

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/305851625>

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SECADOR SOLAR PARA EL BENEFICIO DE LA VAINILLA.

Conference Paper · August 2016

DOI: 10.13140/RG.2.1.3602.2004

CITATIONS

0

READS

3,199

4 authors, including:



Marina I. García Rosas

Universidad del Caribe (Mexico)

2 PUBLICATIONS 0 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



E. Cerezo

Universidad del Caribe (Mexico)

11 PUBLICATIONS 40 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Juan Barcenas

Universidad del Caribe (Mexico)

21 PUBLICATIONS 23 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



VAINILLA EN QUINTANA ROO [View project](#)



DETECCIÓN DE LUGARES DE APROVECHAMIENTO DE GRADIENTES DE TEMPERATURA CON POTENCIAL ENERGÉTICO DE EXPLOTACIÓN EN MÉXICO, PÁRA DETERMINAR LA FACTIBILIDAD DE CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA TIPO OTEC. [View project](#)

DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SECADOR SOLAR PARA EL BENEFICIO DE LA VAINILLA.

Aldo H. Santamaría Pérez,

Marina I. García Rosas, Estela Cerezo Acebedo, Juan F. Barcenás Graniel.

Departamento de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad del Caribe.

SM. 78, Mza. 1, Lte. 1, Esq. Fracc. Tabachines S/N. Cancún Q Roo, México. C.P. 77528

Tel: 01 (998) 8 81 44 00 Ext. 258. aldo_22@msn.com, mgrosas@ucaribe.edu.mx, jbarcenas@ucaribe.edu.mx

RESUMEN.

En Quintana Roo, gracias a su selva tropical y clima cálido húmedo, se han desarrollado plantaciones de vainilla (*vanilla planifolia Andrews*) y es considerada como un nicho de oportunidades para los productores. Un área mejorable es darle valor agregado al producto verde por medio del *curado al Sol*. Aplicar adecuadamente este proceso influye en la calidad final del producto. El objetivo fue diseñar un prototipo de secador solar indirecto, adecuado a las necesidades del *Sistema Producto Vainilla*¹ A.C. de Quintana Roo y obtener un producto de fácil conservación y calidad estandarizada. La metodología utilizada para obtener los criterios de diseño, fue: recopilación de información del *proceso tradicional* con los productores y revisión de bibliografía especializada; obtención de curvas de secado de la vaina, una experimental con horno eléctrico a una temperatura de $60^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$., otra teórica para 180 días. Y finalmente el dimensionamiento del prototipo a partir de un modelo a escala con el cual se generó un modelo matemático. Los resultados obtenidos son los criterios de diseño de un secador solar comunal para los vainilleros. Se trabajó con vainas obtenidas en El Ramonal, Quintana Roo ribera del Río Hondo.

Palabras Clave: Beneficio de la vainilla, secador solar, curva de secado, sistema producto.



Figura 1. Plantación de vainilla. Nuevo Becar, Quintana Roo.

ABSTRACT.

In Quintana Roo, thanks to its rainforest and its hot and humid climate, have developed plantations vanilla (*vanilla planifolia Andrews*) and is considered a niche opportunities for producers. One area for improvement is to give added value to the product through the green cured in the sun. Apply properly this process influences the final product quality. The objective was to design a prototype solar dryer indirect suited to the needs of Vanilla A.C. Product System Quintana Roo and obtain a product of standardized quality and easy maintenance. The methodology used to take the design criteria was; process of information gathering with traditional producers, literature and dimensioning of the prototype from a scale model which was generated with a mathematical model, curves drying of the pod, an experimental electric furnace at a temperature of $60^{\circ}\text{C} \pm 4^{\circ}\text{C}$. Another theory for 180 days. The results are the criteria for designing a solar dryer for communal vainilleros. We worked with pods obtained in El Ramonal Quintana Roo Ribiera Rio Hondo. Keyword: Benefit vanilla, solar dryer, drying curve, system product.

ANTECEDENTES

La vainilla es una orquídea trepadora del trópico, existen cincuenta especies descritas pero solo tres se explotan comercialmente: *Vanilla planifolia*, *V. pompona* y *V. tahitensis*. La *V. planifolia* es por mucho la más comercial y es originaria del Sureste de México. Actualmente el máximo productor es Madagascar. Las características de sabor y aroma de las vainillas es resultado de los cambios dentro de la vaina durante el *proceso de curado* que consiste en cuatro pasos: *Escaldado*, *sudado*, *secado* y *acondicionamiento*¹. El primer paso consigue parar la maduración de la vaina y permite la activación enzimática. El sudado es una deshidratación rápida que no permite las fermentaciones nocivas, dura algunas semanas por dos horas día de aseado. El tercer paso, consiste en deshidratar muy lentamente solo por algunas horas al día con una temperatura de 45 a 50°C, hasta que las vainas alcanzan alrededor de un tercio o cuarta parte de su peso inicial, este paso dura dos meses o un poco más. *Un secado muy prolongado o muy rápido reduce la calidad del sabor y su valor comercial*. El secado puede hacerse al horno y tiene ventajas con respecto al proceso de secado directo al sol. Estas ventajas son: ocupan menor espacio al estar en charolas superpuestas; requieren menor trabajo de manipulación; disminuye el tiempo de sudado, reduciendo las posibilidades de contraer moho. La calidad del curado al horno es comparable con el curado al sol (Childers, 1959). El acondicionamiento es manipular la vaina y seleccionar las diferentes calidades de vainilla que luego serán guardadas por algunos meses para que terminen de desarrollar sus características aromáticas y de sabor. Ya guardadas se conservan por tiempo indefinido^{2 3}.

En el estado de Quintana Roo la actividad vainillera ha estado desarrollándose desde principios del año 2000. La vainilla, si es cultivada de forma adecuada y beneficiada con un método

¹ Unión Regional de Productores no Tradicionales SIISBIK. Constituido el 11 de Abril 2006.

estandarizado, puede traer beneficios económicos importantes para los productores. La tecnología utilizada en la región² es el método tradicional tomada de los productores de Papantla Veracruz, llamada *curado al Sol directo*. En México existe un decreto que regula la explotación comercio y beneficio de la vainilla^{iv}.

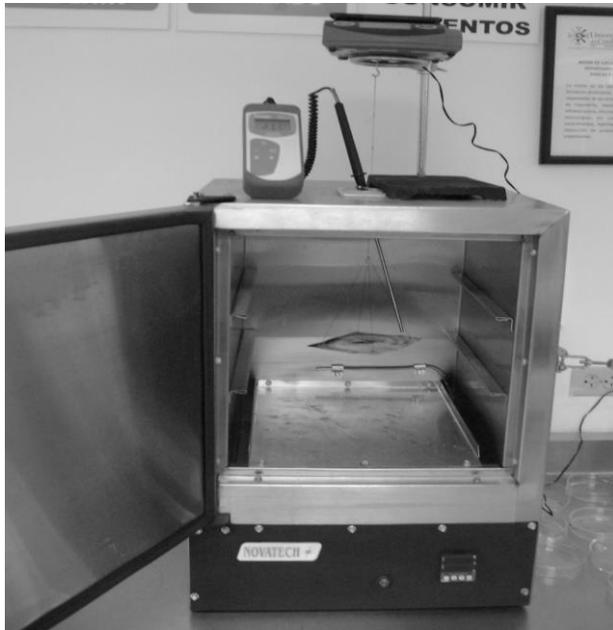


Figura 1. Montaje del aparato.

METODOLOGÍA Y MATERIALES.

1. Visita a las plantaciones de vainilla y recopilación de información de los productores sobre el método tradicional del secado.
2. Revisión bibliográfica.
3. Obtención de la curva de secado teórica a 180 días y experimental de la vainilla en horno a 60°C.
4. Obtención de la velocidad de secado teórica y experimental y cotejarla con la bibliografía.
5. Construcción de un modelo de (0.6 x 0.4 x 0.1) m. de convección natural del colector solar, para efectuar mediciones y conocer sus características de operación.
6. Modelo matemático, temperatura de salida en función del largo del colector.
7. Dimensionamiento del prototipo.

En la visita de campo se obtuvieron datos de primera mano en cuanto al proceso tradicional, los siguientes criterios de diseño son observaciones tomadas del productor de vainilla:

- En un área de 1m² se esparcirá 7 Kg. de vaina verde/m².
- El proceso de deshidratación es de alrededor del 75%.
- La temperatura de secado es de 50°C.
- Los meses de secado son de enero a marzo, para Chetumal Quintana Roo.
- El proceso de curado de la vaina dura aproximadamente 3 meses.

Obtención de las curvas de secado de la vainilla.

El contenido de humedad o la cantidad de agua evaporable que hay en un producto, se expresa en relación a su masa total y a su masa seca^v. El contenido de *humedad en base húmeda* M es:

$$M = \frac{m - m_s}{m} \quad (1)$$

Contenido de *humedad en base seca* x :

$$x = \frac{m - m_s}{m_s} \quad (2)$$

Donde:

m = masa total del producto.

m_s = masa seca del producto.

$m - m_s$ = cantidad de agua del producto.

La *velocidad de secado* (Ec. 3) es la cantidad de agua que se evapora del producto por unidad de área (kg/m²s) está en relación con el contenido de humedad del producto, y la facilidad de extracción de las capas superficiales.

$$v_s = \left(\frac{m_s}{A_e} \right) \left(\frac{\Delta x}{\Delta t} \right) \quad (3)$$

Donde:

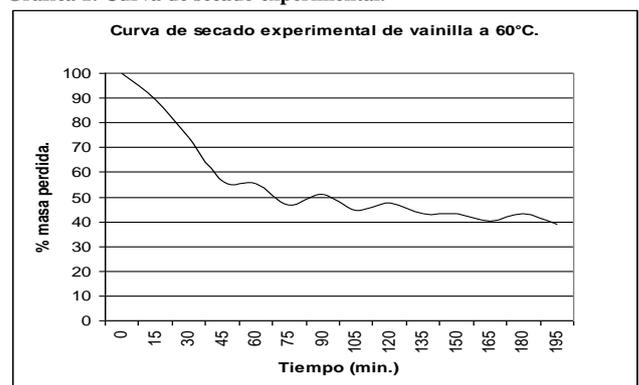
A_e = área efectiva de secado (m²)

$\left(\frac{\Delta x}{\Delta t} \right)$ = variación de la humedad x con respecto al tiempo.

Para la obtención de las curvas de secado experimental se trabajó en laboratorio recreando un proceso de secado parcial con un horno eléctrico. Se caracterizó el horno a una temperatura recomendada^{vi} de 60°C. Obteniendo una temperatura de 60°C.± 4°C. Posteriormente se realizaron las mediciones registrando la temperatura y la masa seca cada 15 minutos. (Gráfica 1) Se utilizaron vainas obtenidas de la plantación El Ramonal, a 45 minutos de la capital de Estado. El montaje del aparato consistió en lo siguiente (Figura 1):

- Horno eléctrico marca NOVATECH modelo HS750D. Temperatura máxima de 220° C.
- Báscula digital, resolución 0.1 gr. Marca OHAUS modelo SCOUT II, con gancho inferior.
- Termómetro digital con termistor marca OAKTON modelo ACORN Series Temp. 4.

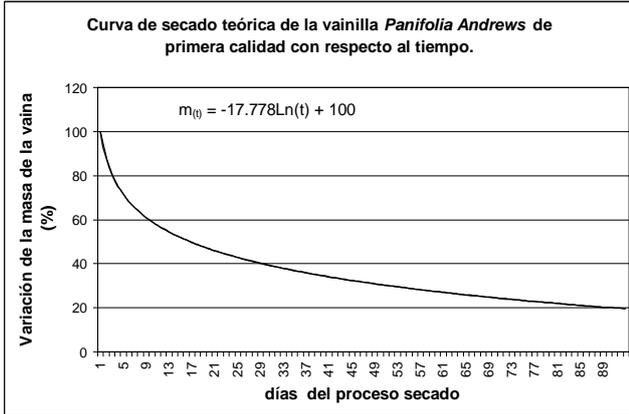
Gráfica 1. Curva de secado experimental.



El proceso de secado tradicional dura aproximadamente 3 meses, un proceso muy largo pero necesario, la masa de agua eliminada es de 70 a 75%, con base en esta información y la curva de laboratorio se obtuvo una curva teórica que nos permitió prever la velocidad de secado a lo largo del proceso.

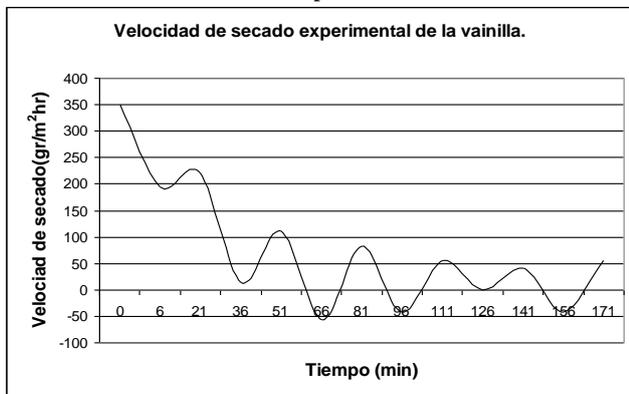
² Algunos productores provienen de vainilleros de Papantla y trajeron consigo sus tradiciones entre estas el cultivo de la orquídea.

Gráfica 2. Curva de secado teórica para la *V. Planifolia*.

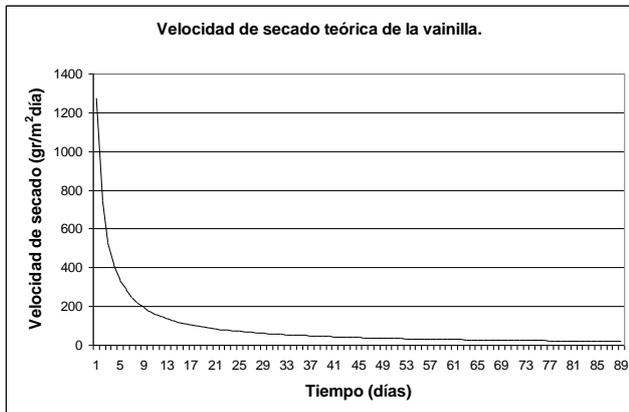


La velocidad inicial de secado fue de 350 gr/m²hr. Empezando a estabilizar a las tres horas, punto en el cual la velocidad bajó a 60 gr./m²hr.

Gráfica 3. Velocidad de secado experimental.



Gráfica 4. Velocidad de secado teórica.



La curva de velocidad de secado teórica muestra un comportamiento similar a las descripciones de Childers, (1959) en la cual las primeras dos semanas se lleva a cabo el proceso de sudado donde se pierde más del 60% de masa en el proceso, como se aprecia en la *gráfica 4* la velocidad en el secado va de 1200 a poco menos de 200 gr./m² día. A partir de este sudado se pasa al secado lento donde la velocidad disminuye considerablemente y es el proceso más largo, que dura aproximadamente dos meses.

Construcción del modelo

El primer paso del diseño del prototipo se enfocó a trabajar en el *calentador de aire o colector solar*, para conocer sus

características termodinámicas con una entrada de 31°C y 60% de humedad relativa, y una salida máxima del aire a 50°C. En la construcción del modelo a escala se utilizó unicel, con interior de cartón color negro y como cubierta policarbonato de 6 mm. Se midió la temperaturas de entrada y salida, la humedad relativa ambiental, teniendo un volumen de control de 15.84 dm³. Se implementaron tres ventanas de (2 x 9) cm. en la parte de enfrente a la altura de la base y tres ventanas en la parte de atrás de las mismas medidas, en la parte superior. El efecto buscado fue tener una convección natural que se incrementa dándole inclinación. De esta forma se podrá diseñar con base al mínimo de velocidad del aire.



Figura 2. Modelo de calentador de aire por convección natural.

Pruebas térmicas con el modelo.

Se obtuvieron ocho días de mediciones con 100 vectores de datos. El comportamiento térmico fue constante a partir de las 11 horas solares hasta las tres de la tarde (Tabla 1) Se utilizaron dos termómetros y un termohigrómetro. Los días de medición se escogieron con una velocidad del viento >0.5 m/s. límite recomendado para un efecto convectivo natural^{viii}.

- Termohigrómetro Cole Parmer modelo ES225. Rango de -50 a 70°C. y de 25 a 95% de humedad relativa (HR) Resolución 1.0 °C.
- Termómetro termistor Extech modelo 392085, rango de medición de -50 a 150°C. Resolución 0.1°C. con cubierta protectora contra la radiación directa.
- Anemómetro Extech, modelo 45118, 0.5 to 28m/s.

Tabla 1. Ejemplo de medición de temperatura y humedad ambiental.

Mediciones de temperatura, secador solar. Velocidad del aire >0.5 m/s.						
Nº	L	HR	T ₁	T ₂	ΔT=(T ₂ -T ₁)	f=ΔT/L
	cm	%	°C	°C	°C	°C/cm
0	60	58	32	47.2	15.2	0.253
1	60	56	32	47.9	15.9	0.265
2	60	56	31	41.7	10.7	0.178
3	60	58	31	40.9	9.9	0.165
4	60	54	31	47.9	16.9	0.282
5	60	54	31	48.1	17.1	0.285
6	60	53	32	48.7	16.7	0.278
7	60	52	32	53.2	21.2	0.353
8	60	57	31	42.5	11.5	0.192
9	60	57	31	43.5	12.5	0.208
Promedios	60	55.5	31.4	46.2	14.76	0.246

El modelo matemático del colector.

Se caracterizó el colector y se determinó el factor *f* que tiene un incremento promedio de temperatura del aire de 0.24 °C por cada centímetro de largo (L). Mas el comportamiento no es lineal,

y se propuso un modelo matemático cuadrático (Ec.4), para dimensionar el largo del colector. Para obtener T_1 y f , Se trabajó con los promedios de las mediciones con velocidad de viento >0.5 m/s. La constante C_1 se ajustó por métodos numéricos tomando como base la temperatura de 46°C a una longitud de 60 cm. Las mediciones comenzaron a partir de las 10:00 AM a 13:00 PM. Modelo cuadrático:

$$T_2 = T_1 + 3.88(0.25L)^{0.5} \quad (4)$$

Donde:

L = Longitud del calentador de aire, en cm.

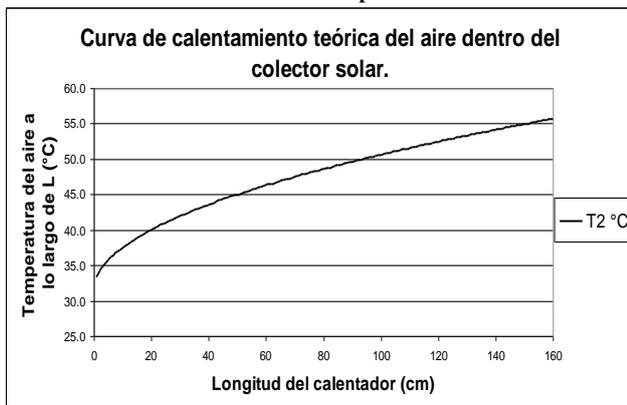
T_1 = Temperatura del aire a la entrada del calentador, en $^\circ\text{C}$.

T_2 = Temperatura del aire a la salida del sistema, en $^\circ\text{C}$.

$f=0.246$ = Factor de incremento en la temperatura del aire a través del sistema, $^\circ\text{C}/\text{cm}$.

$C_1= 3.88$

Gráfica 5. Curva de incremento de temperatura en el colector solar.



Se sustituyó la ecuación 4 en 6 para obtener el calor útil del colector. Los cálculos se efectuaron con las siguientes ecuaciones^{viii}:

$$Q_u = A_c F_R (\tau\alpha) S \quad (5)$$

Q_u =Calor útil (W)

F_R =Factor de remoción de calor.

τ =Trasmittancia solar.

α =Absortancia solar.

S =Radiación total absorbida por unidad de área.

Donde:

$$F_R = \frac{MC_p (T_{fo} - T_{fi})}{A_c [S - U_L (T_{fi} - T_a)]} \quad (6)$$

M = Flujo másico (kg/s)

C_p =Calor específico del aire a 300K (J/kg $^\circ\text{C}$)

$T_{fo}=T_2$ = Temperatura del aire a la salida del colector ($^\circ\text{C}$)

$T_{fi}=T_1$ =Temperatura del aire a la entrada del colector ($^\circ\text{C}$)

U_L =Coeficiente global de pérdidas (W/ $^\circ\text{C}$)

T_a =Temperatura ambiental ($^\circ\text{C}$)

A_c = Área de captación del colector (m^2)

Dimencionamiento del prototipo.

Resolviendo la ecuación (4) para una velocidad de entrada del aire de 0.5 m/s, radiación total absorbida promedio de $700\text{W}/\text{m}^2$, un coeficiente total de pérdidas de $20\text{W}/\text{m}^2\text{C}$, trasmittancia solar de 0.75 y absortancia solar de 0.92, se obtuvo que para tener una temperatura del aire a la salida de 55°C ., y una temperatura de entrada de 30°C ., se requiere una longitud de colector de 1.5 m. El

calor útil calculado para esas condiciones fue de 187 kW-h. (Tabla 2)

Tabla 2. Ejemplo de cálculos para dimensionar el prototipo.

CÁLCULO DEL FACTOR DE REMOSIÓN Y CALOR ÚTIL DEL COLECTOR			
Variable o constante	Simb	Unidad	valor
Largo del colector	L	M	1.5
Ancho del colector	a	M	0.4
Área del colector	A_c	m^2	0.6
Longitud abertura	L_a	M	0.09
Altura abertura	h_a	M	0.02
Número de aberturas	N_a	Adim	3
Área entrada de aire	A_e	m^2	0.0054
Velocidad del aire	v	m/s	0.5
Flujo volumétrico	V	m^3/s	0.0027
Densidad aire (300K)	ρ_{aire}	kg/m^3	1.1774
Flujo másico	M	kg/s	0.00318
Calor específico aire	$C_{p \text{ aire}}$	$\text{J}/\text{kg}^\circ\text{C}$	1005.7
Coef. Total de pérdida	U_L	$\text{W}/\text{m}^2\text{C}$	20
Temperatura entrada	T_{fi}	$^\circ\text{C}$	30
Temperatura salida	T_{fo}	$^\circ\text{C}$	53.57
Temperatura ambiental	T_a	$^\circ\text{C}$	30
Radiación absorbida	S	W/m^2	700
Factor de remoción de calor del colector	F_R	Adim.	0.18
Trasmittancia	τ	Adim.	0.75
Absortancia	α	Adim.	0.92
Largo del colector	L	cm.	150
Calor útil	Q_u	W	52.0

En conjunto con la tabla psicrométrica (Anexo 1) se describió el proceso de secado para la temperatura máxima promedio de Chetumal en los meses de enero a marzo,³ y se tomó 30°C ., como temperatura de diseño. La humedad relativa media para el cálculo fue de 70% y la temperatura en la salida de la cabina de secado se supuso a 35°C ., con lo cual se calculó que la humedad absoluta que tienen los 11.44 Kg./h de aire que atraviesan el sistema es de [0.09 kg. de vapor de agua / Kg. de aire seco] [1.03 kg. de vapor de agua] para evaporar tal cantidad de agua se requiere de [27.5 kJ / Kg. de aire seco] en términos de calor 314 kW-h. Estos datos proporcionaron bajo las condiciones de operación anteriores, el desempeño teórico de este prototipo en una hora. Si consideramos el primer día de secado teórico, tiene una velocidad de $1.2\text{kg}/\text{m}^2\text{día}$ (Gráfica 4) teniendo en cuenta que la exposición tradicional es de dos horas al día. El prototipo se diseñó con una capacidad de carga de 50 kg., de vaina verde, siete charolas con un, área de secado efectiva de 14m^2 . Lo cual al principio de sudado según la curva de velocidad teórica se aportaría al sistema alrededor de 15 kg de vapor de agua. El colector diseñado no aporta el suficiente calor pero poniendo tres colectores de las mismas medidas trabajando por cinco horas al día, se tendría que podrían desplazar los 15 kg. Para las posteriores etapas los colectores al ser modulares se pueden desmontar e incluirán reguladores manuales de flujo. Para aumentar el flujo se implementará una chimenea para forzar de forma controlada el flujo a través del gabinete, para evitar condensaciones.

RESULTADOS.

- La metodología de diseño permitió obtener las dimensiones del prototipo, quedando con una capacidad

³ Normales climatológicas por Estado, para el periodo (1951 - 1980) Servicio Metereológico Nacional, 2008.

de carga inicial en el gabinete de 50 kg. Dispuestos en 7 charolas. Para calentar el aire tres colectores cada uno de 1.5 m. de largo, por 40 cm., de ancho y 10 cm., de altura. Con un área de entrada de aire de 54 cm². cada colector, y un área de captación solar total de 1.8 m². La orientación de los colectores será al sur con una inclinación de 30° con la horizontal.

- Las dimensiones del gabinete serán de un metro por un metro y 70 cm., de alto, en la parte superior se colocará una chimenea en lámina color negro.
- El gabinete se diseñó de madera de la región sellada en sus juntas, con puerta abatible con sello hermético y una pared lateral con siete mirillas de vidrio de 6 mm. para observación del proceso.
- El prototipo al calcularse para convección natural a una velocidad del aire castigada a $v=0.5$ m/s, quedará sobredimensionado en la operación cotidiana al incrementarse el factor de remoción de calor F_R .
- Se obtuvo una curva experimental y otra teórica del secado de la vaina y su velocidad con los datos proporcionados por los productores y la bibliografía. Esta curva correspondió cualitativamente a las descripciones de Childers *et al* (1959)
- El modelo matemático permitió obtener una hoja de cálculo para dimensionar estos colectores.
- El secador se podrá utilizar con otros productos fuera de la temporada de beneficiado de la vainilla, obteniendo beneficios extras a lo largo del año, como el secado de chile (cambiando las charolas) el mango, el plátano, etc.

CONCLUSIONES.

- La vainilla mexicana y el proceso de curado por el cual obtiene todos esos atributos organolépticos tan apreciados en el mundo, tiene una complejidad y una mística que el productor guarda celosamente. La información no fluyó de forma adecuada ya que existen múltiples variaciones en el proceso, cada planta de vainilla, crece diferente y se beneficia diferente, la humedad contenida, la altura con respecto al mar, el tamaño y grosor de la vaina, la cantidad de abono etc. En términos generales el prototipo diseñado y propuesto trata de captar esa complejidad y acercarlo a un modelo tradicional de secado con horno de leña. La regulación de las temperaturas por ejemplo seguirá siendo manual, pues ahí la experiencia de la gente que efectúa la operación determina por sus sentidos como se está desarrollando la vainilla para conseguir sus atributos.
- El tiempo de secado deberá mantenerse constante ya que el producto no adquiere ventajas económicas si se procesa rápidamente, al contrario pierde calidad y se debe seguir el Decreto que pone fechas a la comercialización. Lo que debe ser el objetivo de este secador es estandarizar el proceso de curado el cual se podrá llevar a cabo a través de varias temporadas.
- La falta de información de secado de la vainilla dio como resultado diseñar bajo algunos supuestos que tuvieron que ser cotejados con base en observaciones de los productores o la bibliografía, la pauta la dará la práctica al construir el prototipo y experimentar con el.
- Este trabajo no es conclusivo es parte de un proyecto de más etapas. Esta primera parte es el diseño, y sigue la construcción a escala del prototipo continuando con los trabajos en el colector solar, la chimenea, los reguladores de flujo y un sistema de respaldo a gas L.P.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Childers, N. *Et al.* (1959) *Vanilla, The Orchid of Commerce*. In *The Orchid: A Scientific Survey* By Whither C. Chronica Botanica N°32. The Ronald Press. N. Y.
- Encyclopedia of Food Science and Technology. Four volume set (1991) edit. John Wiley & sons, inc. N.Y.
- Dirección de Mercadeo y Agroindustria. Área Desarrollo de Producto. *Ficha Técnica de Industrialización de Vainilla*. Costa Rica.
- Decreto de la vainilla., decreto que reglamenta la explotación, comercio y beneficio de la vainilla. DOF. Lunes ocho de marzo 1983. México.
- Horn, M. *Et al.* (2007) *El Proceso de Secado*. En las Notas del Curso Secado Solar. XXXI Semana Nacional de Energía Solar Zacatecas, Zac. México.
- Beltrán O. (1999) *Industria Alimentaria*. Vol. 21 No 6. México.
- ASTM C 1363-97 *Standard Test Method for Thermal Performance of Building Assemblies by Means of a Hot Box Apparatus*. American Standard Test Methods. U.S.A.
- Duffie and Beckman. (1991) *Solar Engineering of Thermal Processes*. 2da. Ed. Jhon Wiley and Son. Inc. N.Y.

ANEXO 1. Tabla Psicrométrica.

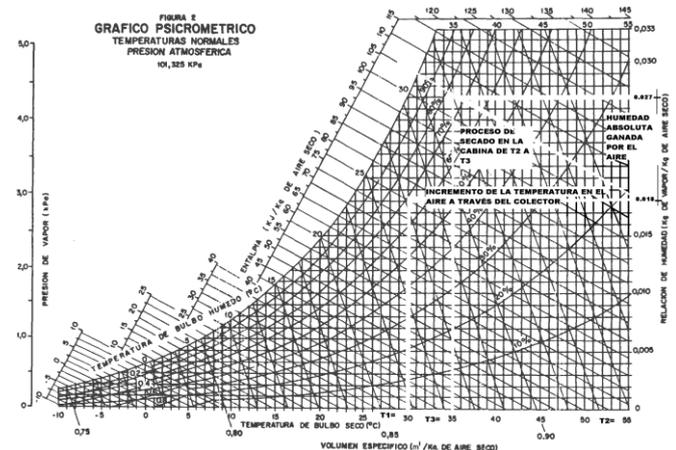


Figura 3. Carta psicrométrica, (ASAE 1986)