	M3 - B4	M3 - B5
0,0011	0,0004	0,0008	0,0004	0,0001	0,0006
0,0005	0,0004	0,0005	0,0004	0,0006	0,0005
0,0004	0,0004	0,0004	0,0002	0,0002	0,0004
0,0005	0,0004	0,0005	0,0004	0,0006	0,0006
0,0005	0,0005	0,0006	0,0004	0,0005	0,0005
0,0004	0,0004	0,0004	0,0003	0,0004	0,0005
0,0006	0,0005	0,0007	0,0004	0,0006	0,0007
0,0003	0,0003	0,0004	0,0003	0,0004	0,0004
0,0004	0,0003	0,0005	0,0004	0,0005	0,0005
0,0005	0,0005	0,0006	0,0004	0,0007	0,0006
0,0002	0,0001	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003
0,0003	0,0003	0,0003	0,0002	0,0004	0,0003
0,0002	0,0003	0,0002	0,0012	0,0002	0,0005
0,0009	0,001	0,0014	0,0008	0,0002	0
0,0004	0,0004	0,0005	0,0003	0,0005	0,0003
0,0003	0,0003	0,0004	0,0003	0,0004	0,0004
0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0003
0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0005	0,0004
0,0005	0,0003	0,0004	0,0004	0,0003	0,0004
0,0009	0,0011	0,001	0,0009	0,0005	0,0011
0,0006	0,0006	0,0006	0,001	0,0004	0,0006
0,0003	0,0008	0,0004	0,0005	0,0005	0,0003
0,0004	0,0005	0,0003	0,0004	0,0003	0,0004
0,0005	0,0006	0,0005	0,0003	0,0004	0,0002
0,0003	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003
0,0003	0,0002	0,0002	0,0002	0,0003	0,0002

0,0002	0,0004	0,0002	0,0002	0,0005	0,0001
0,0028	0,003	0,0028	0,0053	0,0035	0,0064

Fuente: Elaboración del Investigador.

Tabla 18.

Tiempos teóricos de secado para las muestras de manzanas.

	Muestra	Tiempo región constante [h]	Tiempo región decreciente [h]	Tiempo Total [h]
Bandeja 4	Exterior	5,49	1,25	6,74
	Centro	10,5	0,75	11,2
	Interior	5,88	1,02	6,9
Bandeja 5	Exterior	9,27	4,06	13,3
	Centro	6,31	1,7	8,01
	Interior	7,1	1,88	8,9
Tiempo promedio se secado total				9,2

Fuente: Elaboración propia del investigador.

Tabla 19.

Resumen de información obtenida a partir de la tabla 17.

	M1-B4	M1-B5	M2-B4	M2-B5	M3-B4	M3-B5
μ_i [kg]	0,000536	0,000539	0,000568	0,000600	0,000514	0,000636
n	28	28	28	28	28	28
T_i	0,015	0,0151	0,0159	0,0168	0,0144	0,0178
T_{Total}	0,095					

Fuente: Elaboración del investigador.

Tabla 20.

Gastos realizados en materiales para la construcción del prototipo de Deshidratador Solar.

Material	Valor.(Pesos chilenos)
Perfil Angular 90° <i>alas iguales</i> de Aluminio	22.000
Pletina de Aluminio	19.000
Plancha MDF Estructural para interiores	10.185
Lamina de Foto Aluminio (Reciclada)	15.000
Remaches Ciego tipo pop.	7.390
Silicona Sellante Color Gris. Alta resistencia	1.320
Malla mosquetera para interior.	9.140
Vidrio Simple	4.948
Cierres de Aluminio. <i>Cierres de caracol</i>	2.100
Bisagras de Acero Inoxidable	3.720
Pestillos de Bronce de 2"	700
TOTAL	95.503

Fuente. Elaboración del investigador en base a boletas por compras.

Tabla 21.

Costos Asociados a la producción de manzanas deshidratadas en el prototipo de deshidratador solar.

Ítem de Producción	Costo unitario por kilogramo producido. (pesos chilenos)
Energía	-
¹ Mano de Obra	1786.-
² Agua potable	13.-
³ Manzanas	11.-
Bolsa Envasado	20.-
TOTAL	1830.-

Fuente: Elaboración propia del investigador.

Tabla 22.

Programa de inversión para la construcción del Deshidratador.

Activo	Cantidad	Fecha de Adquisición	Valor de compra	Vida útil	Valor de Salvamento.
Terreno	-	-	-	-	-
Equipo de Deshidratado	1	6 meses antes	\$95.503	5 años	50%

Fuente: Elaboración del Investigador en base a solicitudes de FAIN, UNACH.

¹ Valor calculado en base a una comisión establecida de \$10.000 pesos chilenos por ser plan piloto.

² Valor incluye servicios de alcantarillado, cargo fijo y tratamientos de aguas servidas. Cobros hechos por ESSBIO.

³ Precio Según cotizaciones en el mercado central de Chillán.

Tabla 23.

Ingresos esperados para los periodos de funcionamiento del prototipo de deshidratador solar, cuyo producto de producción son manzanas.

Periodo	Producción	Venta	Total Periodo.
Oct. 2012 – Mar.2013 Temp. 1	40 Kg	40 * \$ 4500.-	\$ 180.000
Oct. 2013 – Mar.2014 Temp. 2	40 Kg	40 * \$ 4500.-	\$ 180.000
Oct. 2014 – Mar.2015 Temp. 3	40 Kg	40 * \$ 4500.-	\$ 180.000
Oct. 2015 – Mar.2016 Temp. 4	40 Kg	40 * \$ 4500.-	\$ 180.000
Oct. 2016 – Mar.2017 Temp.5	40 Kg	40 * \$ 4500.-	\$ 180.000

Fuente: Elaboración propia del Investigador.

Tabla 24.

Capitales requeridos para el funcionamiento del prototipo de deshidratador solar para las temporadas proyectadas.

Periodo	Demanda	Costo directo por producción x kg	Capital en operación	ventas	Inversión capital de trabajo.	Rentabilidad generada acumulada.
Temp. 0		-	-		(84.180)	-
Temp. 1	40	1830	84.180	180.000	0	95.820
Temp. 2	40	1830	84.180	180.000	0	107.460
Temp. 3	40	1830	84.180	180.000	0	119.100
Temp. 4	40	1830	84.180	180.000	0	130.740
Temp. 5	40	1830	84.180	180.000	0	142.380

Fuente: Elaboración del investigador en base a la proyección de producción y venta.

Tabla 25.

Flujo de caja esperado para 5 periodos de funcionamiento del deshidratador solar con manzanas (valores monetarios en pesos chilenos).

	Temp. 0	Temp. 1	Temp.2	Temp. 3	Temp. 4	Temp. 5
Manzanas Deshidratadas [Kg]	40	40	40	40	40	40
Precio de Venta (x)	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500
Venta de manzanas Deshidratada (=)	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000
Energía	-	-	-	-	-	-
Mano de Obra Directa (-)	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000
Agua Potable (-)	437	437	437	437	437	437
Insumo de Manzanas Frescas (-)	58.800	58.800	58.800	58.800	58.800	58.800
Bolsas de envasado (-)	672	672	672	672	672	672
Depreciación Prototipo Deshidratado (-)	9.510	9.510	9.510	9.510	9.510	9.510
Utilidad antes de Impuesto	50.581	50.581	50.581	50.581	50.581	50.581
Impuesto (17%) (-)	8.599	8.599	8.599	8.599	8.599	8.599
Utilidad después de Impuesto (=)	41.982	41.982	41.982	41.982	41.982	41.982
Depreciación Prototipo Deshidratado (+)	9.510	9.510	9.510	9.510	9.510	9.510
Inversión en terreno	-	-	-	-	-	-
Inversión en construcción de Prototipo (-)	95.503	-	-	-	-	-
Inversión en Capital de Trabajo (-)	84.180	0	0	0	0	0
Flujo Neto	179.683	51.492	51.492	51.492	51.492	51.492

Fuente: Elaboración propia del Investigador.

Tabla 26.

Análisis de Varianza para datos de muestras de manzanas deshidratadas en el prototipo de deshidratador solar.

Fuente de Variación	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F ₀
Tratamientos	$2,8 \times 10^{-7}$	5	$5,6 \times 10^{-8}$	0,00308.
Error	$9,1 \times 10^{-5}$	162	$5,61 \times 10^{-7}$	
Total	$9,13 \times 10^{-5}$	167	$f_{0,99; 5; 162} = 3,148$ $f_{0,95; 5; 162} = 2,279$	

Fuente: Elaboración Propia del investigador. Basado en datos experimentales obtenidos.

Tabla 27

Valores de cuantiles para la distribución F de Fisher para aplicación del test de Fisher con valores de $1 - \alpha = 0,99$ y diversos grados de libertad.

$1 - \alpha = 0,99$										
p_2	grados de libertad del numerador									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	98.50	99.00	99.17	99.25	99.30	99.33	99.36	99.37	99.39	99.40
3	34.12	30.82	29.46	28.71	28.24	27.91	27.67	27.50	27.34	27.22
4	21.20	18.00	16.69	15.98	15.52	15.21	14.98	14.80	14.66	14.55
5	16.26	13.27	12.06	11.39	10.97	10.67	10.46	10.29	10.16	10.05
6	13.75	10.92	9.78	9.15	8.75	8.47	8.26	8.10	7.98	7.87
7	12.25	9.55	8.45	7.85	7.46	7.19	6.99	6.84	6.72	6.62
8	11.26	8.65	7.59	7.01	6.63	6.37	6.18	6.03	5.91	5.81
9	10.56	8.02	6.99	6.42	6.06	5.80	5.61	5.47	5.35	5.26
10	10.04	7.56	6.55	5.99	5.64	5.39	5.20	5.06	4.94	4.85
11	9.65	7.21	6.22	5.67	5.32	5.07	4.89	4.74	4.63	4.54
12	9.33	6.93	5.95	5.41	5.06	4.82	4.64	4.50	4.39	4.30
13	9.07	6.70	5.74	5.21	4.86	4.62	4.44	4.30	4.19	4.10
14	8.86	6.51	5.56	5.04	4.69	4.46	4.28	4.14	4.03	3.94
15	8.68	6.36	5.42	4.89	4.56	4.32	4.14	4.00	3.89	3.80
16	8.53	6.23	5.29	4.77	4.44	4.20	4.03	3.89	3.78	3.69
17	8.40	6.11	5.18	4.67	4.34	4.10	3.93	3.79	3.68	3.59
18	8.29	6.01	5.09	4.58	4.25	4.01	3.84	3.71	3.60	3.51
19	8.18	5.93	5.01	4.50	4.17	3.94	3.77	3.63	3.52	3.43
20	8.10	5.85	4.94	4.43	4.10	3.87	3.70	3.56	3.46	3.37
21	8.02	5.78	4.87	4.37	4.04	3.81	3.64	3.51	3.40	3.31
22	7.95	5.72	4.82	4.31	3.99	3.76	3.59	3.45	3.35	3.26
23	7.88	5.66	4.76	4.26	3.94	3.71	3.54	3.41	3.30	3.21
24	7.82	5.61	4.72	4.22	3.90	3.67	3.50	3.36	3.26	3.17
25	7.77	5.57	4.68	4.18	3.85	3.63	3.46	3.32	3.22	3.13
26	7.72	5.53	4.64	4.14	3.82	3.59	3.42	3.29	3.18	3.09
27	7.68	5.49	4.60	4.11	3.78	3.56	3.39	3.26	3.15	3.06
28	7.64	5.45	4.57	4.07	3.75	3.53	3.36	3.23	3.12	3.03
29	7.60	5.42	4.54	4.04	3.73	3.50	3.33	3.20	3.09	3.00
30	7.56	5.39	4.51	4.02	3.70	3.47	3.30	3.17	3.07	2.98
35	7.42	5.27	4.40	3.91	3.59	3.37	3.20	3.07	2.96	2.88
40	7.31	5.18	4.31	3.83	3.51	3.29	3.12	2.99	2.89	2.80
50	7.17	5.06	4.20	3.72	3.41	3.19	3.02	2.89	2.78	2.70
60	7.08	4.98	4.13	3.65	3.34	3.12	2.95	2.82	2.72	2.63
80	6.96	4.88	4.04	3.56	3.26	3.04	2.87	2.74	2.64	2.55
100	6.90	4.82	3.98	3.51	3.21	2.99	2.82	2.69	2.59	2.50
200	6.76	4.71	3.88	3.41	3.11	2.89	2.73	2.60	2.50	2.41
500	6.69	4.65	3.82	3.36	3.05	2.84	2.68	2.55	2.44	2.36
1000	6.66	4.63	3.80	3.34	3.04	2.82	2.66	2.53	2.43	2.34

Fuente: (Canavos, 1988, pág. 627)

Tabla 28

Valores de cuantiles para la distribución *F* de Fisher para aplicación del test de Fisher con valores de $1 - \alpha = 0,95$ y diversos grados de libertad.

$1 - \alpha = 0,95$										
ν_2	$\nu_1 = \text{grados de libertad del numerador}$									
	11	12	15	20	25	30	40	50	100	1000
1	242.98	243.91	245.96	248.01	249.26	250.08	251.15	251.77	253.01	254.17
2	19.40	19.41	19.43	19.45	19.46	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50
3	8.76	8.74	8.70	8.66	8.63	8.62	8.59	8.58	8.55	8.53
4	5.94	5.91	5.86	5.80	5.77	5.74	5.72	5.70	5.66	5.63
5	4.70	4.68	4.62	4.56	4.52	4.50	4.46	4.44	4.41	4.37
6	4.03	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.75	3.71	3.67
7	3.60	3.57	3.51	3.44	3.40	3.38	3.34	3.32	3.27	3.23
8	3.31	3.28	3.22	3.15	3.11	3.08	3.04	3.02	2.97	2.93
9	3.10	3.07	3.01	2.94	2.89	2.86	2.83	2.80	2.76	2.71
10	2.94	2.91	2.85	2.77	2.73	2.70	2.66	2.64	2.59	2.54
11	2.82	2.79	2.72	2.65	2.60	2.57	2.53	2.51	2.46	2.41
12	2.72	2.69	2.62	2.54	2.50	2.47	2.43	2.40	2.35	2.30
13	2.63	2.60	2.53	2.46	2.41	2.38	2.34	2.31	2.26	2.21
14	2.57	2.53	2.46	2.39	2.34	2.31	2.27	2.24	2.19	2.14
15	2.51	2.48	2.40	2.33	2.28	2.25	2.20	2.18	2.12	2.07
16	2.46	2.42	2.35	2.28	2.23	2.19	2.15	2.12	2.07	2.02
17	2.41	2.38	2.31	2.23	2.18	2.15	2.10	2.08	2.02	1.97
18	2.37	2.34	2.27	2.19	2.14	2.11	2.06	2.04	1.98	1.92
19	2.34	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	2.00	1.94	1.88
20	2.31	2.28	2.20	2.12	2.07	2.04	1.99	1.97	1.91	1.85
21	2.28	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.94	1.88	1.82
22	2.26	2.23	2.15	2.07	2.02	1.98	1.94	1.91	1.85	1.79
23	2.24	2.20	2.13	2.05	2.00	1.96	1.91	1.88	1.82	1.76
24	2.22	2.18	2.11	2.03	1.97	1.94	1.89	1.86	1.80	1.74
25	2.20	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.84	1.78	1.72
26	2.18	2.15	2.07	1.99	1.94	1.90	1.85	1.82	1.76	1.70
27	2.17	2.13	2.06	1.97	1.92	1.88	1.84	1.81	1.74	1.68
28	2.15	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.79	1.73	1.66
29	2.14	2.10	2.03	1.94	1.89	1.85	1.81	1.77	1.71	1.65
30	2.13	2.09	2.01	1.93	1.88	1.84	1.79	1.76	1.70	1.63
35	2.07	2.04	1.96	1.88	1.82	1.79	1.74	1.70	1.63	1.57
40	2.04	2.00	1.92	1.84	1.78	1.74	1.69	1.66	1.59	1.52
50	1.99	1.95	1.87	1.78	1.73	1.69	1.63	1.60	1.52	1.45
60	1.95	1.92	1.84	1.75	1.69	1.65	1.59	1.56	1.48	1.40
80	1.91	1.88	1.79	1.70	1.64	1.60	1.54	1.51	1.43	1.34
100	1.89	1.85	1.77	1.68	1.62	1.57	1.52	1.48	1.39	1.30
200	1.84	1.80	1.72	1.62	1.56	1.52	1.46	1.41	1.32	1.21
500	1.81	1.77	1.69	1.59	1.53	1.48	1.42	1.38	1.28	1.14
1000	1.80	1.76	1.68	1.58	1.52	1.47	1.41	1.36	1.26	1.11

Fuente: (Canavos, 1988, pág. 625)

Tabla 29.

Resumen de las emisiones de GEI para las actividades relacionadas al ciclo de vida del Deshidratador Solar por concepto de materias primas e insumos (Fase 1).

Fase	Ítem	Peso aprox.	Factor de Emisión [kg de CO ₂ /Kg]	Factor de Emisión N ₂ O [g de N ₂ O/Lt]	Factor de Emisión CH ₄ [g de CH ₄ /Lt]	Emisiones de CO ₂ [kg de CO ₂]	Emisiones de N ₂ O [g]	Emisiones de CH ₄ [g]
Materias Primas e insumos	Aluminios	25	1,6	-	-	40	-	-
	Insumos metálicos							
	Acero	0,3	1,46	-	-	0,438	-	-
	Insumos no metálicos							
	Plancha Madera MDF	7,36	S/A	-	-	0	-	-
	Químicos							
	Silicona Sellante	0,7	S/A	-	-	0	-	-
	Plásticos							
	Malla mosquitera.	0,2	S/A	-	-	0	-	-
	Cristal							
	Vidrio	1,49	0,21	-	-	0,3129	-	-
	Cultivo de Manzanas: En todo el Proceso Asociado al cultivo de manzanas, tanto herbicidas como fertilizantes	2	1	-	-	2	-	-
TOTAL DE EMISIONES POR CONCEPTO DE MATERIA PRIMAS E INSUMOS						42,75 Kg de CO₂e		

Fuente: Elaboración propia del investigador

Tabla 30.

Resumen de las emisiones de GEI para las actividades relacionadas al ciclo de vida del Deshidratador Solar por concepto de construcción (Fase 2).

Fase	Ítem	Cantidad (aprox.) [KWh]	PESO aprox. [Lt]	Factor de Emisión [kg CO ₂ /KWh] [kg CO ₂ /Lt]	Factor de Emisión N ₂ O [g de N ₂ O/Lt]	Factor de Emisión CH ₄ [g de CH ₄ /Lt]	Emisiones de CO ₂ [kg de CO ₂]	Emisiones de N ₂ O [g]	Emisiones de CH ₄ [g]
Construcción	Cortes	0,4	-	3,57	-	-	1,428	-	-
	Electricidad								
	Perforaciones	1,8	-		-	-	6,43	-	-
	Compra de Materiales								
	Traslados y/o Fletes	-	1	3,088	0,02	0,096	3,088	0,02	0,096
	Generación de Residuos inorgánicos (metales)	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTAL DE EMISIONES POR CONCEPTO DE CONSTRUCCION							10,95	0,02	0,096

Fuente: Elaboración propia del investigador

Tabla 31.

Resumen de las emisiones de GEI para las actividades relacionadas al ciclo de vida del Deshidratador Solar por concepto de Traslados, Funcionamiento y Residuos (Fase 3-5).

Fase	Ítem	Cantidad (aprox.) [Kg]	Peso aprox. [Lt]	Factor de Emisión [kg de CO ₂ /Kg] o [kg de CO ₂ /Lt]	Factor de Emisión de N ₂ O [g de N ₂ O/Lt]	Factor de Emisión de CH ₄ [g de CH ₄ /Lt]	Emisiones de CO ₂ [kg de CO ₂]	Emisiones de N ₂ O [g]	Emisiones de CH ₄ [g]
Traslado	Contempla el llevar el prototipo desde su lugar de construcción, hasta el sitio donde se operará.	-	2,4	3,08	0,0	0,096	7,41	0,048	0,23
Funcionamiento	Preparación de las muestras	Pelado y trozado manual	(Ver fase residuos)						
	Ensayo	Eliminación de vapor de agua	La eliminación de Vapor de Agua no contempla Emisiones de CO ₂ al medio ambiente.						
Residuos	Eliminación de Pomos y Cascaras	Residuos Orgánicos	0,03	0,06	0,185	-	-	0,00000555	
TOTAL DE EMISIONES POR TRASLADO, FUNCIONAMIENTO Y RESIDUOS							7,41	0,48	0,23

Fuente: Elaboración propia del investigador

ANEXO 2.

FIGURAS

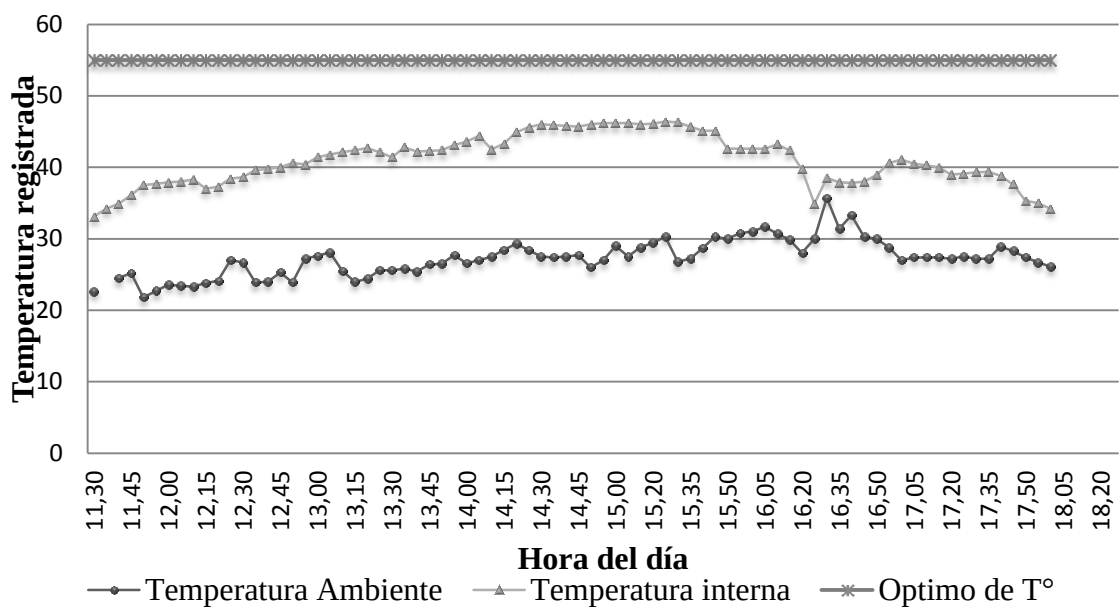


Figura 7: Comportamiento de la temperatura interna de la cámara de secado en contraste con la temperatura ambiente exterior en un día del mes de Abril, usando vidrio como componente del colector solar.

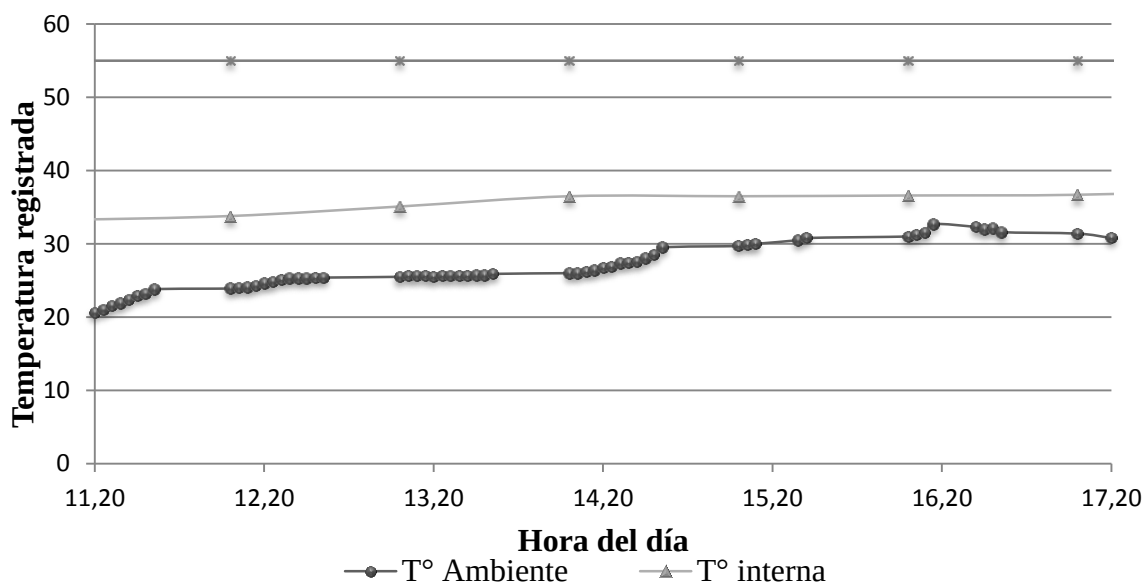


Figura 8: Comportamiento de la temperatura interna de la cámara de secado en contraste con la temperatura ambiente exterior en un día del mes de Abril, usando Makrolon como componente del colector solar.

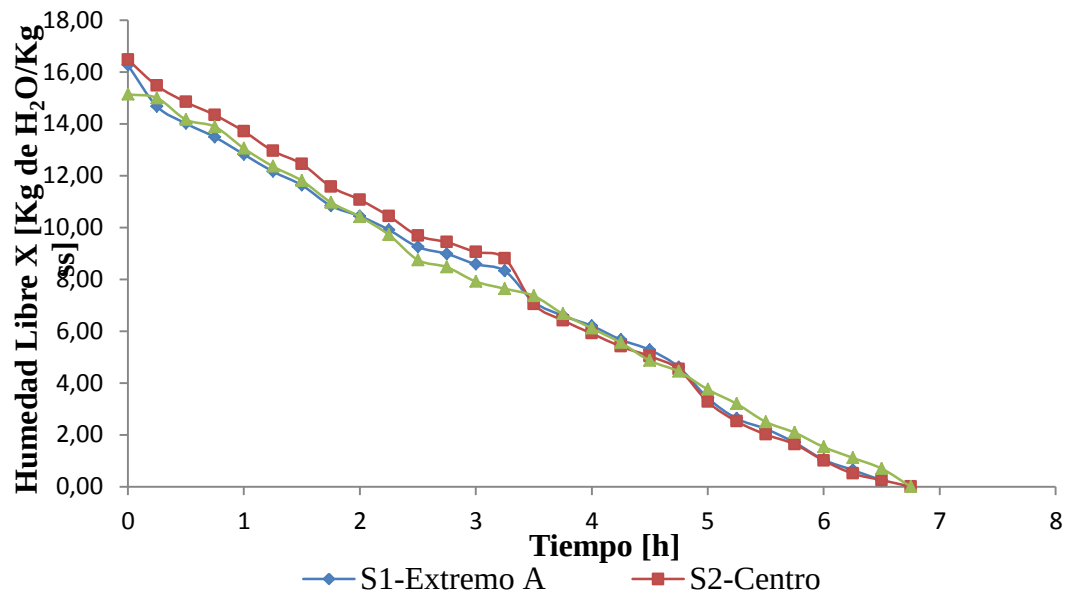


Figura 9. Curva típica de velocidad de secado constante para datos de humedad libre en función del tiempo para las muestras contenidas en la bandeja inferior (Bandeja 4).

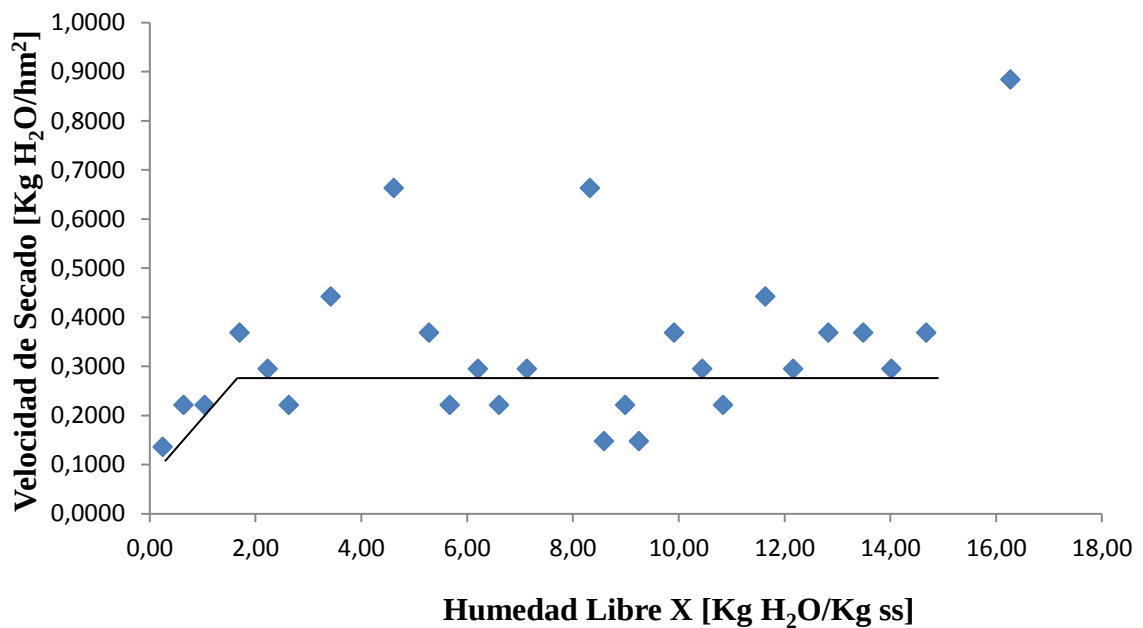


Figura 10. Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre para la muestra de la posición 1 de la bandeja 4.

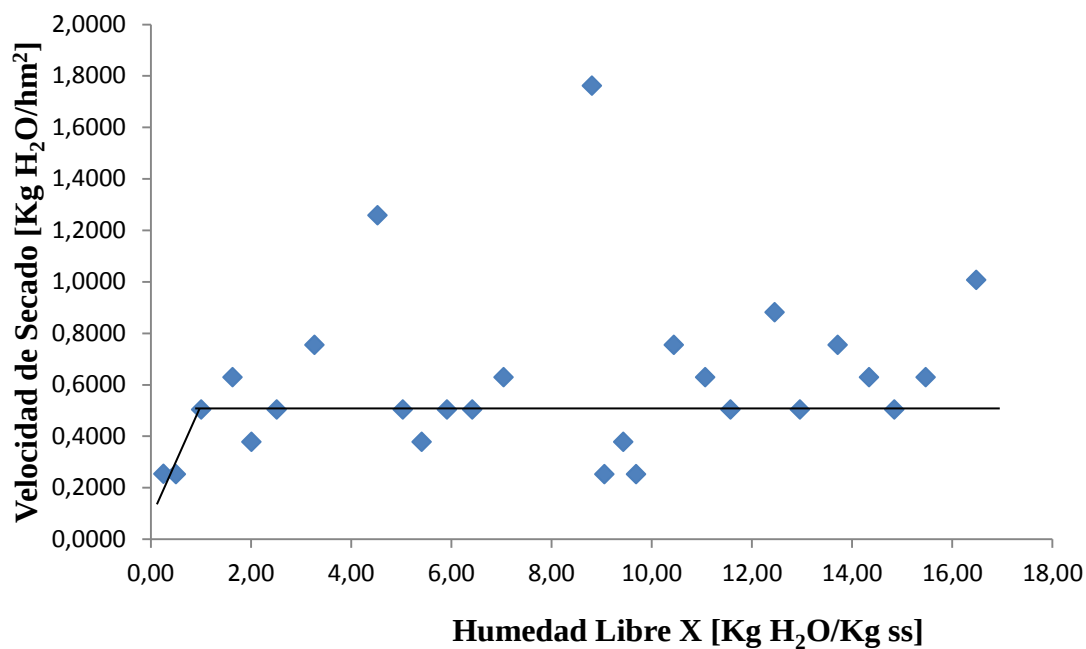


Figura 11. Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre para la muestra de la posición 2 de la bandeja 4.

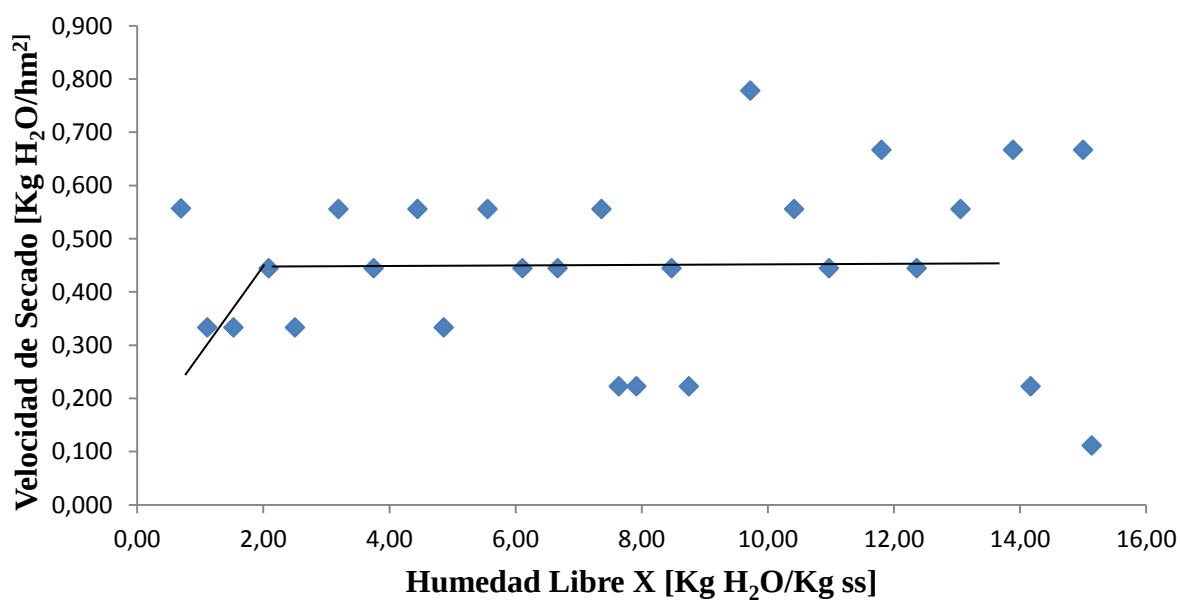


Figura 12. Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre para la muestra de la posición 3 de la bandeja 4.

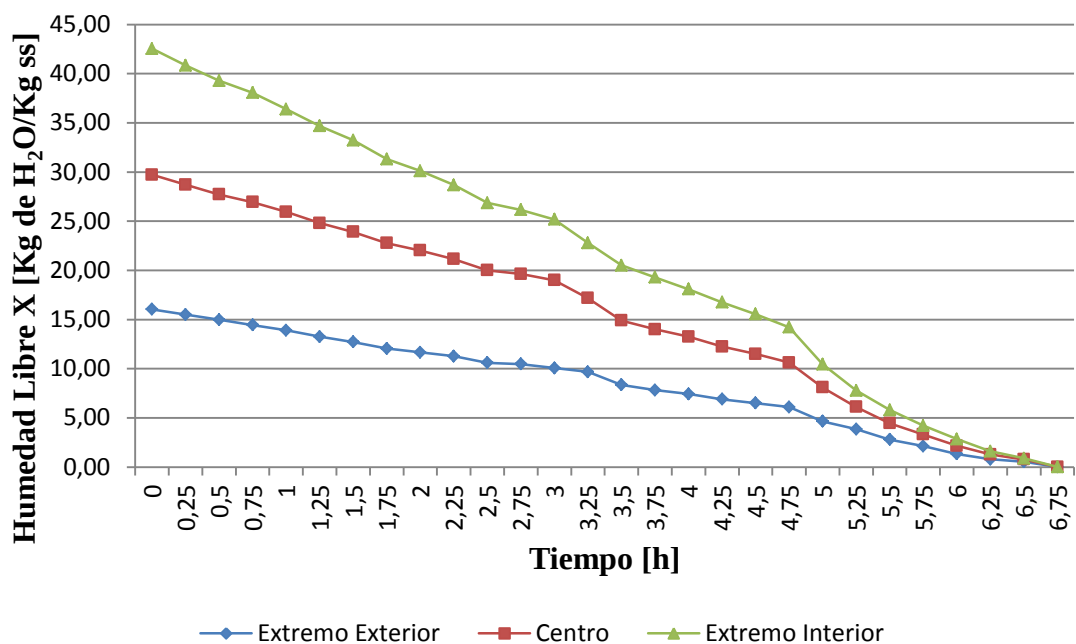


Figura 13. Curva típica de velocidad de secado constante para datos de humedad libre en función del tiempo para las muestras contenidas en la bandeja Superior (Bandeja 5).

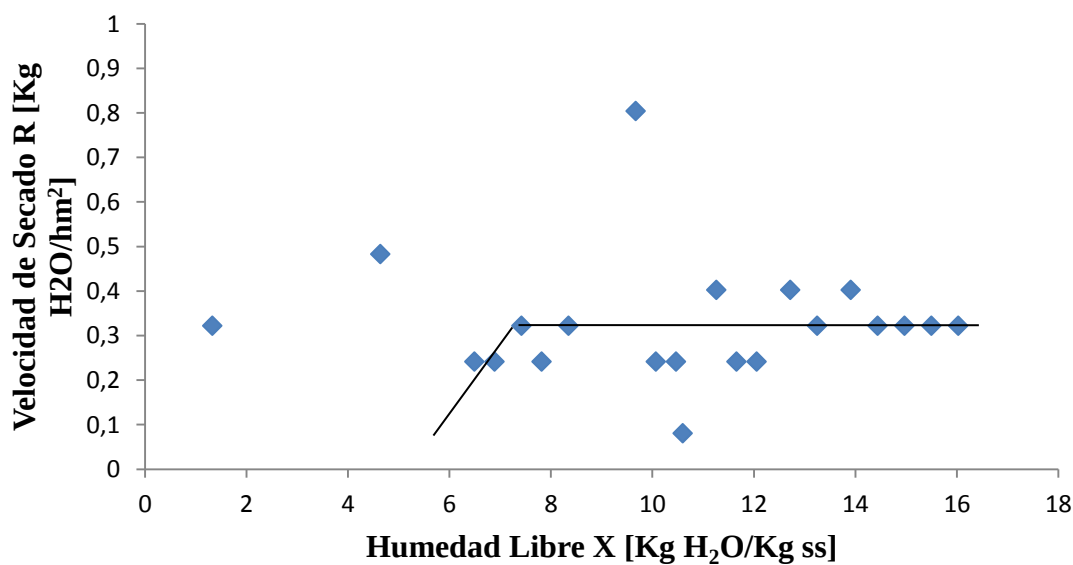


Figura 14. Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre para la muestra del extremo exterior de la bandeja 5.

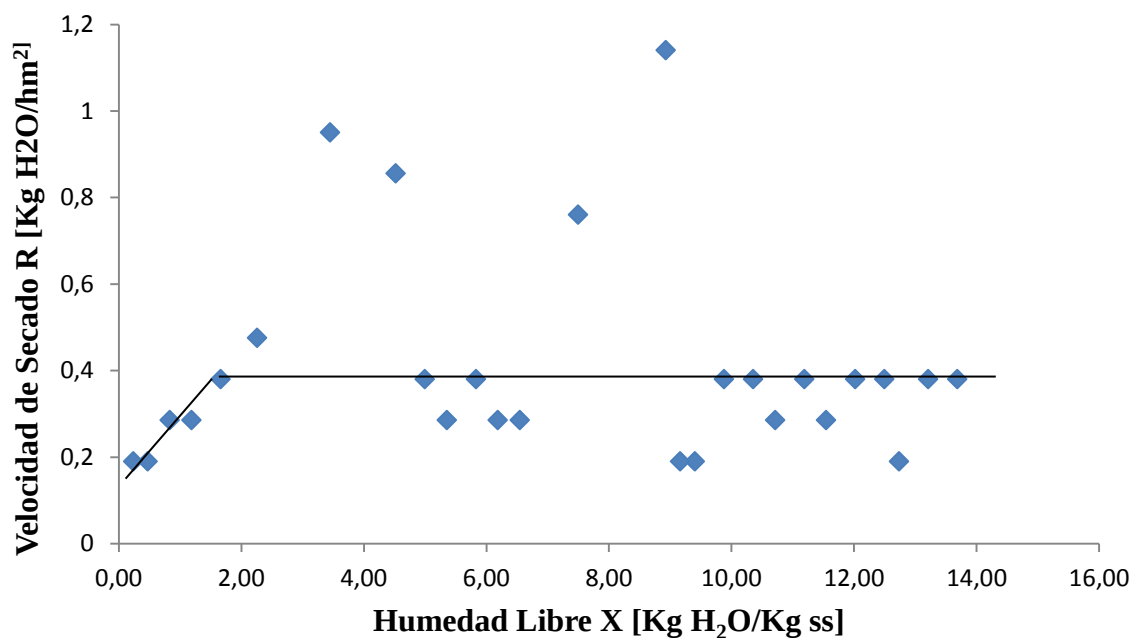


Figura 15. Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre para la muestra de la posición 2 de la bandeja 5.

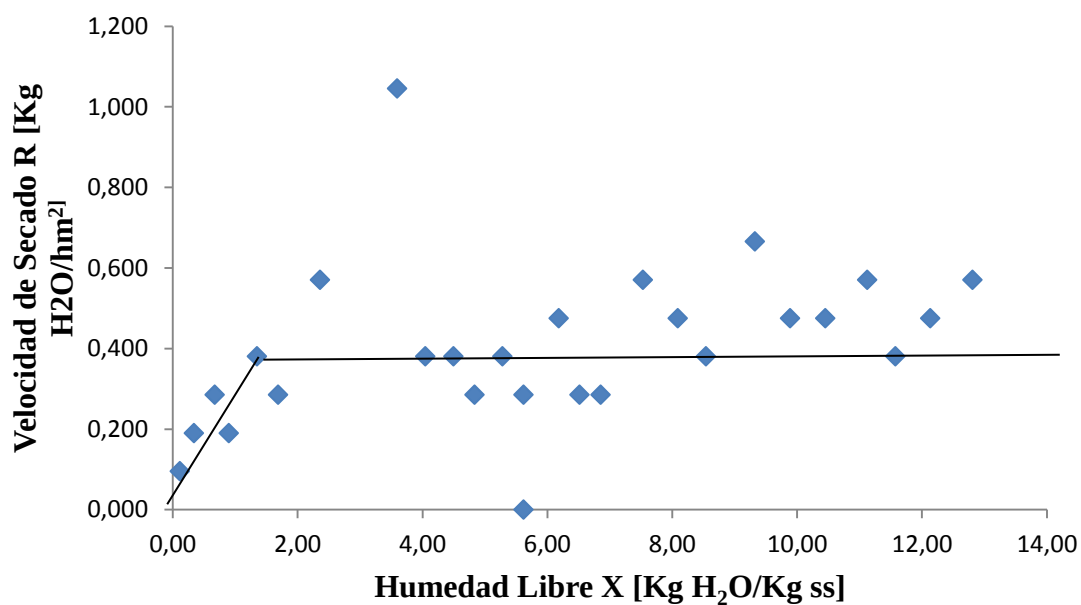


Figura 16. Curva de velocidad de secado en función del contenido de humedad libre para la muestra de la posición 3 de la bandeja 5.

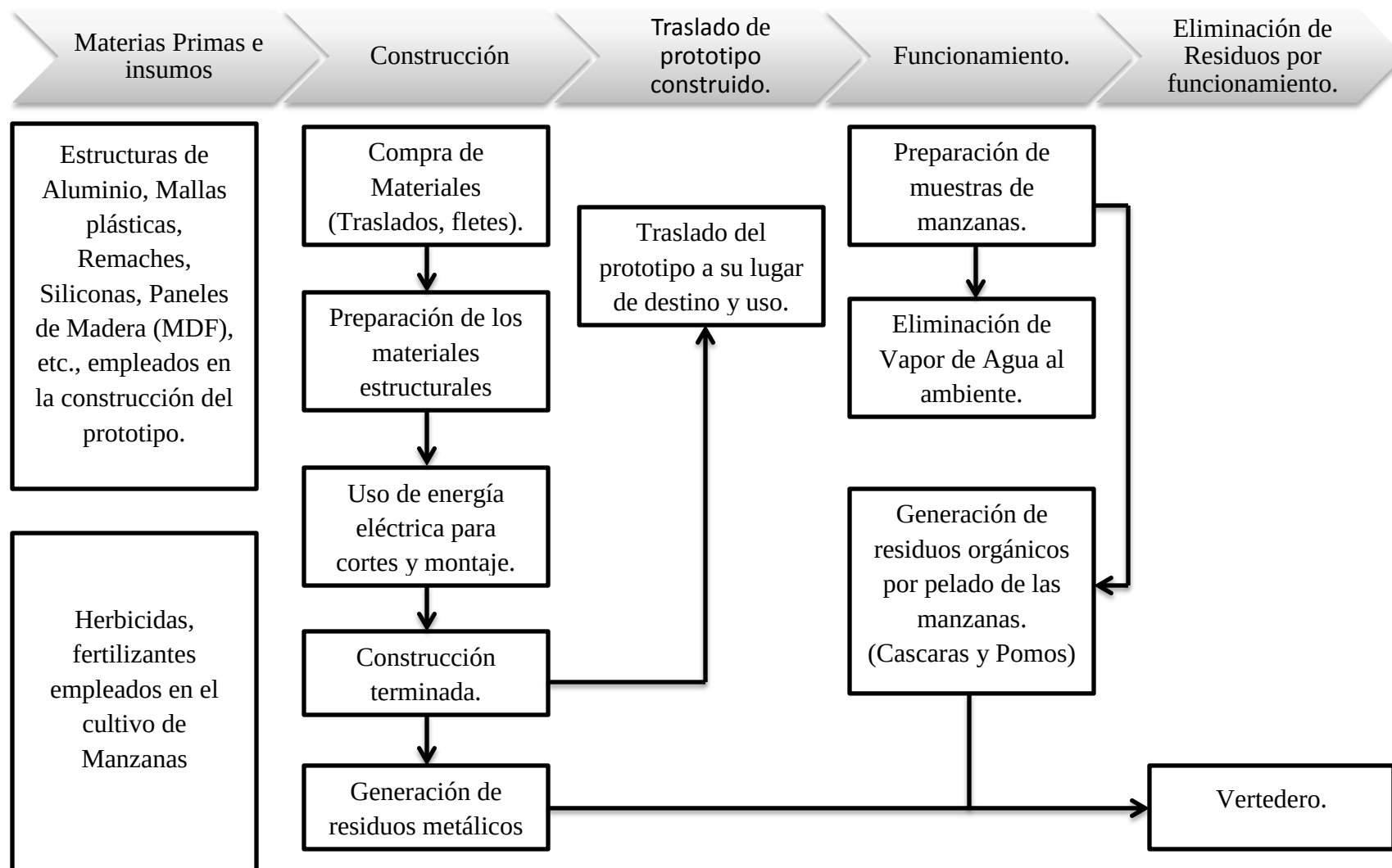


Figura 17. Esquema del análisis para determinar el ciclo de vida del prototipo de deshidratador solar.

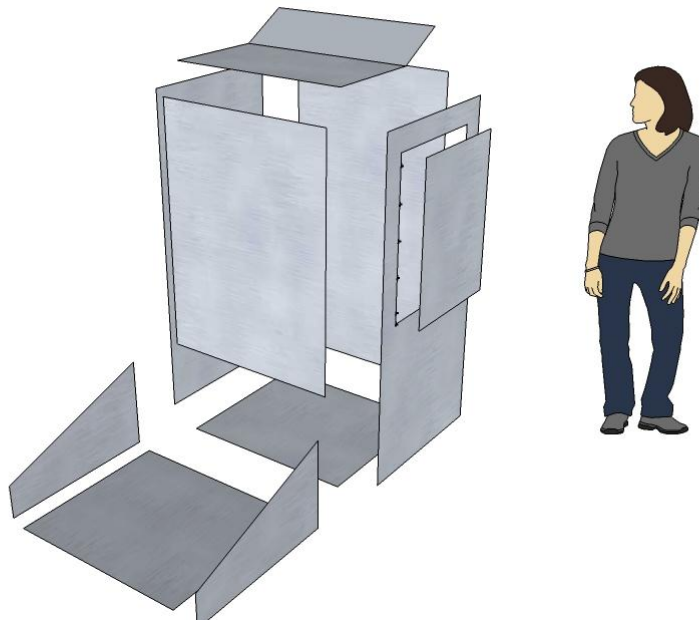


Figura 18. Esquema de Montaje de las piezas de construcción previamente dimensionadas y forradas con láminas de foto aluminio.

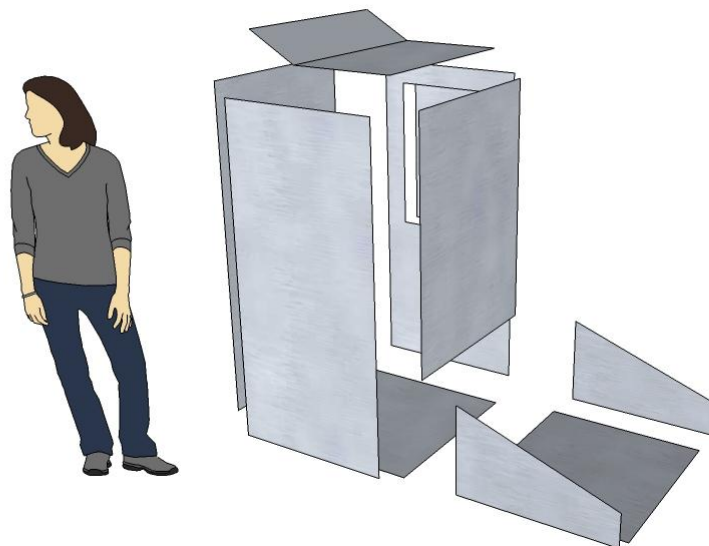


Figura 19.- Vista izquierda del diseño de montaje del prototipo de Deshidratador.

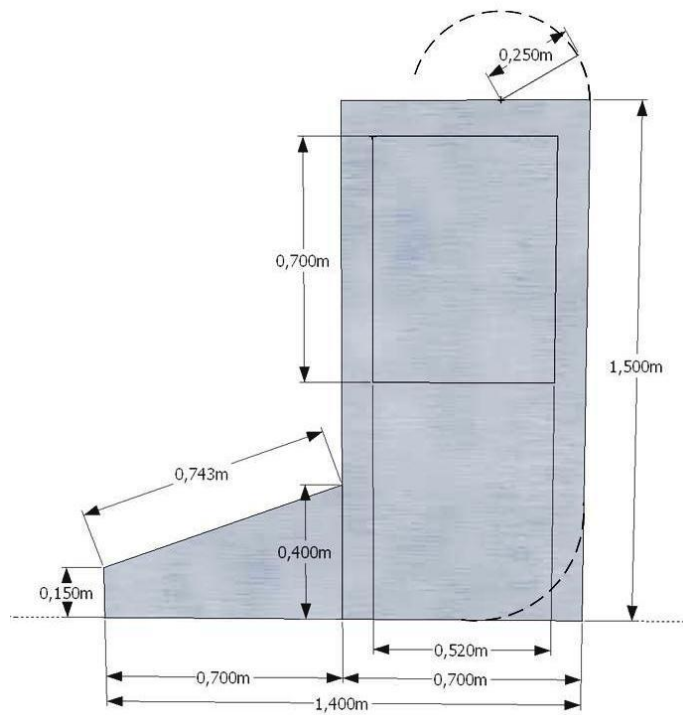


Figura 20. Vista Lateral derecha del prototipo de deshidratado solar con sus respectivas cotas.

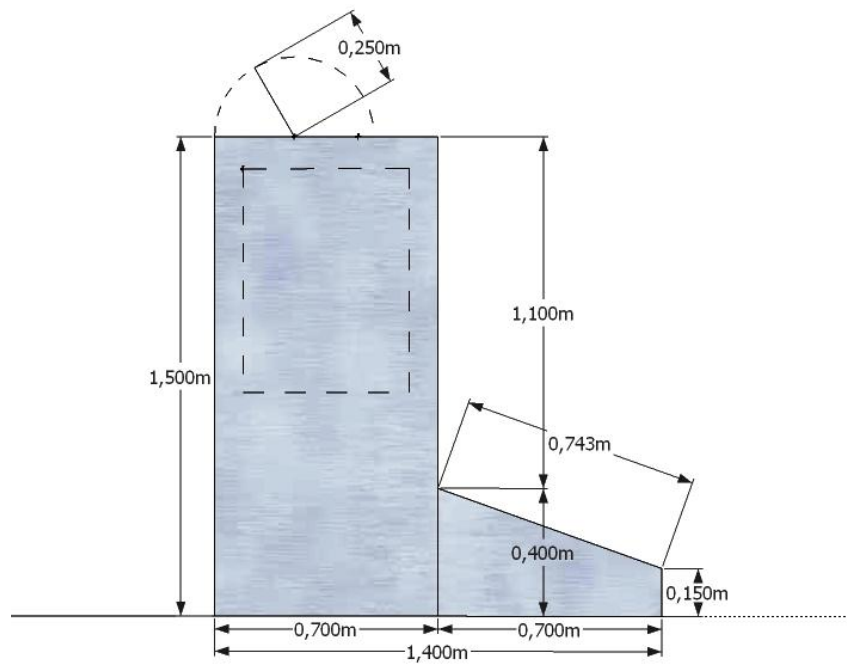


Figura 21. Vista Lateral izquierda del prototipo de deshidratado solar con sus respectivas cotas.

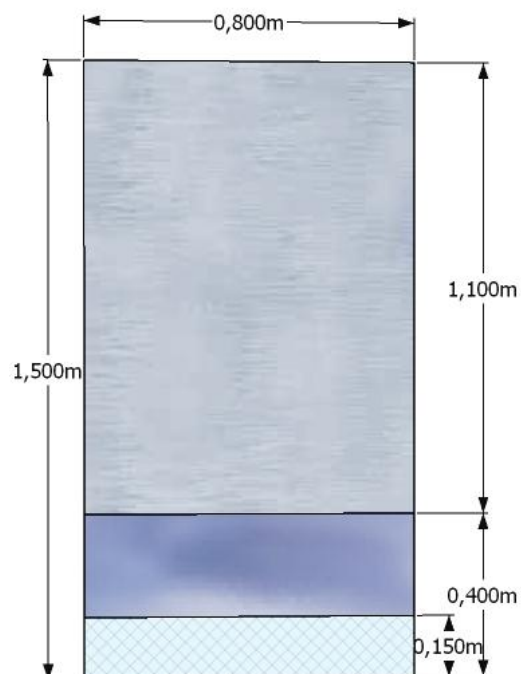


Figura 22. Vista Frontal del prototipo de deshidratado solar con sus respectivas cotas.

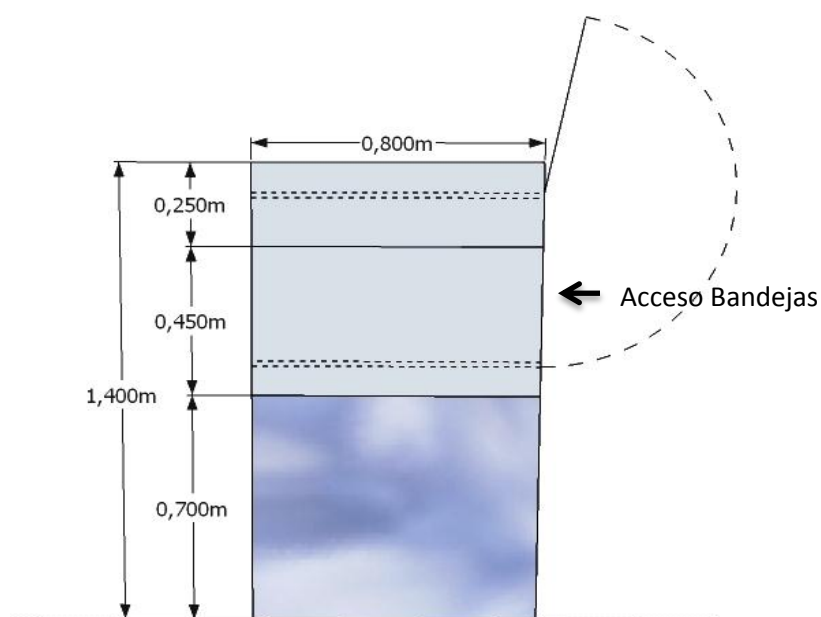
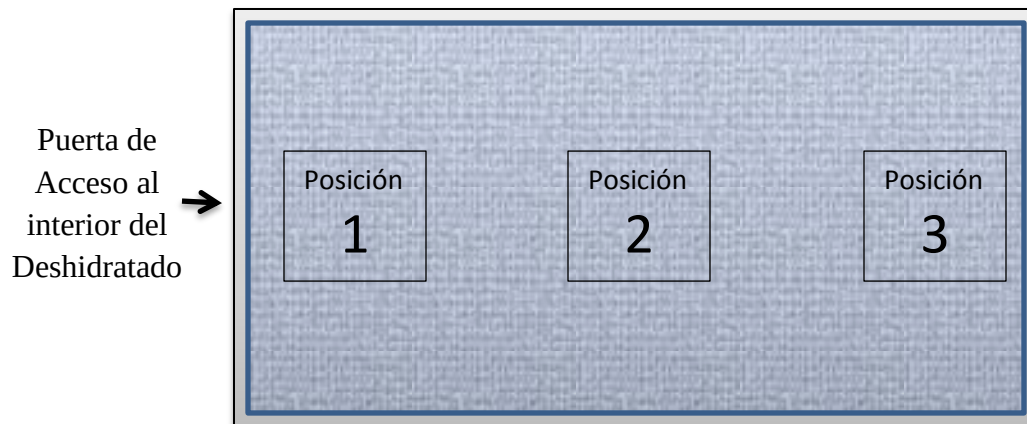


Figura 23. Vista de Planta del prototipo de deshidratado solar con sus respectivas cotas.



Esquema la Bandeja.

Figura 24. Esquema de ubicación de las muestras a lo largo de la bandeja.

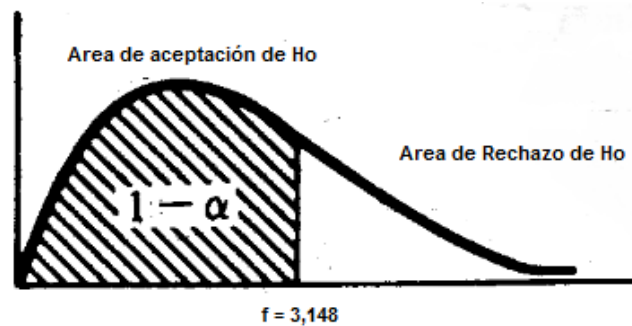


Figura 25. Gráfica del Test de Fisher para un nivel de significancia $\alpha = 1\%$ ($1 - \alpha = 99\%$).

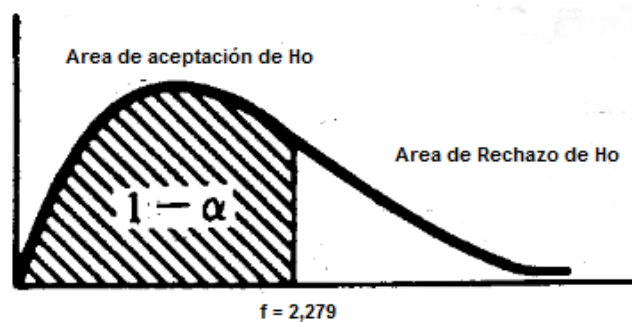


Figura 26. Gráfica del Test de Fisher para un nivel de significancia $\alpha = 5\%$ ($1 - \alpha = 95\%$)



Figura 27. Prototipo de Deshidratador Solar terminado.



Figura 28. Imagen Interior del Prototipo con bandejas para deshidratar.



Figura 29. Vista Lateral Derecha del Prototipo de Deshidratador Solar Terminado.