

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**  
**ESCUELA DE ZOOTECNIA**



**JOSÉ ABRAHÁM RAMÍREZ CHANG**

**Licenciado en Zootecnia**

**GUATEMALA NOVIEMBRE DE 2,011**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA  
ESCUELA DE ZOOTECNIA**



**“EFECTO DEL USO DE  
UN SECADOR SOLAR TIPO INVERNADERO  
PARA LA DESHIDRATACIÓN DE ALFALFA  
(*Medicago sativa* L. var. Zaino)”**

**TESIS**

**PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE  
MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN  
CARLOS DE GUATEMALA**

**POR**

**JOSÉ ABRAHÁM RAMÍREZ CHANG**

**Al Conferírsele el Grado Académico de**

**Licenciado en Zootecnia**

**GUATEMALA NOVIEMBRE DE 2,011**

**JUNTA DIRECTIVA**  
**FACULTAD DE MEDICINA VETERINARIA Y ZOOTECNIA**  
**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

DECANO:	Med. Vet. Leónidas Ávila Palma
SECRETARIO:	Med. Vet. Marco Vinicio García Urbina
VOCAL I:	Lic. Zoot. Sergio Amílcar Davila Hidalgo
VOCAL II:	M.Sc. Med. Vet. Dennis Sigfried Guerra Centeno
VOCAL III:	Med. Vet. y Zoot. Mario Antonio Motta González
VOCAL IV:	Br. Javier Enrique Baeza Chajón
VOCAL V:	Br. Ana Lucia Molina Hernández

**ASESORES**

MAEA Roberto Morales Monzón  
Lic. Zoot. Eduardo Rodas Núñez  
Lic. Zoot. Zaira Murillo Molina

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

**En cumplimiento con lo establecido por los estatutos de la  
Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su  
consideración el Trabajo de Tesis titulado:**

**“EFECTO DEL USO DE  
UN SECADOR SOLAR TIPO INVERNADERO  
PARA LA DESHIDRATACIÓN DE ALFALFA  
(*Medicago sativa L. var. Zaino*)”**

**Que fuera aprobado por la Honorable Junta Directiva de la  
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia**

**Como requisito previo a optar al título profesional de:**

**LICENCIADO EN ZOOTECNIA**

## TESIS QUE DEDICO

- A DIOS  
Que me ha guiado por el buen camino, me ha dado fuerzas para seguir adelante y no desmayar ante las contrariedades que se me presentan.
- A LA VIRGEN MARÍA  
Que siempre me ha protegido bajo su manto de bendiciones.
- A MI MADRE  
Silvia Chang López por todos los sacrificios hechos para poder darme una carrera para el futuro, por creer en mi, por brindarme su apoyo en la tristeza y alegría, porque para mi ha sido un padre y una madre, este triunfo es suyo.
- A MI PADRE  
Coronel de artillería José Abrahám Ramírez Cancinos (+)
- A MI ESPOSA  
Mónica Judith Murcia De Ramírez porque en ella encontré al amor de mi vida, la luz que ilumina mi alma y mi mejor parcería, convirtiéndose en la fuente de inspiración para alcanzar mis metas.
- A MI HERMANO  
José Fernando Ramírez Chang por ser mi mejor amigo, por luchar a mi lado en cada momento de mi vida, por ser esa alma tan especial y carismática.
- A MI ABUELA  
Natalia L. de Chang por ser el pilar de la familia, quien con su fuerza, amor y entrega siempre ha estado para apoyarnos en todo momento.

A MI SOBRINA

Adriana quien con su alegre sonrisa y mirada angelical me hizo olvidar el cansancio y la tristeza, llenando mi corazón de vida, alegría y felicidad.

A MI CUÑADA

Rosmery Tobar de Ramírez por apoyarme en uno de los momentos más difíciles de mi vida sin esperar nada a cambio.

A LA MEMORIA DE

Alfonso Chang Flores (+), Alfonso Chang López (+), Luis Alberto Murcia (+), Ana Leticia Chang (+) y Gustavo Adolfo Ochoa (+)

## **AGRADECIMIENTOS**

Señor y Dios mío, el camino de la vida es fácil de recorrer si sigo tus huellas, las vicisitudes desaparecen al estar en tu regazo, y una sola hoja no se mueve sin tu voluntad. Por eso en mi humana pequeñez quiero poner en tus santas manos, humildemente este trabajo para ofrecértelo y darte las gracias, porque en tu infinita bondad haz permitido que fructifique y al mismo tiempo me haz concedido culminar esta meta en el camino de la superación profesional.

A la tricentenaria Universidad de San Carlos de Guatemala, por darme la oportunidad de pertenecer orgullosamente a esta gloriosa alma mater.

A la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, por todos los conocimientos adquiridos a lo largo de mi formación como profesional.

A mis Catedráticos, por haberme transmitido todos sus conocimientos y consejos para formarme como un buen profesional.

A mis padres, por darme la vida. Especialmente a mi abnegada madre por todo el sacrificio hecho para ayudarme desde mi infancia para que este día llegara.

A mi amada esposa, que me apoyo todos estos años, por su infinito amor, cariño y comprensión. Porque te has convertido en una extensión de mi espíritu, por soportar pacientemente estos años lejos de ti, por esperar siempre a que tuviese un hueco en el tiempo para estar juntos y compartir toda clases de esperanzas, porque siempre fuiste mi ayuda y fortaleza en cada momento de mi vida y de la carrera, por animarme día con día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales y finalmente porque gozas conmigo como un solo ser, este tan anhelado momento.

A mi hermano, con el que compartí las travesuras infantiles más insólitas, las locuras de juventud más sorprendentes, las tristezas y alegrías más fuertes que la vida nos ha dado y con el que hoy, mañana y siempre contaré.

A la familia Chang López, por todo su cariño.

A la familia Murcia Montealegre, por abrirme las puertas de sus corazones y permitirme ser parte de ellos.

A los licenciados, Zaira Murillo Molina, Roberto Morales y Eduardo Rodas por su tiempo, paciencia, colaboración y asesoría en este trabajo de tesis.

A los doctores, Yeri Véliz y Vinicio García por sus sabios consejos y amistad.

A mis amigos, Juan Carlos Carpio, Rodolfo Veliz, Herbert Paz, Pablo Rodríguez, Romeo Muñoz, Fernando Suruy, Harold Rafael Pérez , Daniel Sandoval y Efraín Najarro por su amistad incondicional.

# ÍNDICE GENERAL

I.	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
II.	<b>OBJETIVOS</b> .....	3
2.1	General .....	3
2.2	Específico .....	3
III.	<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
3.1	Generalidades de la alfalfa.....	4
3.1.1	Origen. ....	4
3.1.2	Botánica. ....	4
3.1.3	Importancia económica y distribución geográfica .....	5
3.1.4	Frecuencia del corte .....	5
3.1.5	Altura de corte. ....	5
3.1.6	Valor nutricional. ....	6
3.2	Secadores solares .....	7
3.2.1	Tipos de secadores solares. ....	9
3.3	Deshidratación de la alfalfa .....	11
IV.	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	14
4.1	Localización y descripción del área. ....	14
4.2	Materiales .....	14
4.3	Equipo .....	14
4.4	Variables a medir. ....	15

4.5	Duración del experimento .....	15
4.6	Manejo del experimento .....	15
4.6.1	Construcción del secador solar .....	15
4.6.2	Elaboración de las bandejas deshidratadoras .....	17
4.6.3	Producción de alfalfa .....	18
4.6.4	Reducción de partícula .....	18
4.6.5	Valor nutricional .....	18
4.6.6	Deshidratación de la alfalfa .....	18
4.6.7	Medición de temperatura y humedad .....	18
4.6.8	Determinación de materia seca parcial .....	19
4.6.9	Determinación de costos. ....	19
4.6.10	Cronograma de actividades .....	19
V.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.</b> ....	21
5.1	Humedad relativa. ....	21
5.2	Temperatura ambiente .....	22
5.3	Proteína bruta. ....	24
5.4	Materia seca parcial .....	25
5.5	Tiempo de secado .....	26
5.6	Determinación de costos .....	28
VI.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	29
VII.	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	30
VIII.	<b>RESUMEN</b> .....	31

IX.	<b>ABSTRACT</b> .....	32
X.	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	33
XI.	<b>ANEXOS.</b> .....	36

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Plano estructural secador solar tipo invernadero .....	16
Figura 2.	Disposición y medidas de las bandejas deshidratadoras dentro del secador solar tipo invernadero .....	17
Figura 3.	Cronograma de actividades .....	20
Figura 4.	Flujograma de actividades .....	20

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1.	Porcentaje promedio diario de humedad relativa del aire para el ambiente interno y externo del secador solar tipo invernadero .....	21
Gráfica 2.	Temperatura promedio diaria en grados centígrados .....	22
Gráfica 3.	Porcentaje de proteína bruta de las muestras al ingreso y salida del secador solar tipo invernadero .....	24
Gráfica 4.	Porcentaje de materia seca parcial de las muestras .....	25

Gráfica 5.	Representación gráfica de la curva del porcentaje de materia seca parcial de las muestras .....	26
Gráfica 6.	Precipitación pluvial diaria registrada durante el experimento para la ciudad de Guatemala .....	42
Gráfica 7.	Insolación diaria en horas por día registrada durante el experimento para la ciudad de Guatemala .....	42
Gráfica 8.	Porcentaje de nubosidad diario registrado durante el experimento para la ciudad de Guatemala .....	43
Gráfica 9.	Radiación solar media diaria registrada durante el experimento para la ciudad de Guatemala. ....	43
Gráfica 10.	Temperatura diaria registrada durante el experimento para la ciudad de Guatemala .....	44
Gráfica 11.	Porcentaje de humedad relativa diaria registrada durante el experimento para la ciudad de Guatemala .....	44

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Composición bromatológica de hojas y tallos de alfalfa .....	6
Cuadro 2.	Contenido proteico y valor energético de alfalfa deshidratada .....	7
Cuadro 3.	Capacidad del aire de absorber agua a diferente temperatura y	8

	humedad .....	
Cuadro 4.	Análisis tipo de alfalfa deshidratada .....	13
Cuadro 5.	Materiales empleados en la elaboración del secador solar tipo invernadero .....	17
Cuadro 6.	Porcentaje de humedad relativa del aire promedio para el ambiente interno y externo del secador solar tipo invernadero según hora de medición .....	37
Cuadro 7.	Porcentaje promedio diario de humedad relativa del aire para el ambiente interno y externo del secador solar tipo invernadero.....	39
Cuadro 8.	Temperatura ambiente en grados centígrados.....	39
Cuadro 9.	Temperatura promedio diaria en grados centígrados. ....	40
Cuadro 10.	Porcentaje de proteína bruta de las muestras. ....	40
Cuadro 11.	Porcentaje de materia seca parcial de las muestras.....	41
Cuadro 12.	Costos incurridos para la elaboración de un secador solar tipo invernadero .....	41

## I. INTRODUCCIÓN

La alimentación básica en los sistemas de producción bovina en nuestro país está constituida básicamente por sistemas de pastoreo, ya que representan una práctica económica con baja utilización de mano de obra. Sin embargo la dependencia del pastoreo tiene como desventajas los efectos de las variaciones climáticas, así como de las condiciones físicas y químicas del suelo. De esta manera, durante la época seca se presentan considerables disminuciones en la disponibilidad y calidad nutricional del forraje, que reduce la carga animal, los niveles productivos y las tasas de crecimiento; por otra parte, durante la época de lluvia se presentan excedentes de forraje que no son conservados y se ofrecen en avanzado estado de madurez, lo que afecta su calidad nutricional, y en consecuencia, la productividad de la explotación (Sánchez, 2005).

En estas circunstancias se hace necesaria la revisión de las estrategias y tecnologías actuales de conservación de forrajes, en especial aquellas que tengan efectos directos sobre el proceso de conservación, de manera que permitan mejorar la calidad del producto que se está conservando para asegurar altos niveles de consumo y productividad animal, especialmente por las dificultades que se presentan para su implementación en zonas geográficas donde las variaciones del clima hacen que el uso o aplicación de estas sea infructífero. (Sánchez, 2005).

Debido a lo expuesto, el sector se ha visto forzado a la búsqueda de alternativas en el campo de la conservación de forrajes, es por esto que el secado o deshidratado se presenta como una de las tecnologías utilizadas con más frecuencia en la agroindustria y consiste en la eliminación de gran parte del agua del producto procesado. La evaporación del agua se hace a través de una corriente de aire caliente, la cual transmite el calor latente de evaporación al producto, buscando disminuir al máximo la actividad bioquímica interna y la acción de microorganismos que permitan mantener por mucho más tiempo el producto en condiciones de almacenaje. (Díaz, 1995)

Aunque se dispone de diferentes tecnologías de conservación para contrarrestar la

disponibilidad de forrajes en época seca, predomina el proceso de henificado, el cual consiste en dejar secar en el campo los forrajes y cuyo objetivo es eliminar rápidamente el agua hasta que se alcance un nivel limitante para la actividad vegetal y microbiana (Muslera, 1991), a pesar de su facilidad de implementación, este proceso se ve seriamente afectado por diversos elementos como son los factores climáticos, plagas, la pérdida de nutrientes derivada de la respiración, lixiviación o lavado de nutrientes y las pérdidas mecánicas. (Juan, Romero y Bruno, 1995).

Por tal motivo es común ver que el sector recurra a otros métodos para acelerar el secado de los forrajes, gastando energía convencional, lo cual genera un pago innecesario y al mismo tiempo contamina el medio ambiente. Es aquí donde toma su importancia el uso de energía solar, la cual es gratuita, limpia e inagotable (Gutiérrez, 2002), a pesar de estos beneficios, la intensidad con que esta llega a la superficie de la tierra se reduce debido a variados factores como el ozono, los gases de la atmósfera, el polvo, el dióxido de carbono, etc.

Tomando en consideración todo lo mencionado, surge como alternativa la construcción y utilización de secadores solares, dado que su material de construcción puede ser más barato, aunque en la actualidad gracias a la tecnología del plástico se han desarrollado algunos dispositivos solares para el secado de frutas, granos y madera, los cuales son de bajo costo y permiten gran tonelaje, hasta la fecha, la aplicación de esta tecnología al secado de forrajes es muy limitada.

Es por esto que con la utilización del secador solar, se obtendrá información que permitirá conocer el efecto del mismo sobre la calidad nutricional de los forrajes durante el proceso de deshidratación.

## II. OBJETIVOS

### 2.1 General

Generar información sobre secado artificial para la deshidratación de forrajes y su efecto en la calidad nutricional.

### 2.2 Específico

Determinar el efecto del uso de un secador solar tipo invernadero sobre el tiempo de secado de alfalfa (*Medicago sativa L. var. Zaino*) deshidratada, en términos de porcentaje de materia seca y proteína bruta.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1 Generalidades de la alfalfa

##### 3.1.1 Origen.

La alfalfa tiene su área de origen en Asia Menor y sur del Caúcaso, abarcando países como Turquía, Irak, Irán, Siria, Afganistán y Pakistán. Los persas introdujeron la alfalfa en Grecia y de ahí pasó a Italia en el siglo IV a. C. La gran difusión de su cultivo fue llevada a cabo por los árabes a través del norte de África, llegando a España donde se extendió a toda Europa. (INFOAGRO, 2007)

##### 3.1.2 Botánica.

La alfalfa pertenece a la familia de las leguminosas, cuyo nombre científico es *Medicago sativa*. Se trata de una planta perenne y vivaz. (INFOAGRO, 2007)

Esta leguminosa de crecimiento erecto o semierecto, alcanza alturas entre 0.50 y 1 m. (Hogares Juveniles Campesinos, 2004)

- **Raíz.** La raíz principal es pivotante, robusta y muy desarrollada (hasta 5.0 m. de longitud) con numerosas raíces secundarias. Posee una corona que sale del terreno, de la cual emergen brotes que dan lugar a los tallos.
- **Tallos.** Son delgados y erectos para soportar el peso de las hojas y de las inflorescencias, además son muy consistentes, por tanto es una planta muy adecuada para el corte.
- **Hojas.** Son trifoliadas, aunque las primeras hojas verdaderas son unifoliadas. Los márgenes son lisos y con los bordes superiores ligeramente dentados.
- **Flores.** La flor característica de esta familia es de la subfamilia Papilionoidea. Son de color azul o púrpura, con inflorescencias en racimos que nacen en las axilas de las hojas.

- **Fruto.** Es una legumbre indehisciente sin espinas que contiene entre 2 y 6 semillas amarillentas, arriñonadas y de 1.5 a 2.5 mm. de longitud. (INFOAGRO, 2007)

### **3.1.3 Importancia económica y distribución geográfica.**

La importancia del cultivo de alfalfa va desde su interés como fuente natural de proteínas, fibra, vitaminas y minerales; así como su contribución paisajística y su utilidad como cultivo conservacionista de la fauna. Además de la importante reducción energética que supone la fijación simbiótica del nitrógeno para el propio cultivo y para los siguientes en las rotaciones de las que forma parte.

Por ser una especie pratense y perenne, su cultivo aporta elementos de interés como limitador y reductor de la erosión y de ciertas plagas y enfermedades de los cultivos que le siguen en la rotación. (INFOAGRO, 2007)

### **3.1.4 Frecuencia del corte.**

La frecuencia del corte varía según el manejo de la cosecha, siendo un criterio muy importante junto con la fecha del último corte para la determinación del rendimiento y de la persistencia del alfalfar. Los cortes frecuentes implican un agotamiento de alfalfa y como consecuencia una reducción en su rendimiento y densidad.

Cuanto más avanzado es el estado vegetativo de la planta en el momento de defoliación, más rápido tiene lugar el rebrote del crecimiento siguiente.

En las regiones cálidas la alfalfa se corta con el 10% de floración en otoño, en primavera y a principios de verano, y con el 25-50% de floración durante el verano. El rebrote depende del nivel de reservas reduciéndose éstas cuando los cortes son frecuentes.

### **3.1.5 Altura de corte.**

El rebrote no depende solamente de las reservas de carbohidratos de la raíz sino también de la parte aérea residual. La alfalfa cortada alta deja en la planta tallos ramificados

y yemas que permiten el rebrote continuado. La altura de corte resulta un factor crítico si se corta frecuentemente en estados tempranos de crecimiento, pues implica una reducción en el rendimiento y una disminución de la densidad de plantas del alfalar a causa de las insuficientes reservas acumuladas en los órganos de almacenamiento. La máxima producción se obtiene con menores alturas de corte -aproximadamente 0.4 m- y cortadas a intervalos largos.

### 3.1.6 Valor nutricional.

La alfalfa es una excelente planta forrajera que proporciona elevados niveles de proteínas, minerales y vitaminas de calidad. Su valor energético también es muy alto estando relacionado con el valor nitrogenado del forraje. Además es una fuente de minerales como: calcio, fósforo, potasio, magnesio, azufre, etc. Los elevados niveles de  $\beta$ -carotenos (precursores de la vitamina A) influyen en la reproducción de los bovinos. En el cuadro 1 se muestra la composición de la materia seca de hojas y tallos de la alfalfa.

**Cuadro 1.** Composición bromatológica de hojas y tallos de alfalfa

Contenido (%)	HOJAS	TALLOS
Proteína bruta	24	10.7
Grasa bruta	3.1	1.3
Extracto no nitrogenado	45.8	37.3
Fibra bruta	16.4	44.4
Cenizas	10.7	6.3

Fuente: Infoagro, 2007.

A continuación se muestra en el cuadro 2 el contenido proteico y valor energético de la alfalfa deshidratada.

**Cuadro 2.** Contenido proteico y valor energético de alfalfa deshidratada.

<b>%PB (s.s.s.)</b>	<b>UFL (/kg ms)</b>	<b>UFV (/kg ms)</b>
17	0.75	0.64
19	0.81	0.71
21	0.88	0.79
23	0.95	0.87
25	1.02	0.96

**Fuente: Infoagro, 2007.**

**PB (s.s.s.):** Proteína bruta sobre la sustancia seca.

**UFL:** Energía neta para lactación.

**UFV:** Energía neta para la producción de carne.

### **3.2 Secadores solares**

La energía solar ha sido aprovechada desde tiempos remotos de una manera totalmente empírica, utilizándola tanto de forma indirecta: viento, ríos, leña, como directa con la exposición de elementos a la radiación solar para secar, desde frutas, verduras, semillas, carne, sal, ropa así como el calentador de agua.

Lo que conocemos comúnmente como secado es una operación de transferencia de masa por contacto directo entre dos fases inmiscibles, esto es cuando un sólido humedecido con un líquido volátil se expone a un gas relativamente seco, el líquido abandona al sólido y se difunde en el gas, operación que también se conoce como desorción.

El secado consiste en retirar por evaporación el agua de la superficie del producto y traspasarla al aire circundante. La rapidez de este proceso depende del aire (la velocidad con que este circula alrededor del producto, su grado de sequedad, etc.), y de las características del producto (su composición, su contenido de humedad, el tamaño de las partículas, etc.).

El aire contiene y puede absorber vapor de agua. La cantidad de vapor de agua presente en el aire se llama humedad. Un aire absolutamente seco, sin vapor de agua en su interior, contiene una humedad relativa de 0%, mientras que uno saturado de agua tiene una humedad relativa de 100%. La cantidad de vapor de agua que el aire puede absorber depende en gran medida, de su temperatura.

Existen cuadros que permiten calcular la cantidad adicional de vapor de agua que el aire puede absorber a una temperatura y a una humedad relativa determinada. A medida que el aire se calienta, su humedad relativa decae y, por tanto, puede absorber más humedad. Al calentarse el aire alrededor del producto, este se deshidrata más rápidamente. (Gutiérrez, 2002)

Como podemos apreciar en el siguiente cuadro, a mayor temperatura más capacidad del aire de absorber agua. Cuanto mayor sea el flujo de aire, más rápidamente se eliminará el agua del producto que se está secando. Así mismo, se muestra la cantidad de agua que en teoría, puede absorber el aire. En condiciones normales, el aire puede retirar un 30 a 50% de esta cantidad teórica. Esta capacidad se conoce como “factor de arrastre” y se convierte en una guía para quienes diseñan equipos de secado.

**Cuadro 3.** Capacidad del aire de absorber agua a diferente temperatura y humedad.

Temperatura °C	°HR	Gramos de agua que pueden ser retirados por kg. de aire seco
29	90	0.6
30	50	7.0
40	28	14.5
50	15	24.0

°HR : Humedad relativa.

Fuente: Gutiérrez, 2002.

Las características del producto, su naturaleza y el tamaño de las partículas también influyen en el nivel de secado. (FAO, 1998)

Luego que la humedad de la superficie se ha retirado por evaporación, el nivel de secado depende de la velocidad con la que su humedad interna se dirige a la superficie, lo que varía de un producto a otro. La composición de los materiales puede marcar la diferencia por lo que algunos necesitan más tiempo para su secado, además del tamaño de la partícula, pues mientras menor sea esté, menor será la distancia que debe recorrer la humedad interna para llegar a la superficie.

Los secadores solares son dispositivos que permiten deshidratar productos. El proceso de secado es una etapa importante para muchos productos que deben ser comercializados o almacenados, sin que se produzca el problema de degradación biológica.

En nuestro país son múltiples los requerimientos del secado de productos agropecuarios, los casos más evidentes son la deshidratación de forrajeras y de los desechos sólidos de origen animal.

Actualmente, la tecnología del plástico permite construir secadores solares de gran tonelaje y de muy bajo costo, existiendo en la práctica varios modelos diferentes, de acuerdo al producto y el clima de la zona. (Gutiérrez, 2002)

### **3.2.1 Tipos de secadores solares**

Existen gran variedad de secadores que emplean energía solar, pero se pueden resumir mencionando sus características, las cuales se pueden catalogar como sigue:

#### **3.2.1.1 Forma de calentamiento**

##### **3.2.1.1.1 Secador solar indirecto.**

El aire es calentado en el colector y la radiación no incide sobre el producto colocado en la cámara de secado. La cámara de secado no permite la entrada de la radiación solar.

#### **3.2.1.1.2 Secador solar directo.**

Los dos elementos pueden juntarse, en cuyo caso la cámara que contiene el producto también cumple la función de colector recibiendo la radiación solar.

#### **3.2.1.1.3 Secador solar mixto.**

Finalmente puede darse el caso en que la colección de radiación se realice tanto en un colector solar previo a la cámara como en la misma cámara.

#### **3.2.1.2 Circulación del aire**

El aire circula dentro del secador con el fin de eliminar la humedad evaporada del producto. Esta circulación se logra por diversos métodos:

##### **3.2.1.2.1 Circulación forzada.**

El aire es movido por un ventilador que consume energía mecánica o eléctrica.

##### **3.2.1.2.2 Circulación por convección natural.**

El aire es movido por las diferencias de temperatura entre las distintas partes del equipo que promueven la convección térmica del aire sin energía externa.

#### **3.2.1.3 Forma de operación**

La forma de operar un secador da lugar a dos alternativas:

##### **3.2.1.3.1 Secado en tandas.**

El producto es cargado en una sola tanda y la misma no se retira hasta que esté completamente seca.

##### **3.2.1.3.2 Secado continuo.**

El producto se va cargando y descargando en tandas parciales. Dentro del mismo secador se encuentra una parte de producto húmedo y otra casi seca. (Gutiérrez, 2002)

#### **3.2.1.4 Tipos de secadores**

- Tipo invernadero.
- Tipo gabinete.
- Secador con pasaje central.
- Tipo tienda de campaña.
- Tipo chimenea.
- Tipo colector solar.
- Secador solar de aire forzado para cereales.
- Tipo Mc Dowel con auxilio de combustible.

### **3.3 Deshidratación de la alfalfa**

La deshidratación implica la eliminación de la mayor parte del agua presente en el forraje en el menor tiempo posible, con mínimas pérdidas de materia seca (MS) y nutrientes. Para dar una idea de la magnitud de este proceso puede mencionarse que en una hectárea de alfalfa cortada a principios de floración, con un rendimiento de 10.000 kg de materia verde, es preciso eliminar alrededor de 7.500 kg de agua para transformar dicho forraje en heno.

El objetivo en alfalfa es "secar rápido y retener las hojas". La etapa de secado a campo dura normalmente entre 2 y 4 días, aunque dependiendo de las prácticas de manejo empleadas y de las condiciones climáticas este período puede extenderse desde uno hasta más de 15 días. (Agroactual, 1995)

La deshidratación de la alfalfa, en comparación con el secado natural (henificación), reduce las pérdidas de valor nutritivo (hojas, proteína, vitaminas) y los riesgos de contaminación por tierra, además de evitar la humedad por lluvia o rocío que aumentarían la contaminación microbiana.

La alfalfa contiene alrededor de un 50% de pared celular y una composición equilibrada de la fibra (8% pectinas, 10% hemicelulosas, 25% celulosa y 7% lignina). Por ello, asegura un rápido tránsito digestivo, un aporte significativo de fibra soluble y

una alta capacidad tampón. Esto, unido a su elevada palatabilidad, hace de la alfalfa un ingrediente de elección en piensos de vacas de alta producción.

La alfalfa, como otras leguminosas, contiene factores anti-nutritivos siendo, los más importantes, las *saponinas* y los *taninos solubles*

La alfalfa también contiene *estrógenos*, los cuales pueden causar abortos en hembras gestantes, si la alfalfa es consumida en verde. Gracias al tratamiento térmico, aplicado mediante la deshidratación, se eliminan factores anti-nutritivos. Así, por ejemplo, se evita la activación de los estrógenos.

El contenido en Proteína Bruta (PB) condiciona en gran medida su valor de mercado. Cuanto más tierna se recoge, menor es la producción de Materia Seca (MS) por hectárea. Por otro lado, mayor es la calidad nutritiva al aumentar la proporción de hojas sobre tallo. Se estima que la PB es un buen indicador de su valor energético, de modo que un aumento de una unidad porcentual de PB sobre materia seca supone un incremento de 0.03 Ufl (Energía Neta para Lactación).

La alfalfa es una buena fuente de macrominerales (calcio, fósforo, magnesio, potasio, cloro), microminerales (cinc, cobre, hierro), vitaminas (liposolubles, grupo B) y pigmentos. El *fósforo*, presente en la alfalfa, tiene una alta disponibilidad para los monogástricos, por eso su importancia en la alimentación. Sin embargo, en función del grado de contaminación que presente la alfalfa, variará el contenido de hierro. El *potasio*, otro elemento de suma importancia en la alimentación ganadera, presenta una relación directa con el nivel de fertilización del terreno. Así, si el cultivo no presenta déficit de nutrientes, tendremos un forraje de alta calidad para el ganado, aportándole todos los elementos nutritivos necesarios, en especial, potasio.

Otro elemento nutritivo importante para el ganado, son las *xantofilas*. Este caroteno varía su contenido, en función del grado de secado. Dependiendo del grado de secado al que es sometida la materia prima, las xantofilas presentarán mayor o

menor grado de eficacia. Así pues, los carotenoides de la alfalfa presentan una eficacia que ronda el 35-75% respecto a la eficacia de los carotenoides del maíz.

En el proceso de deshidratación se produce una pérdida menor del 2% de energía y alrededor del 10% de proteína digestible y carotenos. También se comprobó, que el contenido de proteína bruta, fibra ácido detergente, fibra neutro detergente y carbohidratos solubles no fue significativamente afectada por el deshidratado a altas temperaturas.

La alfalfa deshidratada dispone de un contenido energético que aumenta linealmente al aumentar el contenido de proteína bruta. Otros elementos nutritivos, como el calcio, fósforo y vitamina A de alfalfa deshidratada, presentan un contenido más elevado, conforme más precoz sea el corte del forraje. (NAFOSA, 2008)

**Cuadro 4.** Análisis tipo de alfalfa deshidratada

<b>Proteína</b>	18% s.m.s.*
<b>Fibra</b>	28% t/q
<b>Humedad</b>	14% max
<b>Provitamina A o βcaroteno</b>	80-100 mg/kg
<b>Calcio</b>	2,3%
<b>Fósforo</b>	0,28%
<b>Sodio</b>	0,08%
<b>Potasio</b>	2,10%
<b>Cloro</b>	0,46%
<b>Magnesio</b>	0,30%

\*s.m.s.: sobre materia seca.

Fuente: NAFOSA, 2008

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1 Localización y descripción del área.

El presente estudio se realizó dentro de las instalaciones de la Granja Experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, localizada en el Campus Central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, ubicada en la zona 12 de la ciudad capital, a 1,490 msnm.

De acuerdo a los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología –INSIVUMEH- (2011) el promedio de los últimos cinco años del departamento de Guatemala para temperatura es de 23.1°C, la humedad relativa es del 78%, la precipitación media anual es de 1480 mm. Según Cruz (1988) el departamento de Guatemala pertenece a la zona de vida Bosque Húmedo Subtropical Templado.

### 4.2 Materiales

Los materiales utilizados durante la realización del experimento fueron:

- Alfalfa (*Medicago sativa* L. var. Zaino.)
- Bolsas de papel periódico.
- Lapicero.
- Tijeras.
- Hielera.
- Cuaderno de apuntes.
- Hoja electrónica de Excel.
- Marcadores.

### 4.3 Equipo

El equipo utilizado durante la realización del experimento fue:

- Balanza de reloj.
- Higrómetro.
- Termómetro.
- Bandejas deshidratadoras.
- Secador solar tipo invernadero.
- Computadora.
- Cámara fotográfica.

#### **4.4 Variables a medir.**

Las variables evaluadas durante la fase experimental del presente estudio fueron:

- Humedad relativa del ambiente externo. (% H. R.)
- Humedad relativa del ambiente interno. (% H. R.)
- Temperatura ambiente externo.(°C)
- Temperatura ambiente interno.(°C)
- Proteína bruta. (% PB)
- Materia seca parcial. (% MSP)
- Tiempo de secado.(días)

#### **4.5 Duración del experimento**

El experimento tuvo una duración de tres semanas comprendidas entre el día 27 de abril y el día 14 de mayo del año 2008.

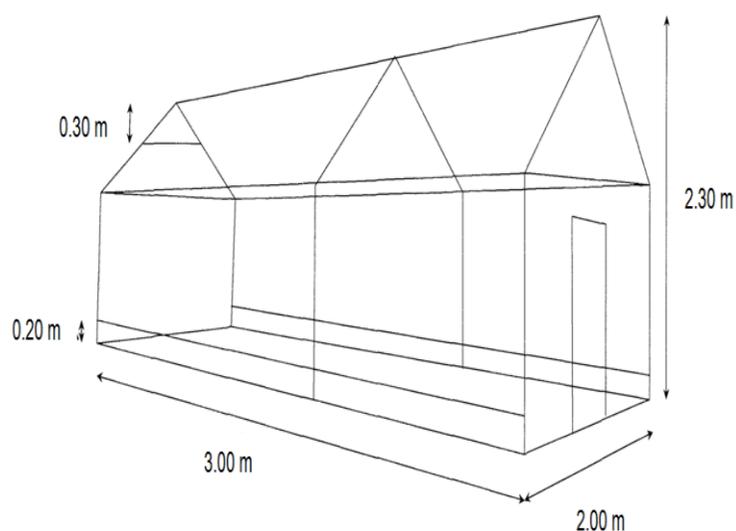
#### **4.6 Manejo del experimento**

##### **4.6.1 Construcción del secador solar**

El secador solar tipo invernadero se ubicó con orientación de norte a sur y se elaboró tomando como base las dimensiones presentadas en la figura 1, siendo estas las siguientes:

- 3 m de largo.
- 2 m de ancho
- 2.30 m de alto.

**Figura 1.** Plano estructural del secador solar tipo invernadero.



Los pilares para la construcción del mismo, fueron elaborados a base de bambú con un techo de dos aguas. Al tener instalada la estructura del secador este se revistió con polietileno negro, tomando en cuenta una puerta de ingreso en uno de los lados. Así mismo, se dejaron dos aberturas de 0.20 m a partir del suelo, ubicadas a cada uno de los costados a lo largo del secador, para el ingreso del aire fresco y una en el fondo de 0.30 m de ancho ubicada en la parte posterior a dos metros de altura, para la salida del aire húmedo, todo esto para facilitar la circulación del aire, ya que básicamente el secado consiste en retirar por evaporación el agua de la superficie del producto y traspasarla al aire circundante (Gutiérrez, 2002). Los materiales utilizados para la construcción del secador se detallan en el cuadro 5.

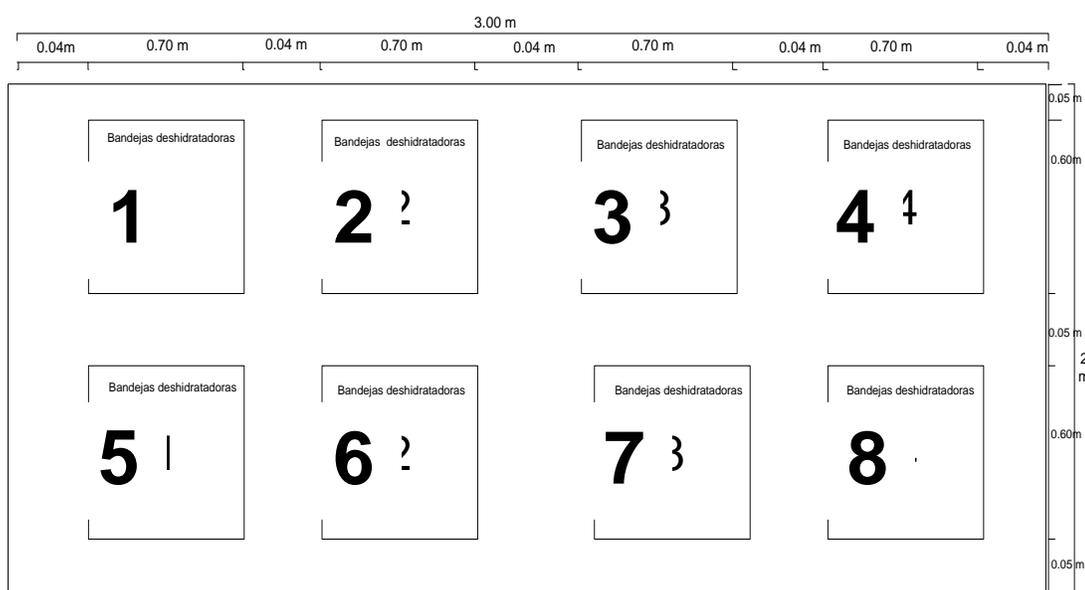
**Cuadro 5.** Materiales empleados en la elaboración del secador solar tipo invernadero

Insumo	Cantidad
Polietileno negro (yd)	10
Pilares de bambú (u)	6
Clavos de acero (lb)	1
Alambre de amarre (lb)	2
Bandejas deshidratadoras (u)	8

#### 4.6.2 Elaboración de las bandejas deshidratadoras

Las bandejas deshidratadoras se elaboraron con marcos de madera con una dimensión de 0.70 X 0.60 m, colocándoles en el fondo cedazo plástico para permitir el flujo de aire a través de la muestra, y dispuestas dentro del secador solar tipo invernadero como se observa en la figura 2.

**Figura 2.** Disposición y medidas de las bandejas deshidratadoras dentro del secador solar tipo invernadero



#### **4.6.3 Producción de alfalfa**

El material utilizado fue alfalfa (*Medicago sativa L. var. Zaino*), esta fue obtenida en la Granja Experimental de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia.

El corte de las plantas se realizó cuando alcanzaron el 10 % de floración, aproximadamente una altura de 0.40- 0.45 m, aplicando un factor de uso del 90%.

#### **4.6.4 Reducción de partícula**

Una vez realizado el corte, el tamaño del material se redujo manualmente mediante la utilización de tijeras dejando partículas de 0.05 – 0.1 m aproximadamente, con el fin de romper las paredes celulares, lo cual propició una mayor pérdida de humedad y facilitó el paso de aire caliente a través de la muestra.

#### **4.6.5 Valor nutricional**

Se realizaron dos análisis bromatológicos completos a cada muestra de alfalfa cosechada; el primero se realizó el día del corte, antes de proceder al picado y el segundo análisis se realizó al salir la muestra del secador solar.

#### **4.6.6 Deshidratación de la alfalfa**

Una vez reducido el tamaño de la partícula, se colocaron 2.5 Kg de material en segmentos de 0.03 a 0.05 m en cada una de las bandejas deshidratadoras, para luego colocarlas dentro del secador solar tipo invernadero donde permanecieron durante 4 días, de acuerdo con el cronograma establecido en la figura 3.

#### **4.6.7 Medición de temperatura y humedad**

Se realizaron tres mediciones diarias de humedad y temperatura del ambiente tanto dentro como fuera del secador en el siguiente horario: 7:00 a.m., 12:00 p.m. y 6:00 p.m., mediante la utilización de un higrómetro y un termómetro.

#### **4.6.8 Determinación de materia seca parcial**

Se extrajo una muestra diaria de aproximadamente 0.8 Kg en total, procedente de las 8 bandejas deshidratadoras, la cual fue homogenizada y colocada en una bolsa de papel periódico, previamente identificada, se depositó en una hielera para conservar las características de la misma, para luego transportarla al Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, donde se le realizó el análisis de materia seca parcial.

#### **4.6.9 Determinación de costos**

Al finalizar el estudio se determinaron los costos incurridos en la elaboración del secador.

#### **4.6.10 Cronograma de actividades**

Cada una de las tres muestras permaneció dentro del secador durante cuatro días como podemos observar en la figura 3 en la cual se presenta el cronograma de actividades y la figura 4 en la que se presenta el flujograma de proceso del experimento, tiempo durante el cual se realizaron las siguientes actividades:

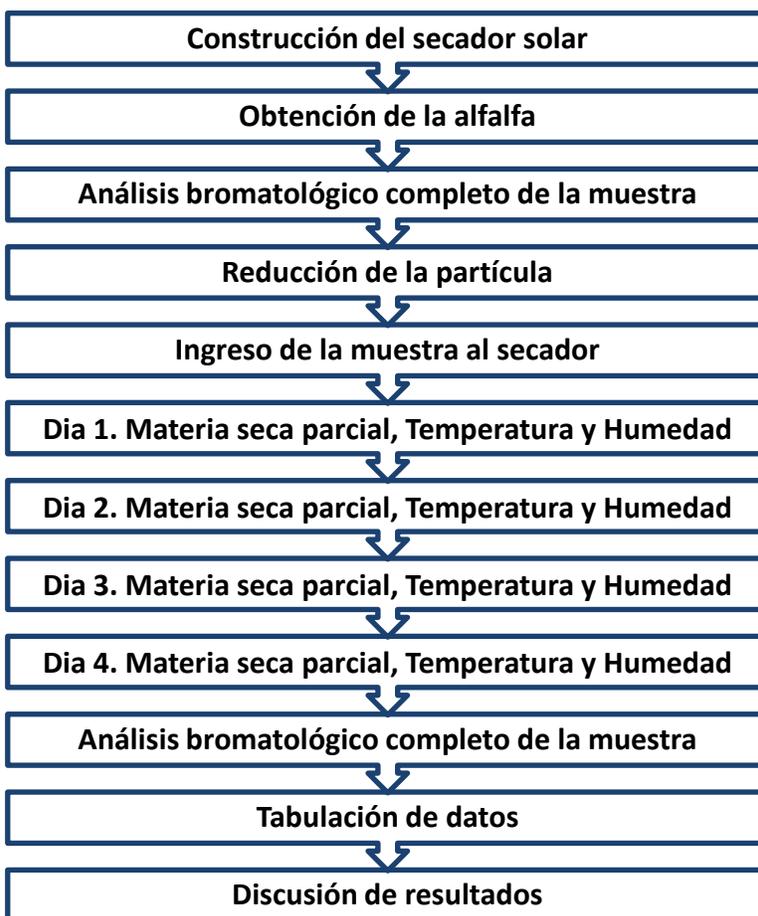
- Análisis bromatológicos completos al ingreso y salida del secador solar tipo invernadero a cada una de las 3 muestras.
- Mediciones diarias tanto de la temperatura como de la humedad relativa del ambiente dentro y fuera del secador solar tipo invernadero.

- Recolección diaria de muestras (debidamente identificadas) y su traslado al laboratorio de bromatología para realizar los respectivos análisis diarios para la determinación de la materia seca parcial.

**Figura 3.** Cronograma de actividades.

No. DE MUESTRA	ACTIVIDAD	DIAS																		
		L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V
MUESTRA 1	MUESTRA 1 DENTRO DEL SECADOR																			
	TOMA DE MATERIA SECA PARCIAL																			
	ANALISIS BROMATOLOGICOS MUESTRA 1																			
	EGRESO DEL SECADOR MUESTRA 1																			
MUESTRA 2	MUESTRA 2 DENTRO DEL SECADOR																			
	TOMA DE MATERIA SECA PARCIAL																			
	ANALISIS BROMATOLOGICOS MUESTRA 2																			
	EGRESO DEL SECADOR MUESTRA 2																			
MUESTRA 3	MUESTRA 3 DENTRO DEL SECADOR																			
	TOMA DE MATERIA SECA PARCIAL																			
	ANALISIS BROMATOLOGICOS MUESTRA 3																			
	EGRESO DEL SECADOR MUESTRA 3																			

**Figura 4.** Flujograma de actividades.

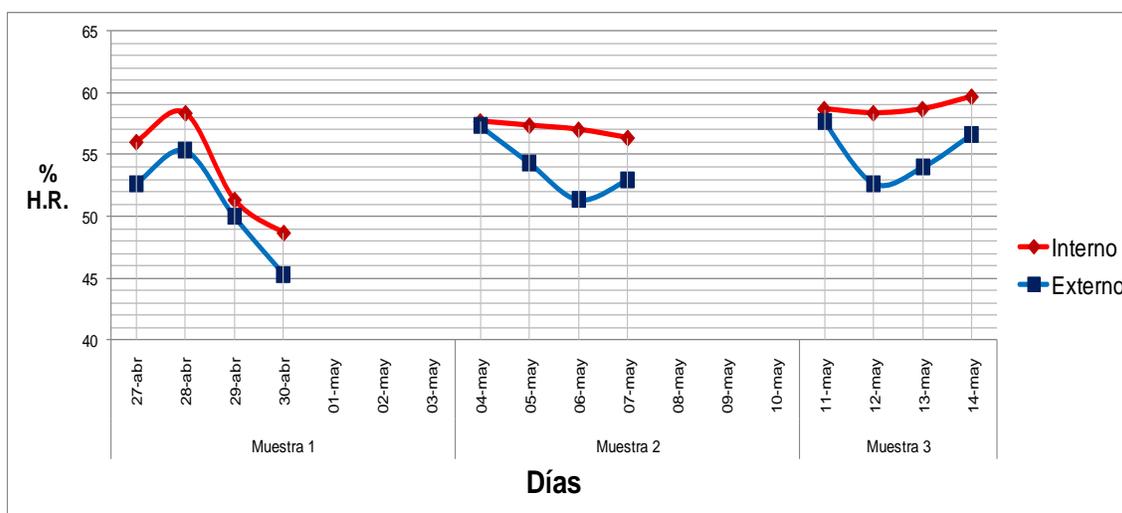


## V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 5.1 Humedad relativa.

La humedad relativa del ambiente fue determinada utilizando un higrómetro digital, realizando mediciones diarias en horario de: 7:00 am, 12:00 pm y 6:00 pm durante cuatro días de acuerdo a lo establecido en el manejo del experimento, obteniendo los siguientes resultados:

**Gráfica 1.** Porcentaje promedio diario de humedad relativa del aire para el ambiente interno y externo del secador solar tipo invernadero.



Al analizar los datos obtenidos para la variable humedad relativa podemos señalar tres hechos fundamentales en la gráfica 1:

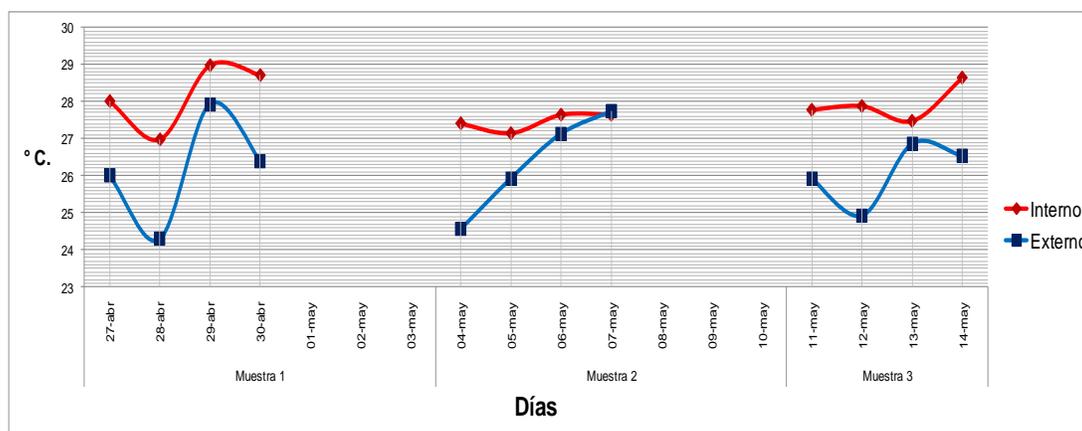
- Existió diferencia entre el porcentaje de humedad relativa del aire registrada en cada uno de los ambientes, ya que dependiendo la hora del día en que se realizó la medición como se presenta en el cuadro 6, durante la salida y puesta del sol los porcentajes de humedad fueron mayores, esto debido a que a medida que la temperatura del aire es mayor su humedad relativa decae y por tanto puede absorber más humedad, dando como resultado que al calentarse el aire alrededor del producto, se incrementa la velocidad de deshidratación del mismo. (Gutiérrez, 2002).

- Así mismo, se registró una variación de hasta 4% en cuanto al porcentaje de humedad relativa del ambiente interno comparado con el porcentaje de humedad relativa del ambiente externo como se muestra en el cuadro 7, esto concuerda con los resultados encontrados por Fuentes-Salinas, Luna y Osorio (2003), en los que concluyeron que las condiciones ambientales generadas o producidas en el interior del secador solar tipo invernadero son favorables para lograr un secado de los forrajes en menor tiempo y adecuadas para alcanzar un contenido de humedad menor del que es posible alcanzar al aire libre para el mismo lugar y época del año.
- 
- Las mediciones dentro del secador solar mostraron que las fluctuaciones en cuanto al porcentaje de humedad relativa del aire fueron menores que las mediciones del porcentaje de humedad del aire del ambiente externo donde estas alcanzaron una fluctuación de hasta 10%. Estas fluctuaciones son equivalentes con los datos registrados para estas fechas por el INSIVUMEH (2011) debido al irregular ciclo de lluvias del invierno del año 2009 el cual es representado mediante la gráfica 6.

## 5.2 Temperatura ambiente

La temperatura ambiente fue determinada utilizando un termómetro digital, realizando mediciones diarias en horario de 7:00 am, 12:00 pm y 6:00 pm durante cuatro días de acuerdo a lo establecido en el manejo del experimento, obteniendo los siguientes resultados:

**Gráfica 2.** Temperatura promedio diaria en grados centígrados.



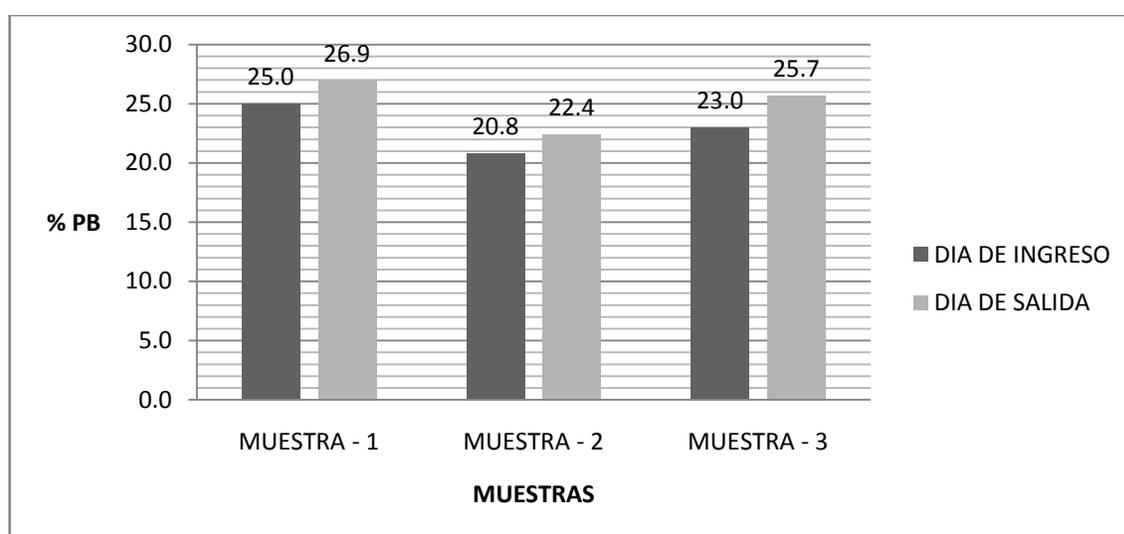
Al analizar los datos obtenidos para la variable temperatura ambiente podemos señalar varios hechos como lo demuestra la gráfica 2:

- Existió diferencia en cuanto a los grados de temperatura registrados en los ambientes dependiendo de la hora del día en que se realizó la medición como se presenta en el cuadro 8, ya que conforme el sol alcanza su máxima posición con referencia a la curvatura de la tierra, la temperatura tanto dentro como fuera del secador solar tipo invernadero asciende, de la misma forma, esta desciende conforme se acerca la puesta del sol debido a la cantidad de radiación solar que ingresa a la tierra. (INSIVUMEH, 2011)
- Se registró diferencia de hasta 3° centígrados entre la temperatura registrada dentro del secador solar tipo invernadero y la registrada fuera de este como se muestra en la gráfica 2, esto debido a que el secador solar tipo invernadero maximiza el calor captado de los rayos solares sobre las muestras, proporcionando condiciones que favorecen el proceso de deshidratación de las mismas como lo demostró en su investigación De la Rosa (1996).
- Dentro del secador solar tipo invernadero la temperatura registrada presentó un menor nivel de fluctuación en comparación con las tomadas fuera del mismo, esto se debe a que el uso de los secadores minimiza las fluctuaciones de temperatura producidas por las condiciones climáticas, manteniendo de esta forma un ambiente dentro del secador solar adecuado para el desarrollo de los procesos de deshidratación. (NAFOSA, 2002) (Gutiérrez, 2002). Estas fluctuaciones son equivalentes a las presentadas en las gráficas 6, 7, 8, 9, 10 y 11, en donde se encuentran los datos meteorológicos registrados por el INSIVUMEH (2011) para los meses de abril y mayo del año 2009, datos en los que se pueden apreciar los diversos factores climáticos que propiciaron estas variaciones de temperatura y humedad relativa tanto fuera del secador solar tipo invernadero como en una menor medida dentro del mismo.

### 5.3 Proteína bruta.

La proteína bruta de las muestras se determinó a través de análisis bromatológicos realizados por el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

**Gráfica 3.** Porcentaje de proteína bruta de las muestras al ingreso y salida del secador solar tipo invernadero.

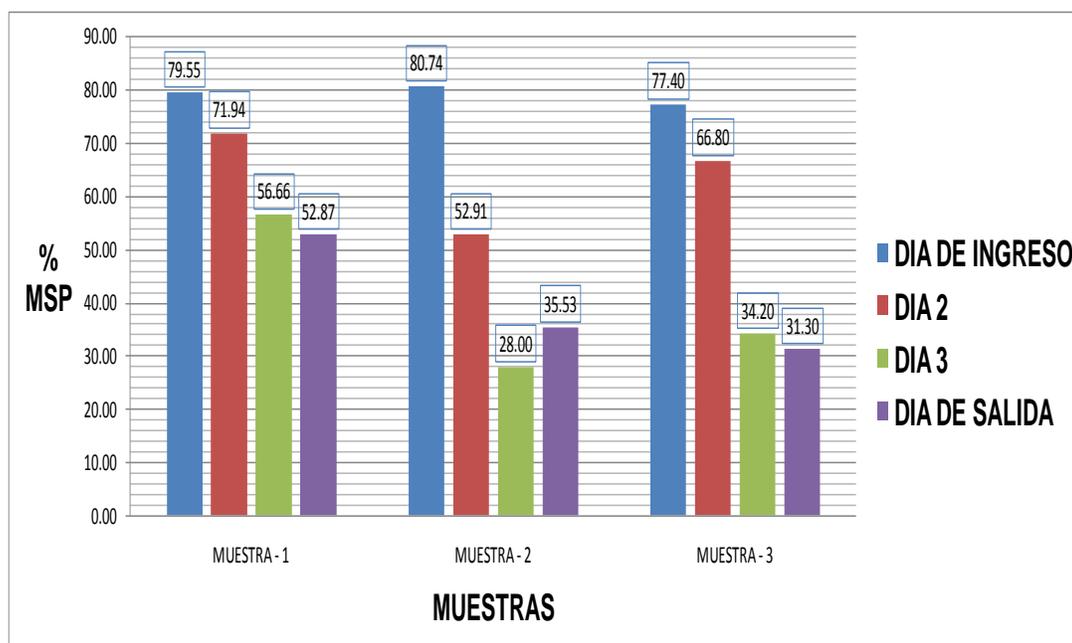


De acuerdo con los resultados obtenidos a través de análisis bromatológicos, se observa en la gráfica 3 un leve incremento en el porcentaje de proteína bruta en promedio de las muestras el cual se debe a la concentración del producto, lo cual es un indicativo que el uso de un secador solar tipo invernadero no afecta la calidad de la alfalfa durante el proceso de deshidratación, y por consiguiente de los forrajes que necesitemos deshidratar con fines de almacenamiento prolongado (Rodenas, 2009), resultados que coinciden con los estudios de Sancho, Rojas y Wing (2007), en el que concluyen que no se presenta variación en los niveles de proteína ya que el proceso de deshidratación minimiza el efecto de pérdida de nutrientes de las hojas y tallos de la planta debido a las pérdidas mecánicas, las cuales son la principal desventaja del secado en campo.

## 5.4 Materia seca parcial

La materia seca parcial de las muestras se determinó a través de análisis bromatológicos realizados por el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

**Gráfica 4.** Porcentaje de materia seca parcial de las muestras.



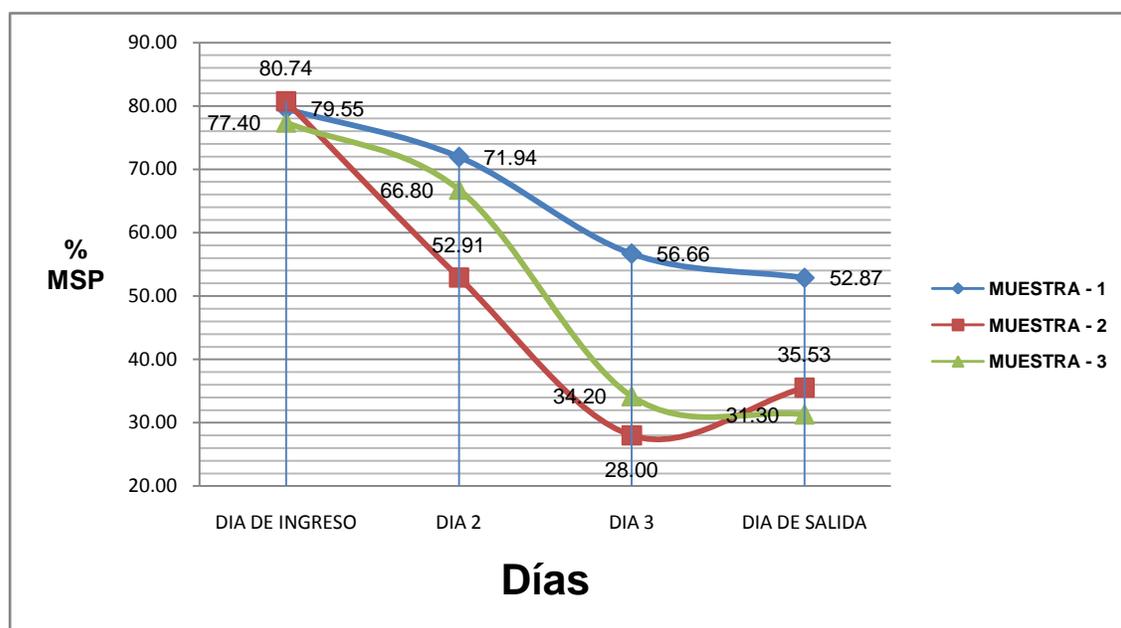
Como se puede apreciar en la gráfica 4 las muestras de alfalfa ingresaron al secador solar tipo invernadero con un promedio de 79 por ciento de materia seca parcial, el cual fue reducido día a día gracias a las condiciones propiciadas por el secador solar, las cuales como se observa dependiendo de las condiciones climáticas fueron disminuyendo a velocidades y ritmos diferentes, un ejemplo de esto es lo sucedido con la muestra número 2, en la que encontramos que de acuerdo con la tabla de precipitaciones pluviales presentadas en la gráfica 6, hasta el día 6 de mayo había alcanzado un porcentaje de materia seca de 28, pero debido al factor clima, específicamente las lluvias acontecidas el día en mención y la escasa insolación diaria registrada como se muestra en la gráfica 7, la muestra por sus características higroscópicas recuperó del aire del ambiente parte del agua que se había logrado extraer elevando su porcentaje a 35.

Por el contrario para la muestra número 3 se logró disminuir el porcentaje de materia seca parcial gracias a que como se observa en las gráficas de la 6 a la 11 presentadas en los anexos, las condiciones climáticas favorecieron el secado de la muestra ya que como se aprecia, el régimen de lluvias fue escaso aunado a la baja nubosidad y alta radiación solar que ingresó a través de la atmosfera terrestre proveniente del sol.

## 5.5 Tiempo de secado

El tiempo de secado se determinó tras analizar los resultados presentados en el cuadro 11, donde se muestran los datos registrados para la variable materia seca parcial.

**Gráfica 5.** Representación gráfica de la curva del porcentaje de materia seca parcial de las muestras



Como podemos observar en la gráfica 5 el tiempo de secado de la alfalfa dentro del secador solar tipo invernadero se vio afectado por los factores climatológicos registrados durante la fase experimental del estudio, los cuales ocasionaron que las muestras presentaran tiempos de secado aleatorios.

El tiempo de secado de la muestra 1 como se puede apreciar en la gráfica 5, se vio alterado por dichos factores, ya que a pesar que durante la semana en que la muestra estuvo dentro del secador solar no se registraron precipitaciones pluviales, los niveles de radiación solar e insolación fueron bastante bajos debido a que durante las fechas en mención los niveles de nubosidad para la ciudad de Guatemala estuvieron entre los más altos reportados para el mes de abril del año 2009 (INSIVUMEH, 2011), ocasionando que la operación de desorción o deshidratación sobre las muestras fuera más lenta.

Así mismo, para la muestra número 2, los factores climáticos adquirieron un papel importante durante esta fase del experimento, ya que como se aprecia en la gráfica 5, propiciaron un efecto positivo sobre la operación de desorción durante los primeros 3 días, logrando la muestra alcanzar un 28% de materia seca parcial, sin embargo, este dato se vio afectado por las lluvias registradas el día 6 de mayo, elevando el porcentaje de la muestra a un 35% al día de su salida del secador.

No siendo así para la muestra número 3, la cual cómo podemos apreciar en la gráfica antes mencionada, registró un descenso continuo en el porcentaje de materia seca parcial desde el día de su ingreso al secador solar hasta el día de su salida, dicho descenso fue debido a que durante los días en que esta muestra se mantuvo dentro del secador solar los niveles de nubosidad y por ende de precipitación pluvial fueron los más bajos registrados para el mes de mayo del año 2009, por el contrario, los niveles de radiación solar e insolación fueron los más altos alcanzados para la ciudad capital (INSIVUMEH, 2011), favoreciendo así la deshidratación de la muestra.

Al analizar los resultados de las muestras evaluadas podemos señalar que bajo las condiciones en que se realizó el presente experimento se demostró que el secador solar tipo invernadero provee las condiciones adecuadas para favorecer el proceso de deshidratación de forrajes como lo demostraron Jahn, Aviles y Barrales (2003) y Gutiérrez (2002), maximizando la operación de desorción, aunque de acuerdo con el objetivo del presente

experimento, estas condiciones no fueron suficientes debido a que el tiempo de secado se vió claramente afectado por las condiciones climatológicas, las cuales no permitieron que se lograra alcanzar el 15% de materia seca parcial de las muestras, porcentaje necesario o idoneo para que la calidad de la muestra sea certificada como alfalfa deshidratada según las normas establecidas por la Union Europea (AEFA, 2002).

## **5.6 Determinación de costos**

Al finalizar el experimento se determinaron los costos incurridos para la elaboración del secador solar tipo invernadero, los cuales se encuentran detallados en el cuadro 12.

## **VI. CONCLUSIONES**

Bajo las condiciones del estudio se concluye lo siguiente:

1. El secador solar tipo invernadero alcanza en su interior niveles de temperatura y humedad relativa mayores que los conseguidos fuera de él, favoreciendo el proceso de deshidratación del forraje.
2. El uso de secadores solares tipo invernadero no afecta el porcentaje de proteína bruta de las muestras.
3. El uso de secadores solares tipo invernadero, a pesar de favorecer la operación de desorción no es capaz de producir alfalfa deshidratada.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Bajo las condiciones en que se desarrolló el presente estudio se recomienda:

1. Fomentar la investigación de métodos de deshidratación de forrajes en diferentes zonas geográficas a fin de recopilar información acerca del efecto climático de los mismos sobre los forrajes.
2. Incentivar la investigación de métodos alternativos de deshidratación de forrajes.
3. Realizar investigaciones posteriores para determinar el tiempo exacto para alcanzar los niveles fisicoquímicos recomendables para optimizar los métodos de conservación de forrajes.

## VIII. RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar el efecto del uso de un secador solar tipo invernadero para la deshidratación de alfalfa (*Medicago sativa* L. var Zaino), las variables evaluadas fueron la humedad relativa y temperatura dentro y fuera del secador solar, los porcentajes de proteína bruta y materia seca parcial. El tamaño de partícula de la alfalfa fue reducido manualmente previo a su ingreso al secador solar donde permaneció durante 4 días para su estudio. Se le realizó a la muestra 2 exámenes bromatológicos completos, el primero antes de ser ingresada la muestra al secador y la segunda al salir de él. La temperatura, humedad relativa y el contenido de materia seca parcial de la muestra fueron evaluadas diariamente. El secador solar tipo invernadero a pesar de alcanzar en su interior niveles de temperatura y humedad mayores a los alcanzados fuera del mismo, no es capaz de producir alfalfa deshidratada, debido a los factores climáticos que afectaron el área de la ciudad de Guatemala, durante el período de evaluación.

## **IX. ABSTRACT**

The aim of this study was to determine the effect of using a greenhouse solar dryer for drying of alfalfa (*Medicago sativa L. var Zaino*), the variables studied were temperature and relative humidity inside and outside the solar dryer, the percentages of protein gross and partial dry matter. The particle size of alfalfa was manually reduced prior to entering the solar dryer where it remained for 4 days to study. He underwent tests on sample 2 bromatological complete test, the first before the sample entered the dryer and the second when sample out of it. The temperature, relative humidity and dry matter content of the sample were partially evaluated daily. The greenhouse solar dryer despite reaching inside temperature and humidity levels higher than those achieved outside it, is not capable of producing dehydrated alfalfa, due to climatic factors that affected the area of Guatemala city, during the evaluation period.

## X. BIBLIOGRAFÍA

1. AEFA (Asociación Española de Fabricantes de Alfalfa deshidratada). Leyes y normas del sector / Norma UNE 34602:2002. 2002.(en línea). San Juan de Mazarrifar, ES. Consultado 25 abr 2011. Disponible en <http://www.aefa-d.com/Une34602DEF.htm>
2. Agroactual. 1995. Conservación del forraje de alfalfa (en línea). Consultado 25 ago. 2008. Disponible en [http://agroactual.com.ar/index.php?option=com\\_content&task=view&id=8982&Itemid=64](http://agroactual.com.ar/index.php?option=com_content&task=view&id=8982&Itemid=64)
3. Cruz S, JR. de la. 1988. Clasificación de Zonas de Vida de Guatemala Nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p
4. De la Rosa, V. 1996. Deshidratación de la fauna de acompañamiento utilizando un secador solar. Tesis Lic. Zoot. Guatemala, GT. USAC-FMVZ. 46p.
5. Díaz. R. 1995. Uso del secador solar en la deshidratación de cebolla (en línea). Consultado 11 jun. 2008. Disponible en <http://www.ceniap.gov.ve/pbd/RevistasTecnicas/FonaiapDivulga/fd50/solar.htm>
6. FAO (Food and Agricultural Organization, IT.). 1998. Alcances y principios técnicos del secado (en línea) Consultado 20 ago. 2008. Disponible en: [http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/new\\_else/x5694s/x5694s02.htm](http://www.fao.org/inpho/content/documents/vlibrary/new_else/x5694s/x5694s02.htm)
7. Fuentes-Salinas, M.; Luna Sánchez, D.; Osorio Suárez, J. Construcción y validación de un secador solar para madera aserrada. (en línea). Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente 2003, vol. 9 consultado 25 mayo 2011. Disponible en <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/629/62913142010.pdf>

8. Gutiérrez, G. 2002. Evaluación del potencial de las energías pasivas para el secado de ropa. México. Universidad de Colima. (en línea). Consultado 12 ago. 2008. Disponible en [digeset.ucol.mx/tesis\\_posgrado/Pdf/Guadalupe%20Gutierrez%20Santana.pdf](http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Guadalupe%20Gutierrez%20Santana.pdf) –
9. Hogares Juveniles Campesinos, Co. 2004. Manual Agropecuario. Primera edición. Bogotá, Colombia. Biblioteca del Campo. 1191p.
10. INFOAGRO (Centro de información del agro, GT.). 2007. El cultivo de la alfalfa (en línea). Consultado 09 jun. 2008. Disponible en: <http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/alfalfa.htm>
11. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología). Parámetros meteorológicos. (en línea). Guatemala, GT. Consultado 20 mayo de 2011. Disponible en <http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/ESTACIONES/GUATEMALA/INSIVUMEH%20PARAMETROS.htm>
12. Jahn B., Aviles R. y Barrales L. 2003. Velocidad de secado de alfalfa bajo diferentes condiciones de secado artificial. (en línea). Consultado 20 mar 2011. Disponible en <http://www.bioline.org.br/pdf?at04017>
13. Juan, N., Bruno, O., y Romero, L. 1995. Conservación del forraje de alfalfa. (en línea). Consultado 20 mar 2011. Disponible en [http://www.produccionbovina.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_reservas/reservas\\_henos/05-conservacion\\_alfalfa.pdf](http://www.produccionbovina.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_henos/05-conservacion_alfalfa.pdf)
14. Ministerio de trabajo y previsión social. 2010. Salario mínimo. (en línea). GT. Consultado 26 mayo 2011. Disponible en <http://www.mintrabajo.gob.gt/index.php/salario-minimo>
15. Muslera, E., Ratera, C. 1991. Praderas y forrajes: Producción y aprovechamiento. (en línea). Consultado 18 mayo 2011. Disponible en [http://190.254.12.116/biblioteca/index.php?p=show\\_detail&id=2754](http://190.254.12.116/biblioteca/index.php?p=show_detail&id=2754)

16. NAFOSA (Navarro-Aragones de Forrajes, S.A.). España. 2002. Alfalfa deshidratada (en línea). Consultado 23 jun. 2008. Disponible en <http://www.nafosa.net/productos/caracteristicas.htm#DESHIDRATADA>
17. Rodenas, M. 2009. Conservación de forrajes. (entrevista) Guatemala, GT. Laboratorio de bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
18. Sánchez, L. 2005. Estrategias modernas para la conservación de forrajes en sistemas de producción bovina tropical. (en línea). Consultado 18 mayo 2011. Disponible en [http://www.corpoica.org.co/sitioweb/Archivos/Revista/8\\_EstrategiasMod\\_pp.PDF](http://www.corpoica.org.co/sitioweb/Archivos/Revista/8_EstrategiasMod_pp.PDF)
19. Sancho A., Rojas A. y Wing R. 2007. Valor nutritivo del heno de maní forrajero deshidratado en un secador solar. (en línea). Consultado 20 mar 2011. Disponible en [http://www.vinv.ucr.ac.cr/latindex/agrocostar-31-2/v31n02\\_079.pdf](http://www.vinv.ucr.ac.cr/latindex/agrocostar-31-2/v31n02_079.pdf).

# **XI. ANEXOS.**

**Cuadro 6.** Porcentaje de humedad relativa del aire promedio para el ambiente interno y externo del secador solar tipo invernadero según hora de medición.

<b>Muestra 1</b>	<b>Hora</b>	<b>Día 1 (27 abril)</b>		<b>Día 2 (28 abril)</b>		<b>Día 3 (29 abril)</b>		<b>Día 4 (30 abril)</b>		<b>Promedio según hora de medición</b>	
		INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO
	07:00 am	66	62	69	59	72	66	60	54	<b>67</b>	<b>60</b>
	12:00 pm	55	42	51	50	32	25	34	31	<b>43</b>	<b>37</b>
	06:00 pm	47	54	55	57	50	59	52	51	<b>51</b>	<b>55</b>
<b>Muestra 2</b>	<b>Hora</b>	<b>Día 1 (4 mayo)</b>		<b>Día 2 (5 mayo)</b>		<b>Día 3 (6 mayo)</b>		<b>Día 4 (7 mayo)</b>		<b>Promedio según hora de medición</b>	
		INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO
	07:00 am	72	79	66	70	71	62	66	65	<b>69</b>	<b>69</b>
	12:00 pm	44	43	43	39	43	42	44	36	<b>44</b>	<b>40</b>
	06:00 pm	57	50	63	54	57	50	59	58	<b>59</b>	<b>53</b>
<b>Muestra 3</b>	<b>Hora</b>	<b>Día 1 (11 mayo)</b>		<b>Día 2 (12 mayo)</b>		<b>Día 3 (13 mayo)</b>		<b>Día 4 (14 mayo)</b>		<b>Promedio según hora de medición</b>	
		INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO
	07:00 am	73	69	68	62	73	66	72	68	<b>72</b>	<b>66</b>
	12:00 pm	47	41	46	39	44	36	44	43	<b>45</b>	<b>40</b>
	06:00 pm	56	63	61	57	59	60	63	59	<b>60</b>	<b>60</b>

**Cuadro 7.** Porcentaje promedio diario de humedad relativa del aire para el ambiente interno y externo del secador solar tipo invernadero.

<b>Muestra 1</b>	<b>Día 1</b> (27 abril)		<b>Día 2</b> (28 abril)		<b>Día 3</b> (29 abril)		<b>Día 4</b> (30 abril)		<b>Promedio total</b> durante el experimento	
	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO
	56	53	58	55	51	50	49	45	<b>54</b>	<b>51</b>
<b>Muestra 2</b>	<b>Día 1</b> (4 mayo)		<b>Día 2</b> (5 mayo)		<b>Día 3</b> (6 mayo)		<b>Día 4</b> (7 mayo)		<b>Promedio total</b> durante el experimento	
	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO
	58	57	57	54	57	51	56	53	<b>57</b>	<b>54</b>
<b>Muestra 3</b>	<b>Día 1</b> (11 mayo)		<b>Día 2</b> (12 mayo)		<b>Día 3</b> (13 mayo)		<b>Día 4</b> (14 mayo)		<b>Promedio total</b> durante el experimento	
	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO
	59	58	58	53	59	54	60	57	<b>59</b>	<b>55</b>

**Cuadro 8.** Temperatura ambiente en grados centígrados.

<b>Muestra 1</b>	<b>Hora</b>	<b>Día 1 (27 abril)</b>		<b>Día 2 (28 abril)</b>		<b>Día 3 (29 abril)</b>		<b>Día 4 (30 abril)</b>		<b>Promedio según hora de medición</b>	
		INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO
	07:00 am	23.5	24.1	24.4	22.3	22.8	21.1	24.7	24.2	<b>23.9</b>	<b>22.9</b>
	12:00 pm	35.3	31.5	32.8	27.2	39.8	40.5	37.0	33.7	<b>36.2</b>	<b>33.2</b>
	06:00 pm	25.2	22.4	23.7	23.4	24.3	22.2	24.4	21.3	<b>24.4</b>	<b>22.3</b>
<b>Muestra 2</b>	<b>Hora</b>	<b>Día 1 (4 mayo)</b>		<b>Día 2 (5 mayo)</b>		<b>Día 3 (6 mayo)</b>		<b>Día 4 (7 mayo)</b>		<b>Promedio según hora de medición</b>	
		INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO
	07:00 am	23.5	18.0	24.0	21.2	23.3	23.1	22.8	21.7	<b>23.4</b>	<b>21.0</b>
	12:00 pm	34.5	30.8	34.9	33.5	36.4	35.2	37.8	36.4	<b>35.9</b>	<b>34.0</b>
	06:00 pm	24.2	24.9	22.5	23.1	23.2	23.1	22.3	25.1	<b>23.1</b>	<b>24.1</b>
<b>Muestra 3</b>	<b>Hora</b>	<b>Día 1 (11 mayo)</b>		<b>Día 2 (12 mayo)</b>		<b>Día 3 (13 mayo)</b>		<b>Día 4 (14 mayo)</b>		<b>Promedio según hora de medición</b>	
		INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO	INTERNO	EXTERNO
	07:00 am	19.9	20.8	20.4	18.7	19.6	19.8	21.7	22.4	<b>20.4</b>	<b>20.4</b>
	12:00 pm	42.5	33.8	41.8	33.2	43.2	35.1	43.7	31.0	<b>42.8</b>	<b>33.3</b>
	06:00 pm	20.9	23.2	21.4	22.9	19.6	25.7	20.5	26.2	<b>20.6</b>	<b>24.5</b>

**Cuadro 9.** Temperatura promedio diaria en grados centígrados.

<b>Muestra 1</b>	<b>Día 1</b> (27 abril)		<b>Día 2</b> (28 abril)		<b>Día 3</b> (29 abril)		<b>Día 4</b> (30 abril)		<b>Promedio total</b> durante el experimento	
	<b>INTERNO</b>	<b>EXTERNO</b>	<b>INTERNO</b>	<b>EXTERNO</b>	<b>INTERNO</b>	<b>EXTERNO</b>	<b>INTERNO</b>	<b>EXTERNO</b>	<b>INTERNO</b>	<b>EXTERNO</b>
	28.0	26.0	27.0	24.3	29.0	27.9	28.7	26.4	28.2	26.2
<b>Muestra 2</b>	<b>Día 1</b> (4 mayo)		<b>Día 2</b> (5 mayo)		<b>Día 3</b> (6 mayo)		<b>Día 4</b> (7 mayo)		<b>Promedio total</b> durante el experimento	
	<b>INTERNO</b>	<b>EXTERNO</b>	<b>INTERNO</b>	<b>EXTERNO</b>	<b>INTERNO</b>	<b>EXTERNO</b>	<b>INTERNO</b>	<b>EXTERNO</b>	<b>INTERNO</b>	<b>EXTERNO</b>
	27.4	24.6	27.1	25.9	27.6	27.1	27.6	27.7	27.5	26.3
<b>Muestra 3</b>	<b>Día 1</b> (11 mayo)		<b>Día 2</b> (12 mayo)		<b>Día 3</b> (13 mayo)		<b>Día 4</b> (14 mayo)		<b>Promedio total</b> durante el experimento	
	<b>INTERNO</b>	<b>EXTERNO</b>	<b>INTERNO</b>	<b>EXTERNO</b>	<b>INTERNO</b>	<b>EXTERNO</b>	<b>INTERNO</b>	<b>EXTERNO</b>	<b>INTERNO</b>	<b>EXTERNO</b>
	27.8	25.9	27.9	24.9	27.5	26.9	28.6	26.5	27.9	26.1

**Cuadro 10.** Porcentaje de proteína bruta de las muestras.

	<b>Día de ingreso</b>	<b>Día de salida</b>	
<b>Muestra 1</b>	<b>27 abril</b>	<b>30 abril</b>	<b>Diferencia</b>
	25,0	26,9	1,9
<b>Muestra 2</b>	<b>4 mayo</b>	<b>7 mayo</b>	<b>Diferencia</b>
	20,8	22,4	1,6
<b>Muestra 3</b>	<b>11 mayo</b>	<b>14 mayo</b>	<b>Diferencia</b>
	23,0	25,7	2,7

**Cuadro 11.** Porcentaje de materia seca parcial de las muestras.

	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 3</b>	<b>Día 4</b>	
<b>Muestra 1</b>	(27 abril)	(28 abril)	(29 abril)	(30 abril)	<b>Diferencia</b>
	79,55	71,94	56,66	52,87	26,68
<b>Muestra 2</b>	(4 mayo)	(5 mayo)	(6 mayo)	(7 mayo)	<b>Diferencia</b>
	80,74	52,91	28,00	35,53	45,21
<b>Muestra 3</b>	(11 mayo)	(12 mayo)	(13 mayo)	(14 mayo)	<b>Diferencia</b>
	77,40	66,80	34,20	31,30	46,10

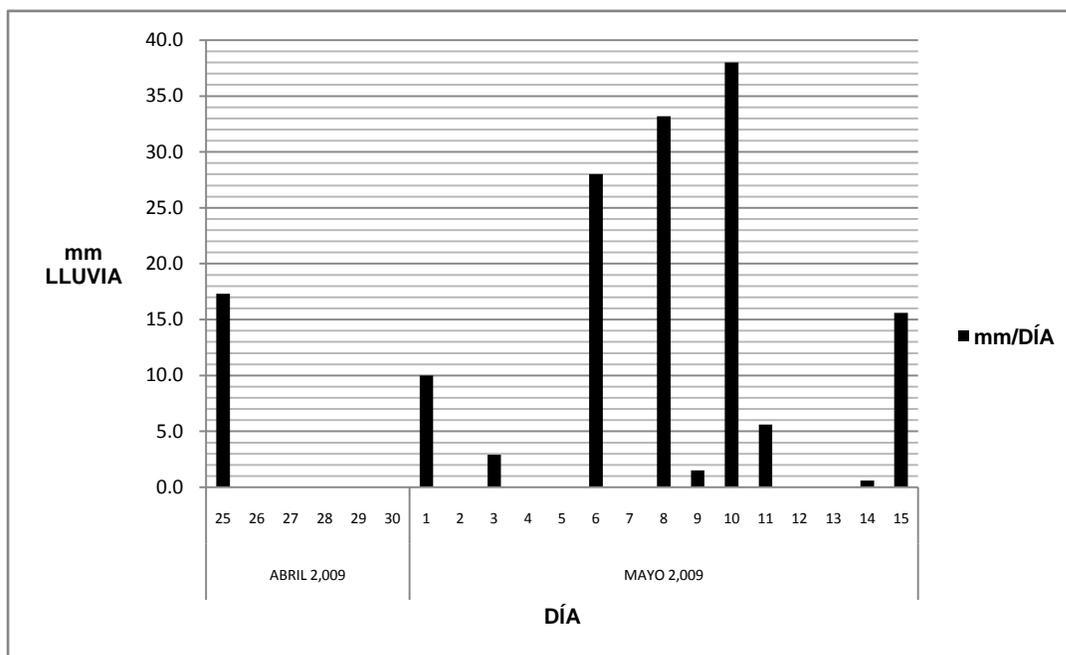
**Cuadro 12.** Costos incurridos para la elaboración de un secador solar tipo invernadero

<b>Insumo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (Q.)</b>	<b>Total (Q.)</b>
Polietileno negro (yarda)	10	14.00	140.00
Pilares de bambú (unidad)	6	95.00	570.00
Clavos de acero (libra)	1	15.00	15.00
Alambre de amarre (libra)	2	8.00	16.00
Bandejas deshidratadoras (unidad)	8	15.00	120.00
Mano de obra (día)*	4	**63.70	254.80
<b>Total</b>			<b>1,115.80</b>

\* Dos personas durante dos días (albañil + ayudante).

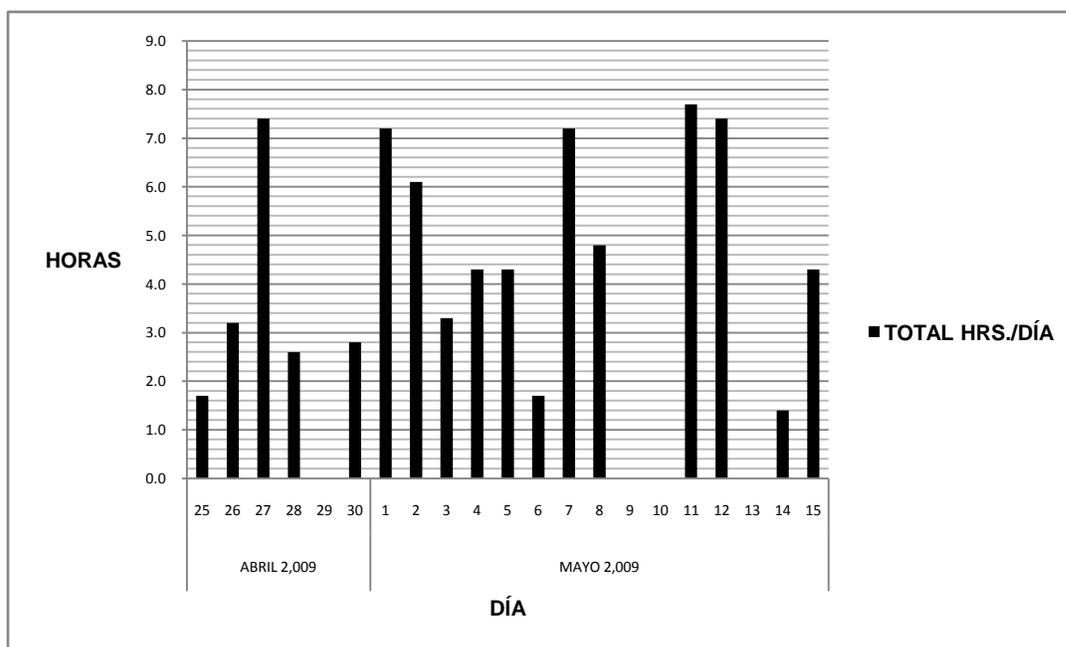
\*\* Con base al salario mínimo establecido por la ley. (Ministerio de trabajo y previsión social, 2010)

**Gráfica 6.** Precipitación pluvial diaria registrada durante el experimento para la ciudad de Guatemala.



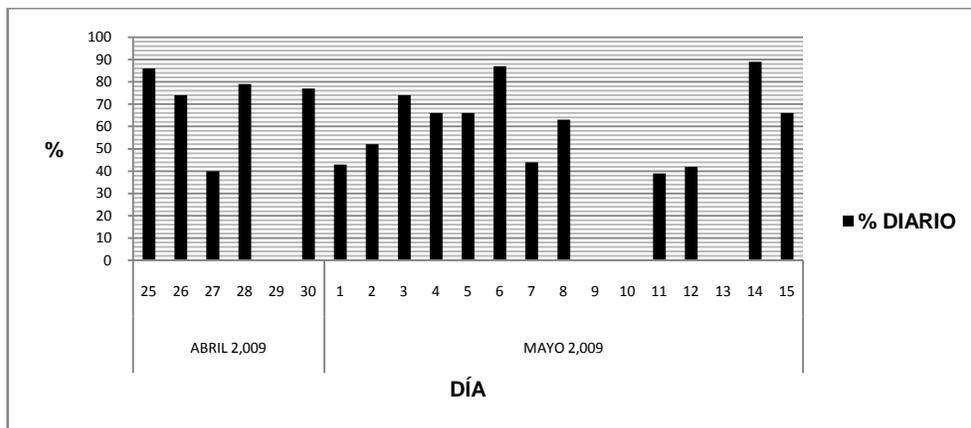
Fuente: INSIVUMEH, 2011

**Gráfica 7.** Insolación diaria en horas por día registrada durante el experimento para la ciudad de Guatemala.



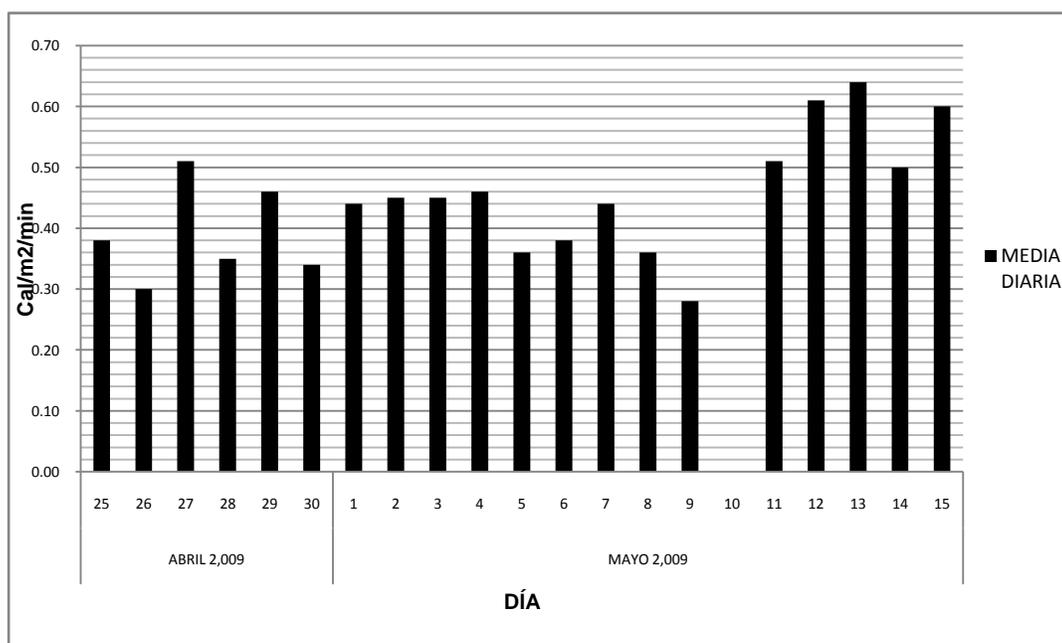
Fuente: INSIVUMEH 2011

**Gráfica 8.** Porcentaje de nubosidad diario registrado durante el experimento para la ciudad de Guatemala.



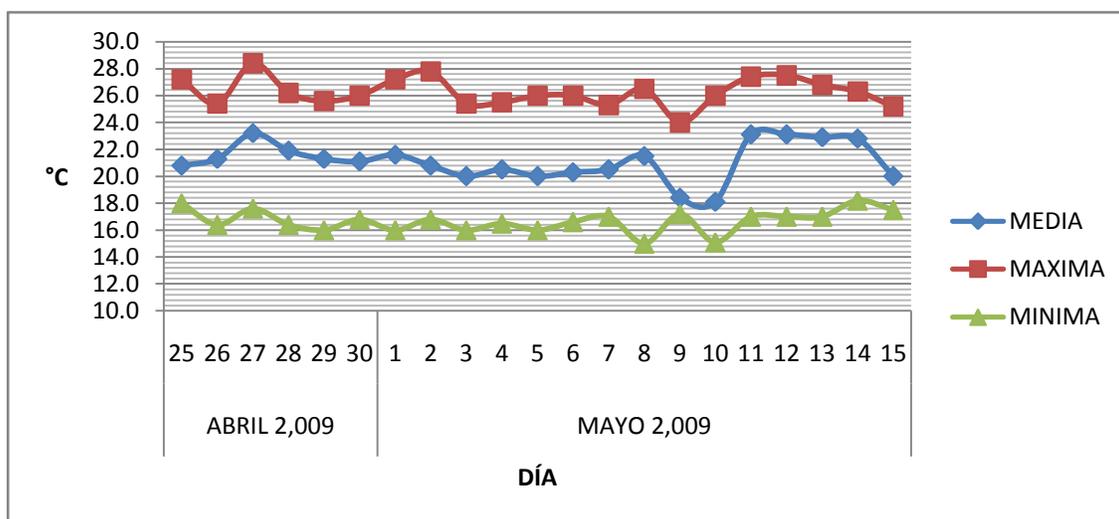
Fuente: INSIVUMEH 2011

**Gráfica 9.** Radiación solar media diaria registrada durante el experimento para la ciudad de Guatemala.



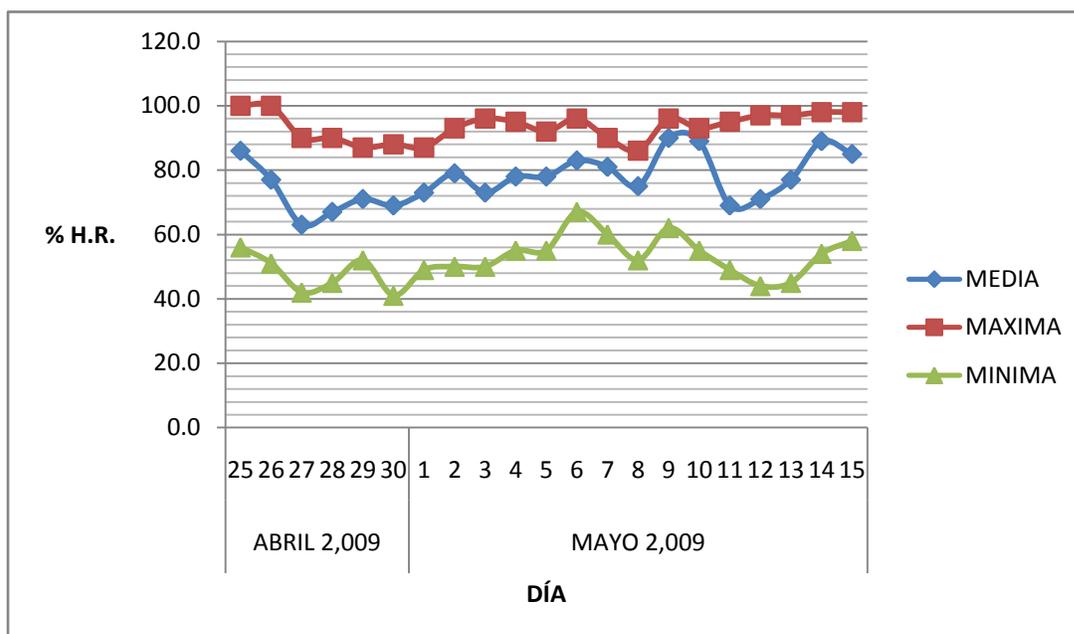
Fuente: INSIVUMEH 2011

**Gráfica 10.** Temperatura diaria registrada durante el experimento para la ciudad de Guatemala.



Fuente: INSIVUMEH 2011

**Gráfica 11.** Porcentaje de humedad relativa diaria registrada durante el experimento para la ciudad de Guatemala.



Fuente: INSIVUMEH 2011