

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS

Unidad de Posgrado



**Tesina para Optar el Título de Segunda Especialización
Profesional en Energía Solar**

CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SECADOR SOLAR
INDIRECTO POR CONVECCIÓN NATURAL, APLICADO AL SECADO DE
YACÓN

Presentada por:

Gregorio Custodio Cortez Reyes

Asesora:

Dra. Carmen Rosa Eysaguirre Gorvenia

LIMA – PERÚ

2015

ÍNDICE	Páginas
Resumen	
Agradecimientos	
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Fundamento	3
CAPÍTULO 2. EXPERIMENTAL	8
2.1 Construcción del Secador solar indirecto	8
2.2 Proceso y descripción del equipo experimental desarrollado	9
2.3 Preparación de las muestras de yacón	11
2.4 Primeras pruebas de secado	13
2.5 Evaluación del Secador solar indirecto	15
CAPÍTULO 3. DATOS EXPERIMENTALES	16
3.1 Resultados	16
3.2 Consideraciones de experimentación	24
3.3 Producto final	28
CAPÍTULO 4. DISCUSIONES	32
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	33
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS	35
ANEXOS	
ANEXO A. Humedad del aire, instrumento de medida	36
ANEXO B. Conceptos de secado	39
ANEXO C. Actividad acuosa	44

CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN DE UN SECADOR SOLAR INDIRECTO POR CONVECCIÓN NATURAL, APLICADO AL SECADO DE YACÓN

Gregorio Custodio Cortez Reyes, Carmen Rosa Eyzaguirre Gorvenia

Laboratorio de Fotónica de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería

E-mail: custodioc@msn.com.pe, ceyza001@yahoo.com.br

Resumen

La “Construcción y evaluación de un secador solar indirecto por convección natural, aplicado al secado de yacón”, se realizó en el laboratorio de Fotónica de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería, con el objetivo de secar al producto natural denominado yacón, conocido científicamente con el nombre de *Smallanthus sonchifolius*.

El primer paso fue construir el secador.

Este secador intenta ser una primera versión rústica que puede mejorarse para futuras pruebas de secado en mejores condiciones.

Se obtuvo una referencia apropiada para definir una masa seca del producto a secar, entonces se prepararon dos muestras (m_1 y m_2) de 100 y 150 gramos de yacón respectivamente; y, utilizando un ventilador 220V AC 60 Hz 48 W se procedió a definir las masas secas de ambas muestras, utilizando la velocidad 1 para la corriente de aire del ventilador.

Las pruebas se realizaron del día 18 hasta el día 25 de mayo 2015 (ver ANEXO A). Resultando ser 20 gramos para m_1 y 22 gramos para m_2 .

Luego, se prepararon dos muestras (m_3 y m_4) adicionales de yacón también de 100 y 150 gramos. Esto se hizo así porque de la prueba con el ventilador ya teníamos de antemano conocidas las masas secas de m_3 y m_4 .

Finalmente, se procedió a evaluar el Secador solar indirecto colocando en el las muestras m_3 y m_4 . Así logramos extraer más del 70% de contenido de humedad de ambas muestras pese a las malas condiciones climáticas acaecidas del 27 al 29 de Mayo 2015 (Anexo A) obteniéndose además un producto de mejor calidad.

Dedicado a mis padres y hermanos

Reconocimientos,

En primer lugar agradezco a la Facultad de Ciencias y al Ministerio de Energía y Minas por haberme permitido ingresar al programa CARELEC (Consejo de Administración de Recursos para la Capacitación en Electricidad). Con lo cual fue posible realizar mis estudios de Segunda Especialización Profesional en Energía Solar.

También hago extensivo mi agradecimiento a todas las personas que de una u otra manera me brindaron su apoyo durante el desarrollo de este trabajo, en especial a los amigos más cercanos por su constante apoyo; así como a la Dra. Carmen Rosa Eyzaguirre Gorvenia asesora de este trabajo por su gran comprensión y apoyo durante el recorrido seguido hasta la finalización de esta modesta tarea.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El **secado** es un método de conservación de alimentos consistente en extraer el agua de estos, lo que inhibe la proliferación de microorganismos y dificulta la putrefacción.

Debido a las condiciones adversas en algunas regiones agrícolas del mundo se pierden considerables cantidades de productos agrícolas por falta de **secado** inmediato después de la cosecha; por ello, el uso de la energía solar u otros mecanismos de **secado** apropiados son ventajosos.

El congelamiento, la deshidratación y la cocción de alimentos exigen asimismo un conocimiento cabal de esta materia.

Cuando colgamos nuestra ropa después del lavado, luego de un cierto tiempo afirmamos que ya se secó; por lo tanto procedemos a descolgar todo lo que habíamos colgado. Y, procedemos al almacenaje en el ropero previo tratamiento apropiado después del **secado**. Nunca pensamos en la posibilidad de que nuestra ropa pueda volver a humedecerse, porque según nosotros ya está seco.

¿Pero, que es secar físicamente?

El proceso físico de secar un objeto con aire, es un proceso donde intervienen los siguientes parámetros:

1. Temperatura del aire
2. Humedad relativa del aire
3. Presión del aire
4. Punto de rocío
5. Cantidad de aire
6. Temperatura del objeto

Por otro lado, existen numerosos diseños de **secadores solares**, que gracias al Internet, los tenemos todos a la mano.

Este trabajo consistió en rescatar uno de estos secadores solares y bajo ciertas modificaciones como son las áreas de entrada y salida de la cámara de secado, la utilización de una cubierta de plástico y la altura del colector solar (al entrar a la cámara de secado); investigar sobre los mecanismos necesarios para mejorar el proceso de secado.

A la luz de los resultados obtenidos, afirmamos que es posible realizar un proceso de secado con óptimos resultados con este secador rústico construido; pese a las malas condiciones climáticas en las dos últimas semanas de mayo, acertadamente pronosticadas por SENAMHI, fecha en que se registraron la toma de datos.

En el capítulo 1 se da una introducción al tema del secado de alimentos; se plantean los objetivos a alcanzar y se expone el fundamento teórico utilizado en el desarrollo de secadores solares, haciendo hincapié en el secador solar indirecto por convección natural.

En el capítulo 2 se observa en detalle las partes del equipo utilizado; aquí tenemos los pasos seguidos en la construcción del secador solar indirecto a evaluar, así como las muestras utilizadas y las primeras pruebas del secado de las mismas.

En el capítulo 3 tenemos las tablas del 1 al 6 y gráficas del 1 al 6 respectivamente, obtenidas utilizando un ventilador 220 AC 60 Hz 48 W, y, las tablas del 7 al 12 y gráficas del 7 al 12 correspondientes utilizando el secador solar indirecto por convección natural construido en el laboratorio de Fotónica de la Facultad de Ciencias.

El capítulo 4 establece las discusiones planteadas luego de realizada la experimentación.

Por último, el capítulo 5, contiene las conclusiones resultantes a raíz de los resultados obtenidos y se establecen las recomendaciones resultantes de la experiencia realizada.

1.1 Objetivos

- 1.1.1** Construcción de un secador solar indirecto por convección natural.
- 1.1.2** Cálculo de la **masa seca** de dos muestras de 100 y 150 gramos de yacón, utilizando sólo una corriente de aire de un ventilador con las condiciones meteorológicas dadas por SENAMHI.
- 1.1.3** Evaluación del prototipo construido, al secar dos muestras similares de 100 y 150 gramos de yacón.

1.2 Fundamento

El proceso de secado de sólidos consiste en separar pequeñas cantidades de agua de un material sólido con el fin de reducir el contenido de líquido residual hasta un valor aceptablemente bajo.

El proceso secado es habitualmente la etapa final de una serie de operaciones y con frecuencia, el producto que se extrae de un secador para empaquetarlo.

Los sólidos que se secan pueden tener formas diferentes – escamas, gránulos, cristales, polvo, tablas o láminas - y poseer propiedades muy diferentes. El producto que se seca puede soportar temperaturas elevadas o bien requerir un tratamiento suave a temperaturas bajas o moderadas. Esto da lugar a que en el mercado exista un gran número de tipos de secadores comerciales.

La propuesta de este trabajo es secar utilizando un **SECADOR SOLAR**. El secado solar es un fenómeno complejo que involucra la transferencia de calor y masa (el transporte de calor hacia dentro del material y el transporte de agua hacia el exterior).

Existen muchos mecanismos posibles de secado, pero aquellos que controlan el secado de un sólido dependen de su estructura y de los parámetros de secado-condiciones de secado (temperatura **T**, velocidad **v** y humedad relativa del aire), contenido de humedad, dimensiones, superficie expuesta a la velocidad de transferencia, y contenido de humedad de equilibrio del sólido.

1.2.1 Tipos de secadores:

1.2.2 Directos:

- el colector y la cámara están juntos (ver figura 1).
- los alimentos reciben la radiación solar directamente.



Figura 1.- Se observa un secador solar directo de tecnología sencilla y bajo costo. Tiene como desventaja la falta de control en el proceso de secado, afecta las características nutricionales y organolépticas de los alimentos.

1.2.3 Indirectos:

- El colector y la cámara están separados.
- El aire es calentado en el colector.
- La radiación no incide sobre el alimento.

Las ventajas de este tipo de secador es permitir mayor control en el proceso, facilita la manipulación de alimentos, permite secar productos sensibles a la radiación solar directa y permite integrar una fuente auxiliar.

En la figura 2 se observan las características de un **secador solar indirecto por convección natural**.

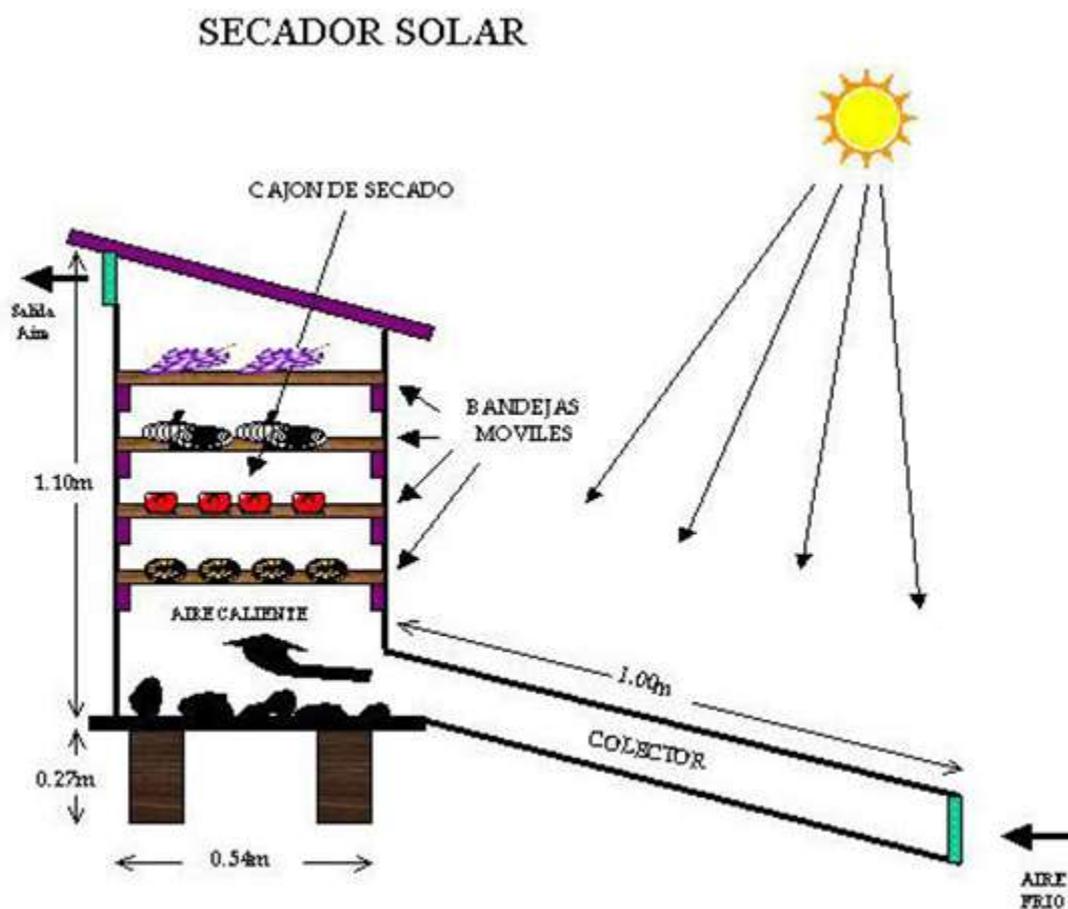


Figura 2.- Secador solar indirecto por convección natural, mostrando sus componentes básicos: colector solar (superficie oscura y cobertura transparente) y cámara de secado. Requiere mayores costos de instalación y requiere mayor volumen de aire.

El secado se basa en dos procesos de transferencia:

- 1° De energía: la radiación solar proporciona calor al aire, a través del colector.
- 2° De masa: el agua del alimento pasa a vapor de agua que se evapora, eliminándose con el aire caliente que sale de la cámara.

En la figura 3 se aprecia mejor como es que se realizan estos dos procesos de transferencia.

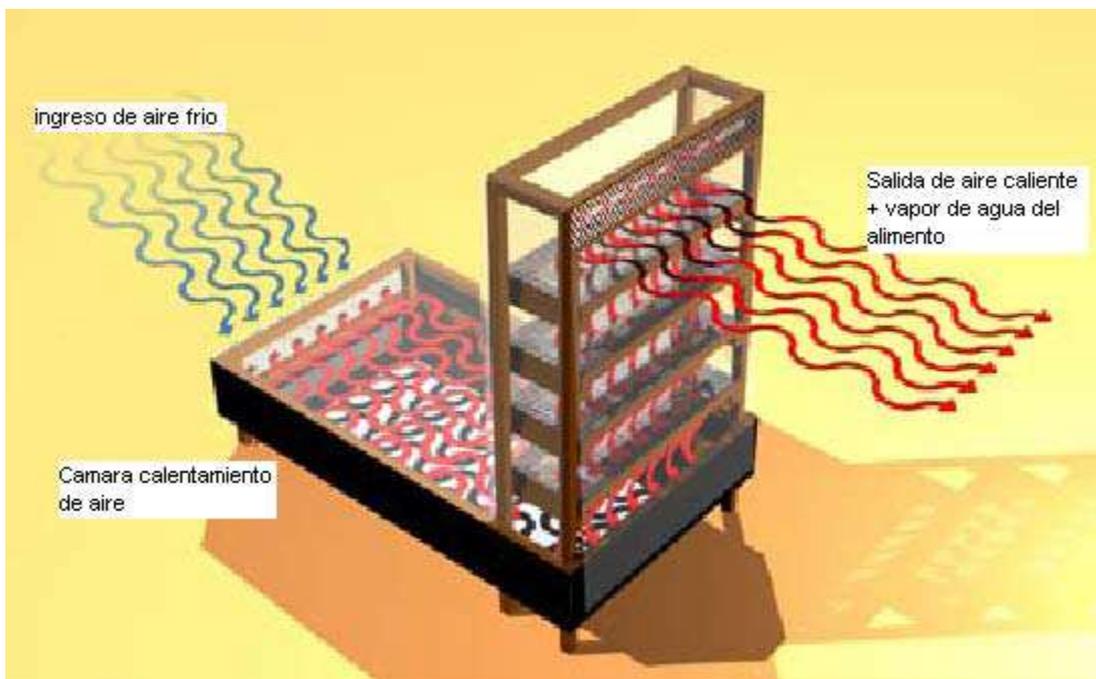


Figura 3.- Secador solar indirecto por convección natural, en la cámara de calentamiento de aire por la radiación solar se realiza la transferencia de energía. El aire caliente asciende por tener menor densidad permitiendo el ingreso de aire frío al colector; la transferencia de masa ocurre cuando el vapor de agua del alimento pasa al aire, en la cámara de secado.

1.2.2 Proceso de secado

Un adecuado proceso de secado depende de los siguientes factores:

- Temperatura del aire caliente de 40 a 65 °C.
- Aire con bajo contenido de humedad.
- Movimiento constante del aire.
- Humedad absoluta.- Es la cantidad de agua que contiene una cierta cantidad de aire.
- Humedad relativa.- Es la proporción entre la humedad absoluta (la cantidad de agua en forma de vapor que contiene el aire en este momento) y la máxima cantidad de agua en forma de vapor que el aire podría contener a la temperatura y presión del aire actual.

La humedad relativa se mide directamente con un higrómetro. Cuando la humedad relativa es 100% la temperatura del aire es igual **punto de rocío**.

En esa situación decimos que el aire está saturado (de vapor de agua).

- Punto de rocío.- El punto de rocío es la temperatura a la que el vapor de agua contenido en el aire se condensa. Cuando el aire se enfría hasta el punto de rocío, el agua que contiene empieza a transformarse en líquido, que forma gotitas microscópicas suspendidas en el aire (neblina) o gotas visibles de condensación sobre objetos, si estos están más fríos que el aire. La temperatura de rocío depende de la humedad relativa y de la presión del aire. Si el punto de rocío es menor de cero grados, se forma nieve o escarcha.

CAPÍTULO 2. EXPERIMENTAL

2.1 Construcción del Secador solar indirecto.- Se realizó al menor costo posible,

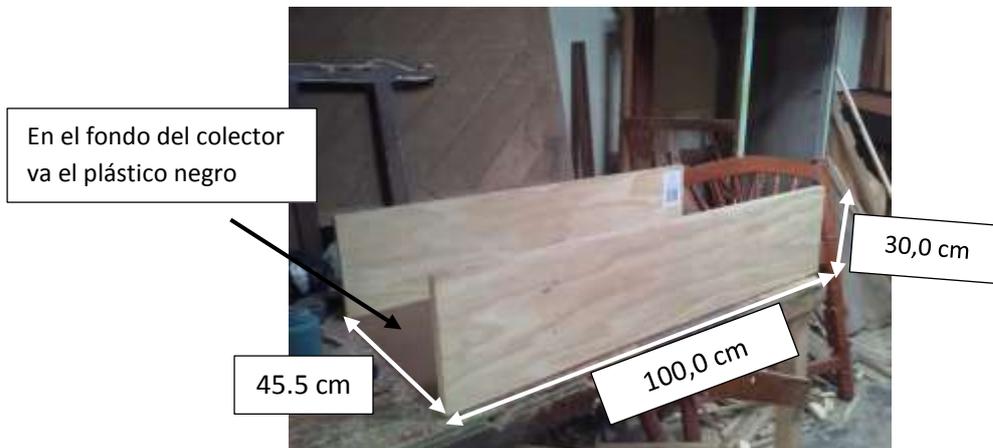


Foto 1.- Dimensiones del Colector solar. En el fondo del colector puede colocarse una placa aislante.



Foto 2.- Para la construcción del secador solar se utilizó una plancha de triplay de 18 mm de espesor 1,22x2,44 metros.

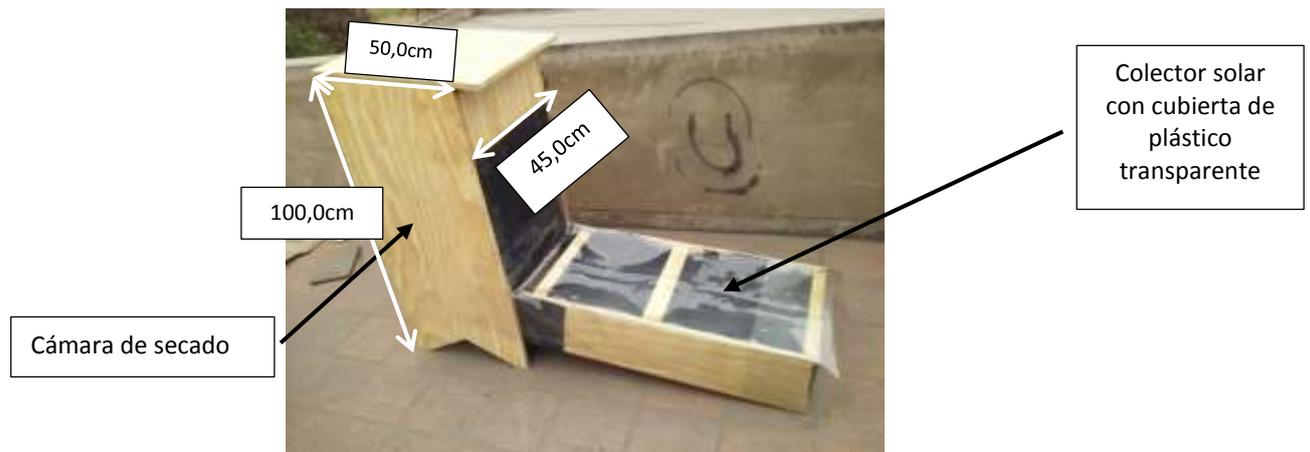


Foto 3.- Secador al final del ensamblado en el cuarto piso del pabellón R2 de la Facultad de Ciencias.

La cámara de secado fue armado con tornillos, para fácil desarme y transporte.

2.2 Proceso y descripción del equipo experimental desarrollado



Foto 4.- Inicio de la evaluación del Secador. Se colocaron dos muestras en la primera parrilla de la cámara de secado.



Foto 5.- Monitorando la dirección del viento.

El aire no sopla, día 25 de mayo 2015, hora: 3 pm.



Foto 6.- Monitorando la dirección del viento. El viento sopla tanto, que logra levantar el papel con bastante fiereza, día 25 de mayo 2015, hora: 3 pm y 5 segundos después. Dirección Este-Oeste.

2.3 Preparación de las muestras de yacón (pasos previos a la toma de datos)



Foto 7.- Yacón (*Smallanthus sonchifolius*) previamente lavado con abundante agua. En el mercado se consigue a S/. 2,50 el kilo, pero viene totalmente cubierto de tierra.

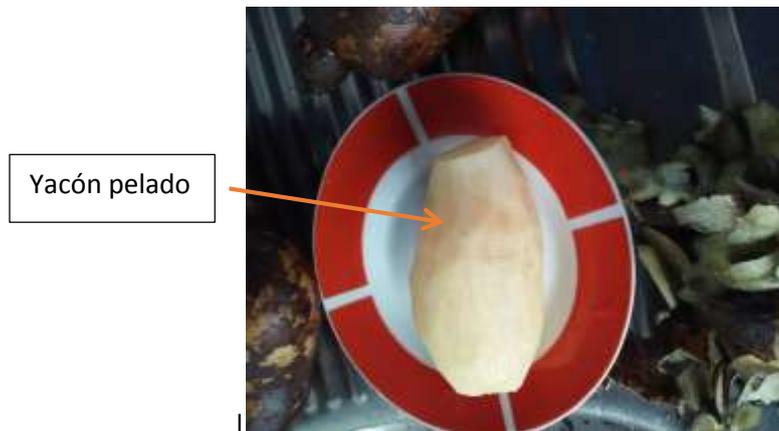


Foto 8.- Puede pelarse o no antes de rebanarlo para mayor facilidad del proceso.



Foto 9.- Materiales utilizados para cortar el tubérculo y para su almacenaje previo al secado.



Foto 10.- Peso de la muestra 3.

El peso del recipiente fue de 115 gramos. Se estima $\Delta m = \pm 1$ g.



Foto 11.- Peso de la muestra 4 (262 gramos). El peso del recipiente fue de 115 gramos.

Se estima $\Delta m = \pm 1$ g.

2.4 Primeras pruebas de secado

Antes de proceder con la evaluación del secador construido, era necesario tener una idea de la masa seca de la cantidad de producto a secar.

Como el experimento consistía en secar con corrientes de aire a determinada condiciones de temperatura y humedad relativa dadas por SENAMHI.

Se decidió utilizar un ventilador 220V AC 60 Hz 48 W de tres velocidades para secar dos muestras similares a las que se iban a usar con el secador solar, esto era para tener de antemano las masas secas de ambas muestras.

Y así, poder averiguar hasta que porcentaje de contenido de humedad era capaz de extraer el secador solar de prueba.



Foto 12.- Muestra inicial $m_1 = 150$ gramos antes de someterla al secado con el ventilador.



Foto 13.- Determinación de las masas secas de dos muestras iniciales $m_1 = 150$ gramos y $m_2 = 100$ gramos utilizando la corriente de aire de un ventilador 220V AC 60 Hz 48 W. Se utilizó la menor velocidad del ventilador (velocidad 1).

Los resultados de estas mediciones se encuentran en las tablas 1 y 4.

2.5 Evaluación del Secador solar indirecto

Cabe resaltar que la evaluación del secador solar construido se realizó desde el día 25 de mayo hasta el día 30 de mayo. Hacemos hincapié en que los días miércoles 27 y jueves 28 de mayo, fueron días que amanecieron con bastante precipitación (lloviznas), en el ANEXO A pueden verse los pronósticos hechos por SENAMHI para esos días.

Pese a ello el secador tuvo buen comportamiento, como pueden verse de los resultados obtenidos, en las tablas 7 y 8.

CAPÍTULO 3. DATOS EXPERIMENTALES

3.1 Resultados

3.1.1 Cálculo del contenido de masa seca (m_s) en 150 gramos de yacón (m_1)

Para graficar el [contenido de humedad](#) en m_1 , en función del tiempo, necesitamos conocer previamente su masa seca.

Sometimos m_1 a un flujo de aire, dado por un ventilador durante 32 horas.

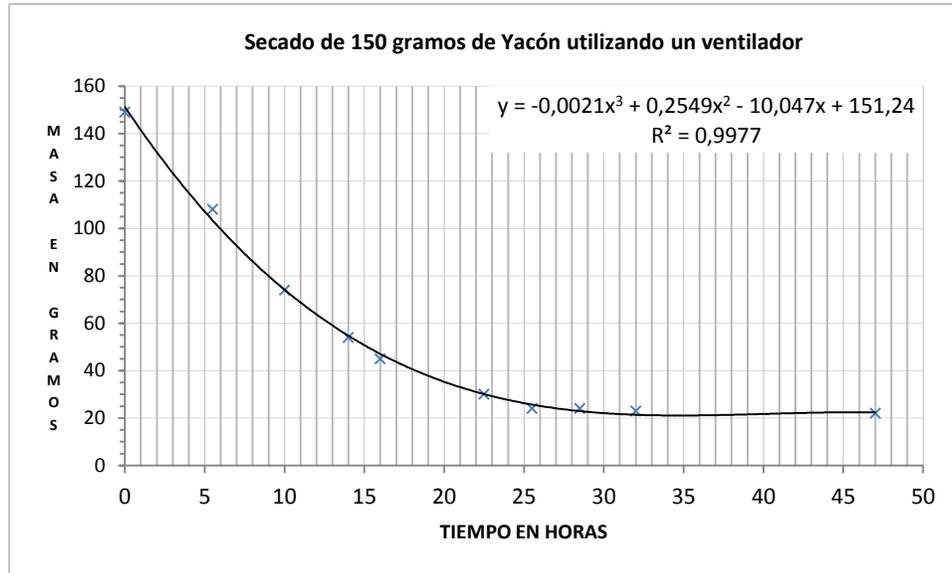
El registro del tiempo de exposición de la muestra 1 (m_1) al flujo de aire, y el registro de la variación de la masa de m_1 en ese tiempo se muestran en la tabla 1.

Graficando estos datos visualizaremos la tendencia de la pérdida de masa en el tiempo.

Tabla 1.- Variación de la masa de 150 gramos de Yacón, utilizando un ventilador. Condiciones ambientales dado por SENAMHI para el día 18 Mayo de 2015, $T = 26^{\circ}\text{C}$, $H_r = 80\%$

N°	t (hrs)	m_1 (g)
1	0.0	150.0
2	5.5	108.0
3	10.0	74.0
4	14.0	54.0
5	16.0	45.0
6	22.5	30.0
7	25.5	24.0
8	28.5	24.0
9	32.0	23.0
10	47.0	22.0

Gráfica 1.- Curva de variación de la masa de 150 gramos de yacón vs. Tiempo de exposición a la corriente de aire. Día 18 de mayo, T = 26 °C y humedad relativa $H_r = 80 \%$ ANEXO A. (ver Tabla 1)



3.1.2 Determinación de la masa seca de m_1 (masa en equilibrio con la humedad absoluta)

Observando la gráfica 1, y, la Tabla 1 inferimos que la masa seca del producto tiende a ser 22 gramos, para asegurarlo dejamos el producto por un tiempo prolongado expuesto a la corriente de aire del ventilador, para averiguar si hay variación de masa.

Comprobamos experimentalmente que, luego de 15 horas de secado la masa de prueba 1 (al inicio $m_1 = 150$ gramos de yacón) se mantuvo en $m_{1S} = 22$ gramos.

Afirmamos entonces que la masa seca de la primera muestra (m_1) es 22 gramos a una temperatura ambiente promedio de 26 °C y una humedad relativa promedio de 80%.

3.1.3 Determinación de las curvas de secado en base húmeda (bh) y en base seca (bs) de la muestra m₁

Ahora ya podemos calcular el contenido de humedad en base húmeda (bh) y en base seca (bs). Esto podemos observarlo en las Tablas 2 y 3 respectivamente. ANEXO B.

$$M = \frac{m_1 - m_{1S}}{m_1}$$

$$X = \frac{m_1 - m_{1S}}{m_{1S}}$$

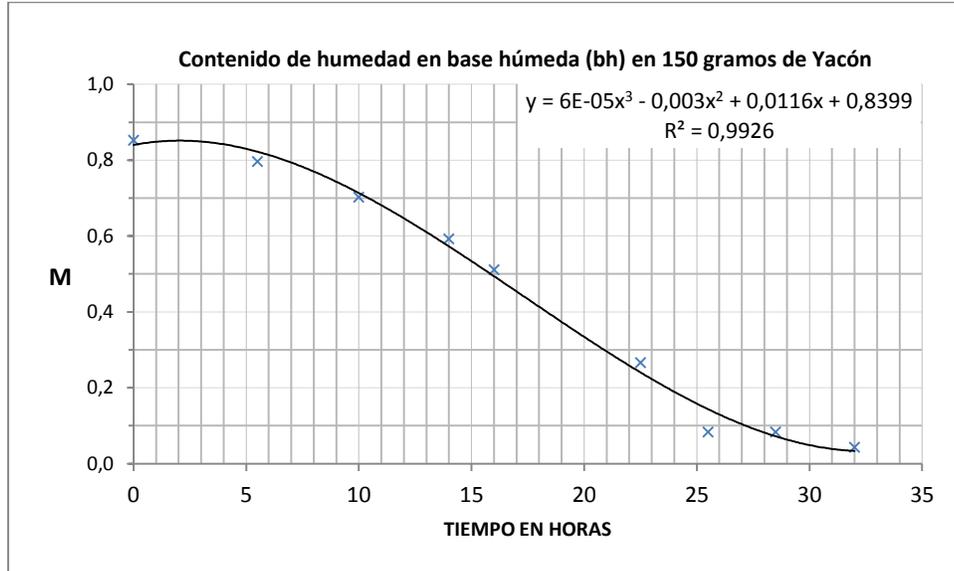
Tabla 2.- Contenido de humedad en **bh (M)** de 150 gramos de yacón.
Utilizando un ventilador. T = 26 °C, H_r= 80% (18 Mayo 2015)

N°	t (hrs)	M
1	0.0	0.85
2	5.5	0.80
3	10.0	0.70
4	14.0	0.59
5	16.0	0.51
6	22.5	0.27
7	25.5	0.08
8	28.5	0.08
9	32.0	0.04
10	47.0	0.00

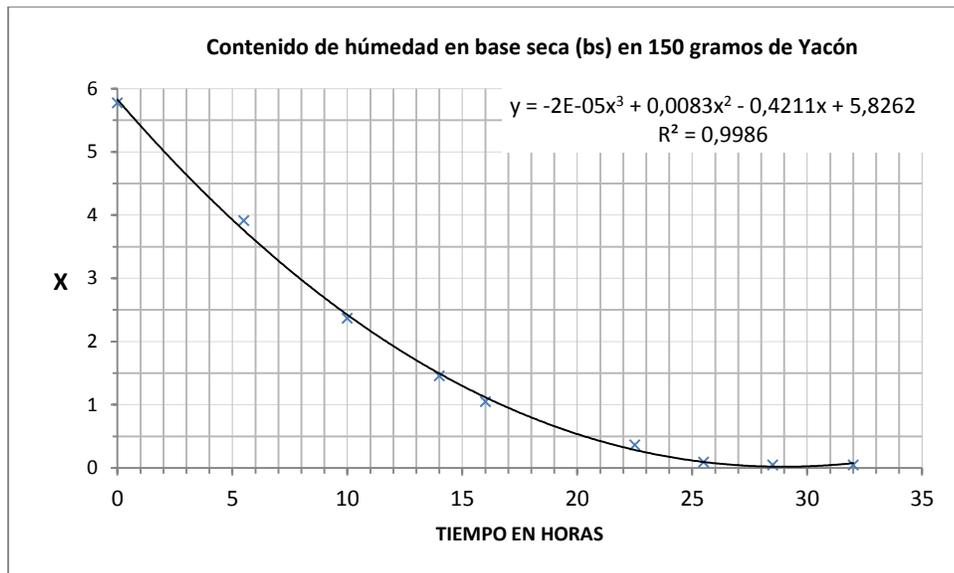
Tabla 3.- Contenido de humedad en **bs (X)** de 150 gramos de yacón.
Utilizando un ventilador. T = 26 °C, H_r= 80% (18 Mayo 2015)

N°	t (hrs)	X
1	0.0	5.77
2	5.5	3.91
3	10.0	2.36
4	14.0	1.45
5	16.0	1.05
6	22.5	0.36
7	25.5	0.09
8	28.5	0.09
9	32.0	0.05
10	47.0	0.000

Gráfica 2.- Curva de secado de 150 gramos de yacón (bh), a 80 % de humedad relativa y 26 °C utilizando una corriente de aire proporcionada por un ventilador.



Gráfica 3.- Curva de secado de 150 gramos de yacón (bs), a 80 % de humedad relativa y 26 °C utilizando una corriente de aire proporcionada por un ventilador.



De la definición, la actividad de agua del yacón es 0,80 (ANEXO C); mientras que el contenido de humedad de equilibrio en base húmeda y en base seca (Tablas 2 y 3), es respectivamente 0,04 y 0,05.

Para comprobar estos resultados repetimos el experimento con una masa de 100 gramos (m_2) de yacón, los resultados se observan en las Tablas 4, 5 y 6 respectivamente, así como en sus gráficas 4, 5 y 6.

Las Tablas 4, 5 y 6 se registraron teniendo las Condiciones ambientales dado por SENAMHI para los días 19 y 20 de Mayo 2015, $T = 25^\circ\text{C}$, $H_r = 85\%$. Se utilizó un ventilador 220v AC 60 Hz 48 W.

Tabla 4.- Variación de la masa de 100 gramos de Yacón vs. tiempo, utilizando un ventilador.

N°	t (hrs)	m_2 (g)
1	0.0	100.0
2	3.5	82.0
3	6.0	71.0
4	8.5	61.0
5	28.5	28.0
6	32.0	23.0
7	36.5	20.0

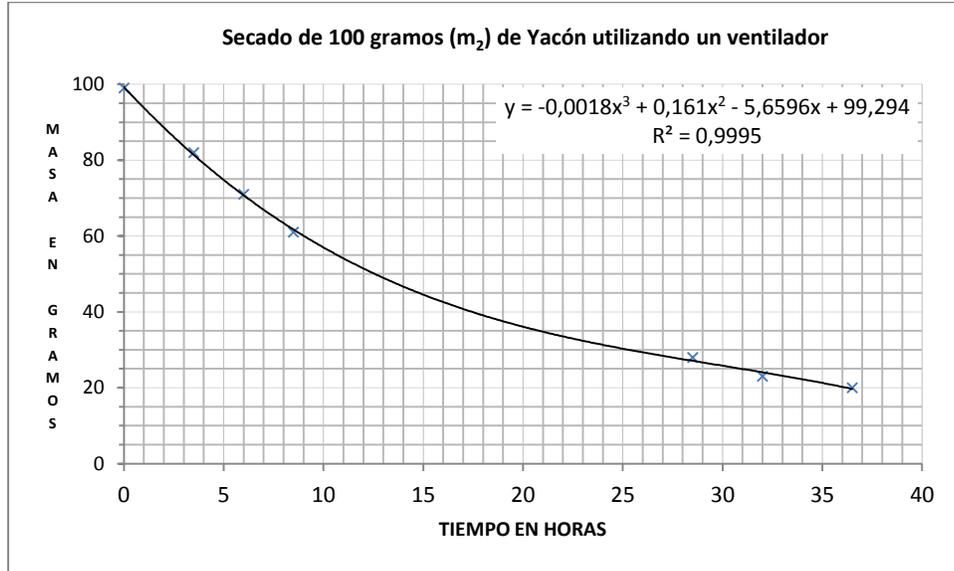
Tabla 5.- Contenido de humedad en **bh** de 100 gramos de yacón vs. tiempo, utilizando un ventilador.

N°	t (hrs)	M
1	0.0	0.798
2	3.5	0.756
3	6.0	0.718
4	8.5	0.672
5	28.5	0.286
6	32.0	0.130
7	36.5	0.000

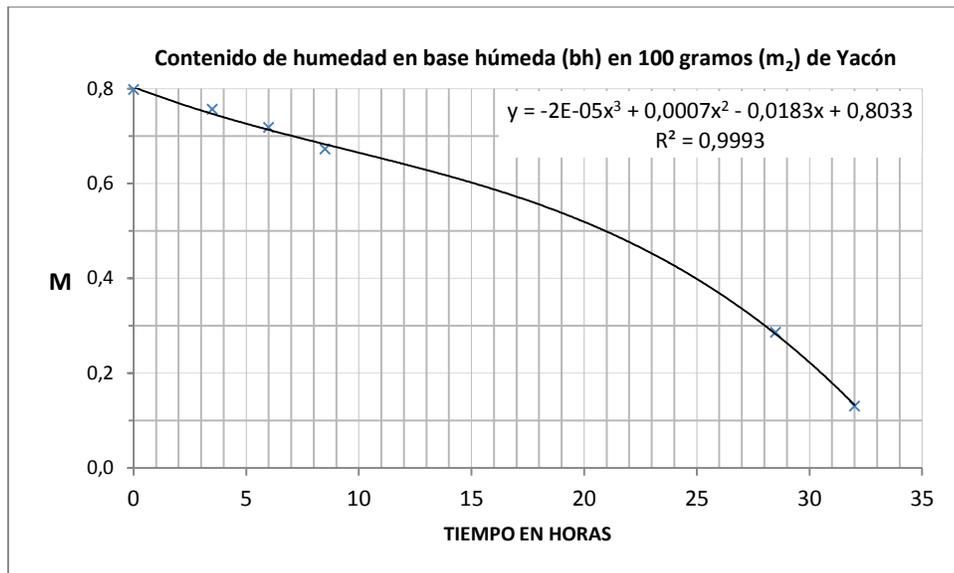
Tabla 6.- Contenido de humedad en **bs** de 100 gramos de yacón vs. tiempo, utilizando un ventilador.

N°	t (hrs)	X
1	0.0	3.950
2	3.5	3.100
3	6.0	2.550
4	8.5	2.050
5	28.5	0.400
6	32.0	0.150
7	36.5	0.000

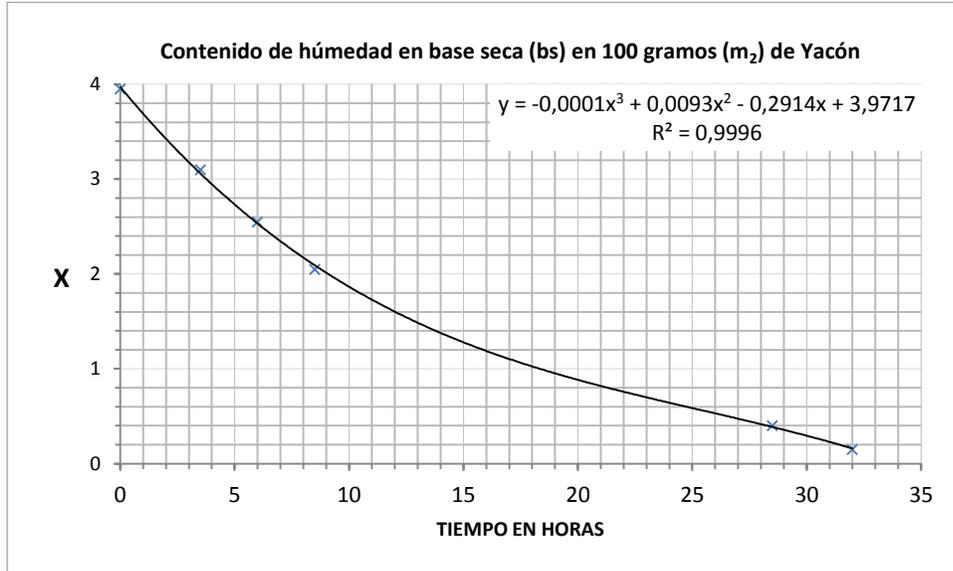
Gráfica 4.- Curva de variación de la masa de 100 gramos de yacón vs. tiempo de exposición a la corriente de aire. T = 25 °C y humedad relativa H_r = 85 % (ver Tabla 4)



Gráfica 5.- Curva de secado de 100 gramos de yacón (bh) vs. tiempo de exposición a la corriente de aire. T = 25 °C y humedad relativa H_r = 85 % (ver Tabla 5)



Gráfica 6.- Curva de secado de 100 gramos de yacón (bs) vs. tiempo de exposición a la corriente de aire. T = 25 °C y humedad relativa $H_r = 85\%$ (ver Tabla 6).



3.2 Consideraciones de experimentación

Como ya conocemos la masa seca de 100 gramos de yacón, podemos calcular el porcentaje de contenido de humedad que se va eliminando durante el proceso.

Cabe recalcar que el día miércoles 27 de mayo 2015, el clima era totalmente desfavorable, el pronóstico dado acertadamente por SENAMHI fue (ANEXO A),

Lima Oeste; 0 a 200 msnm

miércoles 27 de mayo 2015

	7 am	10 am	1 pm	4 pm
T (°C):	19	20	21,5	21
HR (%)	90	86	78	76

Tabla 7.- Variación de la masa de 100 gramos (m₃) de Yacón vs. tiempo, utilizando el secador solar indirecto por convección natural (construido).

Nº	t (hrs)	m ₃ (g)
1	0.0	100.0
2	2.0	91.0
3	5.0	82.0
4	7.5	70.0
5	27.0	47.0
6	29.5	43.0
7	35.0	40.0
8	51.5	31.0
9	55.5	26.0
10	59.0	24.0

Gráfica 7.- Variación de la masa de 100 gramos de Yacón vs. tiempo, utilizando el secador solar indirecto por convección natural construido. (ver Tabla 7).

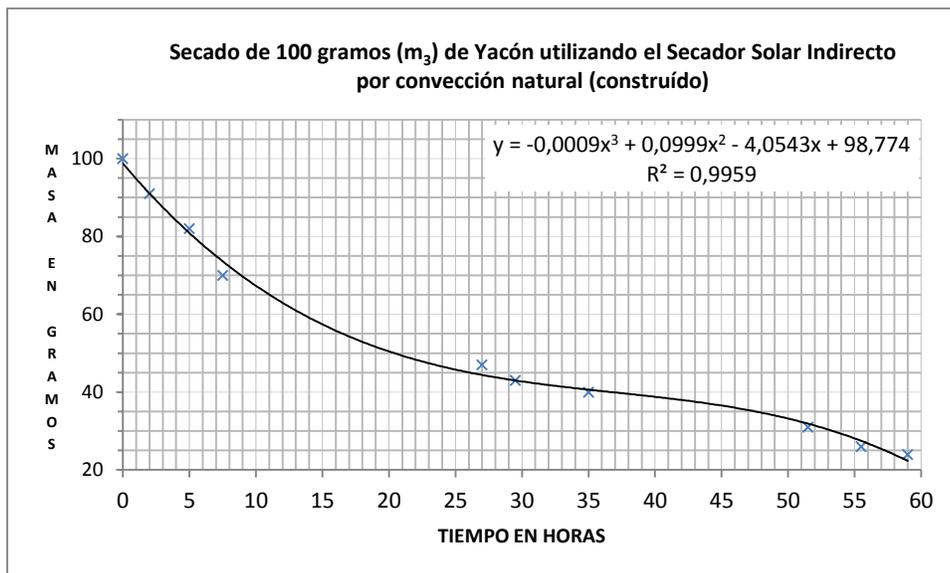


Tabla 8.- Contenido de humedad en **bh** de 100 gramos de yacón vs. tiempo, utilizando el secador solar (construido).

Nº	t (hrs)	M
1	0.0	0.800
2	2.0	0.780
3	5.0	0.756
4	7.5	0.714
5	27.0	0.574
6	29.5	0.535
7	35.0	0.500
8	51.5	0.355
9	55.5	0.231
10	59.0	0.167

Gráfica 8.- Curva de secado de 100 gramos de yacón (bh) vs. tiempo utilizando el secador solar construido.

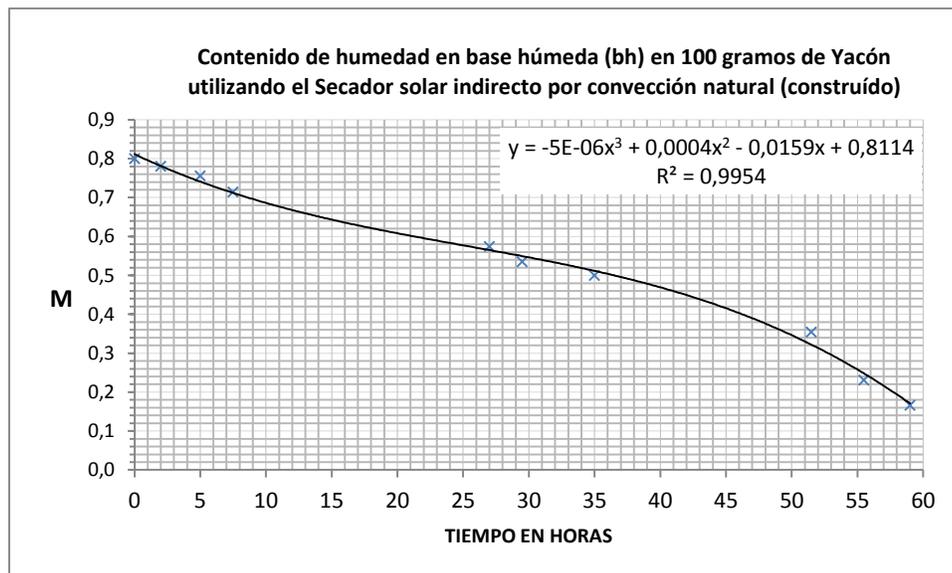
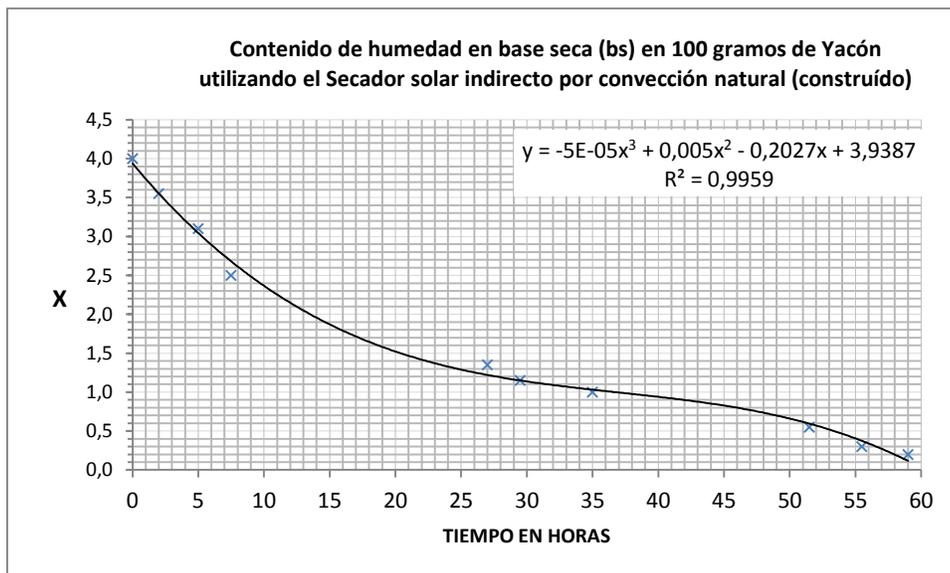


Tabla 9.- Contenido de humedad en bs de 100 gramos de yacón vs. tiempo, utilizando el secador solar construido.

N°	t (hrs)	X
1	0.0	4.000
2	2.0	3.550
3	5.0	3.100
4	7.5	2.500
5	27.0	1.350
6	29.5	1.150
7	35.0	1.000
8	51.5	0.550
9	55.5	0.300
10	59.0	0.200

Gráfica 9.- Curva de secado de 100 gramos de yacón (bs) vs. tiempo utilizando el secador solar construido.



3.3 Producto final

Repetimos estos pasos con la muestra de 150 gramos de yacón con afán de comprobación de lo hecho en el apartado 4.1

Como ya conocemos la masa seca de 150 gramos de yacón ($m_{4S} = 22$ gramos), podemos calcular el porcentaje de contenido de humedad que se va eliminando durante el proceso con el **secador solar construido**.

Cabe recalcar que los días miércoles 27 y jueves 28 de mayo 2015, el clima era totalmente desfavorable, el pronóstico dado acertadamente por SENAMHI fue (ANEXO A),

Lima Oeste; 0 a 200 msnm		miércoles 27 de mayo 2015			
	7 am	10 am	1 pm	4 pm	
T (°C):	19	20	21.5	21	
HR (%)	90	86	78	76	

Tabla 10.- Variación de la masa de 150 gramos de Yacón vs. tiempo, utilizando el secador solar indirecto por convección natural (construido).

N°	t (hrs)	m_4 (g)
1	0.0	150.0
2	2.0	135.0
3	16.5	110.0
4	19.5	99.0
5	22.0	88.0
6	41.5	62.0
7	44.0	57.0
8	49.5	55.0
9	66.0	45.0
10	70.0	37.0

Gráfica 10.- Variación de la masa de 150 gramos de Yacón vs. tiempo, utilizando el secador solar indirecto por convección natural construido. (ver Tabla 10)

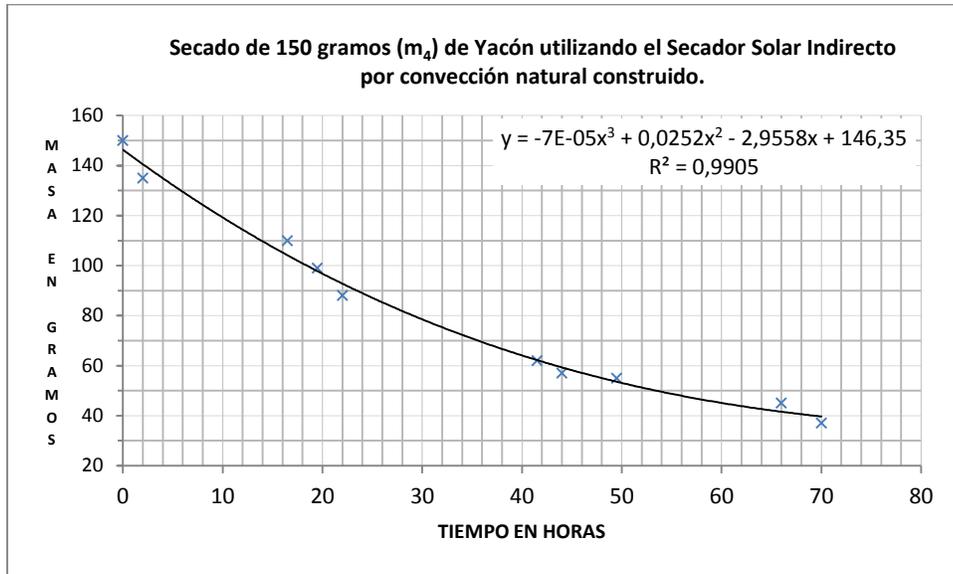


Tabla 11.- Contenido de humedad en **bh** de 150 gramos de yacón vs. tiempo, utilizando el secador solar (construido).

Nº	t (hrs)	M
1	0.0	0.853
2	2.0	0.837
3	16.5	0.800
4	19.5	0.778
5	22.0	0.750
6	41.5	0.645
7	44.0	0.614
8	49.5	0.600
9	66.0	0.511
10	70.0	0.405

Gráfica 11.- Curva de secado de 150 gramos de yacón (bh) vs. tiempo utilizando el secador solar construido (ver tabla 11).

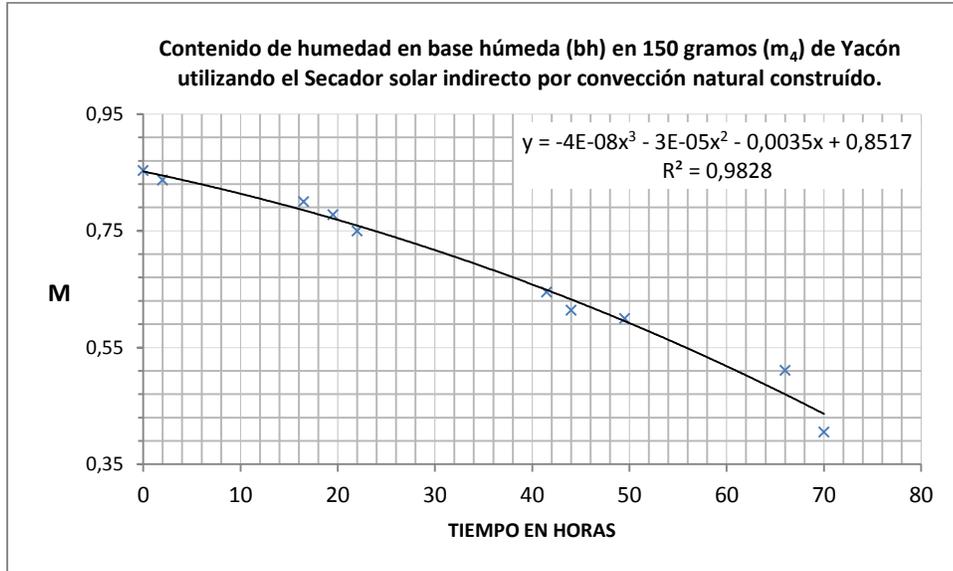
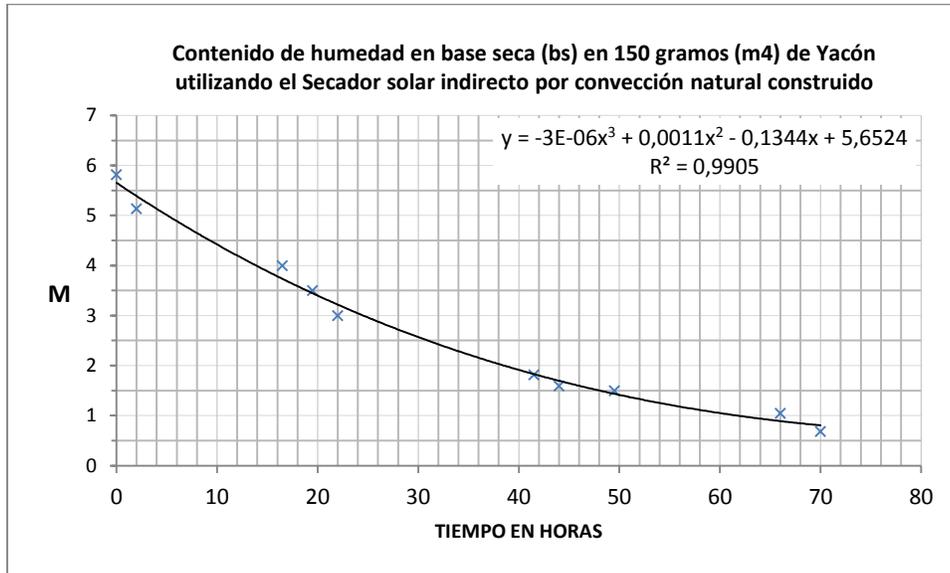


Tabla 12.- Contenido de humedad en bs de 150 gramos de yacón vs. tiempo, utilizando el secador solar construido.

N°	t (hrs)	X
1	0.0	5.818
2	2.0	5.136
3	16.5	4.000
4	19.5	3.500
5	22.0	3.000
6	41.5	1.818
7	44.0	1.591
8	49.5	1.500
9	66.0	1.045
10	70.0	0.682

Gráfica 12.- Curva de secado de 150 gramos de yacón (bs) vs. tiempo utilizando el secador solar construido.



De las tablas 10, 11 y 12 y de sus respectivas gráficas comprobamos experimentalmente que la respuesta al secado de la cuarta muestra se realizó en óptimas condiciones. Por ejemplo, si comparamos la gráfica 1 con la gráfica 10, observamos que si bien el secado con el ventilador se realizó en la mitad de tiempo (32 horas); el producto final alcanzado con el secador solar (construido) es de mayor calidad. Esto sin tomar en cuenta las condiciones climatológicas adversas acaecido los días 27 y 28 de mayo, días en que se realizó la toma de datos.

CAPÍTULO 4. DISCUSIONES

4.1 Cálculo de la razón del secado (eficiencia)

Podemos calcular la eficiencia del secador solar construido comparándolo con el tiempo de secado empleado por el ventilador. Por ejemplo, de la Tabla 1, podemos decir que en 47 horas el ventilador elimina $150 - 22 = 128$ gramos de vapor de agua.

Es decir, el promedio sería de 2,72 gramos/hora para el ventilador.

En cambio para el secador construido, de la Tabla 10 podemos afirmar que el secador solar en 70 horas elimina $150 - 37 = 113$ gramos de vapor de agua.

El promedio resulta, 1,61 gramos/hora para el secador.

Resultando así el secador menos eficiente que el ventilador.

4.2 Cálculo del consumo

También cabe indicar que el ventilador (48W) en 47 horas, consume: $48 \times 10^{-3} \times 47 \text{ Kwh} = 2,3 \text{ Kwh}$

Cada Kwh cuesta S/. 0,4 (según EDELNOR). Entonces tenemos un consumo de $\sim \text{s}/. 1$

Esto parece despreciable, pero cabe considerar que se trató solo de 250 gramos de Yacón en total.

4.3 Cálculo de la eficiencia en el secado.

Para el cálculo de la eficiencia en el secado puede considerarse el calor útil absorbido por la muestra frente a la radiación total que absorbe el colector, pero este cálculo requiere la utilización de instrumentos apropiados.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

5.1.1 Conseguimos el primer objetivo el cual consistió en la construcción de un secador solar indirecto por convección natural.

5.1.2 En cuanto al segundo objetivo, la masa seca, de 100 gramos de yacón es de 20 gramos; y la masa seca de 150 gramos de yacón resultó ser de 22 gramos. Cabe señalar que se utilizó solo una corriente de aire de un ventilador a condiciones de temperatura ambiente y humedad relativa dada por SENAMHI.

5.1.3 El tercer objetivo fue probar el secador solar construido para secar dos muestras similares de 100 y 150 gramos de yacón, midiendo el contenido de humedad removido cada cierto tiempo, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la segunda conclusión. En 59 horas la masa se redujo de $m_3=100$ gramos a 24 gramos, significa que la actividad de agua (de la definición), del yacón (Tabla 7) es 0,76 (ANEXO C); mientras que el contenido de humedad de equilibrio en base húmeda y en base seca (Tablas 8 y 9), son respectivamente 0,17 y 0,20.

Para $m_4=150$ gramos de yacón el contenido de humedad removido en 70 horas (Tabla 10) fue de 113 gramos de vapor de agua, es decir, 0,75 de actividad de agua.

Mientras que el contenido de humedad de equilibrio en base húmeda y en base seca (Tablas 11 y 12), son respectivamente 0,41 y 0,68.

5.2 RECOMENDACIONES

- 5.2.1** Utilizar placas aislantes en el fondo del colector y en las paredes laterales, antes de colocar el plástico negro. Esto para conseguir una mejor diferencia de Temperatura con respecto al aire que ingresa a la temperatura ambiente.
- 5.2.2** Para mejor manipulación de la muestra diseñar una envoltura de malla de plástico, de tal manera que se pueda extraer fácilmente la muestra para el pesaje.
- 5.2.3** Disponer de 2 anemómetros, uno a la entrada del colector y otro a la salida de la cámara de secado así como de 2 termocuplas y un radiómetro, para un buen seguimiento del secado solar indirecto por convección natural.
- 5.2.4** Conseguir un recipiente hermético para guardar la muestra de manera inalterable.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- [1] <http://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/ciencia-tecnología/2008/03/26/175613.php>
- [2] <http://www.cebollas-papas.com/almacenaje/almacenaje-sistemas/almacenaje-sistemas-puntorocio /almacenaje-sistemas-puntorocio-calculate.php>
- [3] Incropera, F. P. **Fundamentos de Transferencia de Calor**. Prentice Hall, México 1999.
- [4] Enrique Chávez Paredes, “Secado solar de alimentos Jornada Técnica sobre Assecatge solar de Material Vegetal”
Manresa, 6 de Noviembre del 2010, enriquechvez59@hotmail.com
- [5] Centro de Energías Renovables (CER-UNI) Universidad Nacional de Ingeniería **Teoría y Práctica del Secado Solar** Lima-Perú 1991.

MIÉRCOLES 04 DE MAYO DEL 2011

Lima experimentará cambios bruscos de temperatura durante todo mayo

Se recomienda tener vestimenta apropiada tanto para un ambiente fresco como para el frío.



El meteorólogo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (Senamhi), Félix Cuba, informó que en toda la costa del país la tendencia es la disminución de temperatura. En cambio, en la sierra esta tenderá a “subir un poco” y en la selva será constante durante todo el año, tanto en máximas como mínimas.

De otro lado, explicó que las lluvias tienen tendencia a disminuir y solo se presentan continuamente en Amazonas, la sierra de Piura, sierra norte de Cajamarca y Tumbes.

TEMPERATURA EN LIMA

En la capital, el promedio de la temperatura por estos días es de 20 y 21 grados, con mínimos alrededor de 17. Además, los vientos en la costa central limeña son ligeros y “rara vez fuertes”, explicó Cuba a elcomercio.pe. “Donde hay vientos más fuertes es en la costa de Ica, Lambayeque y Piura en otoño-invierno”, agregó.

Asimismo, precisó que hay tendencia al frío. “Abril ya terminó. Este fue el mes más soleado del año. Habrá frío todo el día a partir de junio, hasta setiembre, cuando la temperatura vuelva a incrementar”, informó.

“Lima tiene el peor clima de toda la zona costera a partir de junio, estación de invierno. Es una situación particular”, agregó el meteorólogo.

RECOMENDACIONES EN MAYO

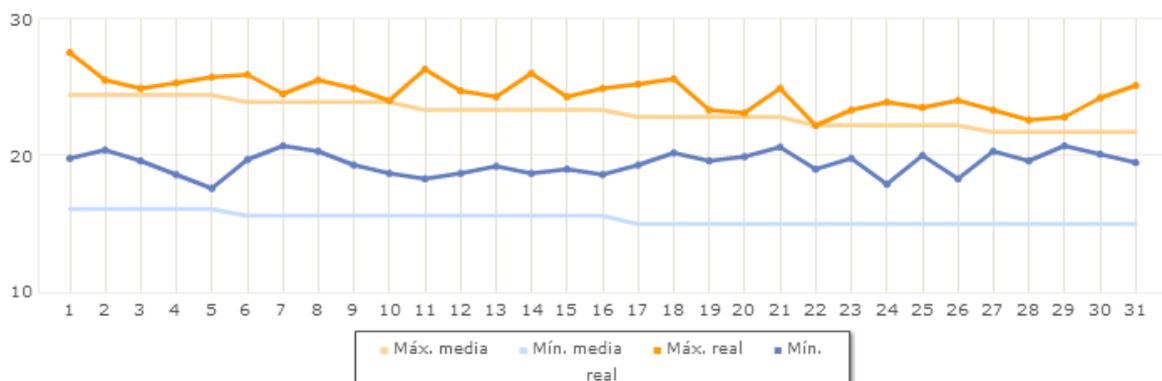
En Lima habrá variaciones bruscas durante todo el mes. “(El cielo) puede amanecer cubierto y luego presentar brillo solar o al revés”, explica Cuba.

Por ello, por ahora los limeños deben tener vestimenta “apropiada” tanto para ambientes frescos como calurosos.

www.accuweather.com/es/pe/lima/264120/may-weath/264120

Lima, Pe TIEMPO METEOROLÓGICO

Gráfico de temperaturas mayo 2015



Lima, Pe TIEMPO METEOROLÓGICO

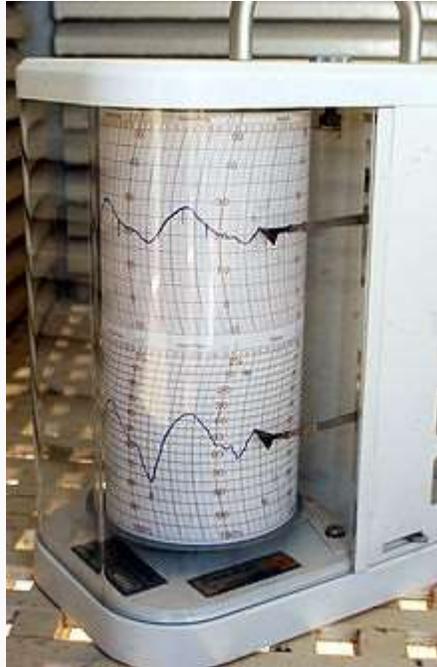
< abril 2015 | Vista:   mayo 2015 > | junio 2015 >

domingo	lunes	martes	miércoles	jueves	viernes	sábado
abr 26	27	28	29	30	may 1	2
Temp. real 24° Mín. 20° Media histórica 25° Mín. 16°	Temp. real 24° Mín. 20° Media histórica 25° Mín. 16°	Temp. real 25° Mín. 19° Media histórica 25° Mín. 16°	Temp. real 25° Mín. 19° Media histórica 25° Mín. 16°	Temp. real 27° Mín. 18° Media histórica 25° Mín. 16°	Temp. real 28° Mín. 20° Media histórica 24° Mín. 16°	Temp. real 26° Mín. 20° Media histórica 24° Mín. 16°
3	4	5	6	7	8	9
Temp. real 25° Mín. 20° Media histórica 24° Mín. 16°	Temp. real 25° Mín. 19° Media histórica 24° Mín. 16°	Temp. real 26° Mín. 18° Media histórica 24° Mín. 16°	Temp. real 26° Mín. 20° Media histórica 24° Mín. 16°	Temp. real 24° Mín. 21° Media histórica 24° Mín. 16°	Temp. real 26° Mín. 20° Media histórica 24° Mín. 16°	Temp. real 25° Mín. 19° Media histórica 24° Mín. 16°
10	11	12	13	14	15	16
Temp. real 24° Mín. 19° Media histórica 24° Mín. 16°	Temp. real 26° Mín. 18° Media histórica 23° Mín. 16°	Temp. real 25° Mín. 19° Media histórica 23° Mín. 16°	Temp. real 24° Mín. 19° Media histórica 23° Mín. 16°	Temp. real 26° Mín. 19° Media histórica 23° Mín. 16°	Temp. real 24° Mín. 19° Media histórica 23° Mín. 16°	Temp. real 25° Mín. 19° Media histórica 23° Mín. 16°
17	18	19	20	21	22	23
Temp. real 25° Mín. 19° Media histórica 23° Mín. 15°	Temp. real 26° Mín. 20° Media histórica 23° Mín. 15°	Temp. real 23° Mín. 20° Media histórica 23° Mín. 15°	Temp. real 23° Mín. 20° Media histórica 23° Mín. 15°	Temp. real 25° Mín. 21° Media histórica 23° Mín. 15°	Temp. real 22° Mín. 19° Media histórica 22° Mín. 15°	Temp. real 23° Mín. 20° Media histórica 22° Mín. 15°
24	25	26	27	28	29	30
Temp. real 24° Mín. 18° Media histórica 22° Mín. 15°	Temp. real 24° Mín. 20° Media histórica 22° Mín. 15°	Temp. real 24° Mín. 18° Media histórica 22° Mín. 15°	Temp. real 23° Mín. 20° Media histórica 22° Mín. 15°	Temp. real 23° Mín. 20° Media histórica 22° Mín. 15°	Temp. real 23° Mín. 21° Media histórica 22° Mín. 15°	Temp. real 24° Mín. 20° Media histórica 22° Mín. 15°
31	jun 1	2	3	4	5	6
Temp. real 25° Mín. 20° Media histórica 22° Mín. 15°	Temp. real 24° Mín. 19° Media histórica 21° Mín. 14°	Temp. real 22° Mín. 20° Media histórica 21° Mín. 14°	Temp. real 22° Mín. 20° Media histórica 21° Mín. 14°	Temp. real 22° Mín. 20° Media histórica 21° Mín. 14°	Temp. real 24° Mín. 19° Media histórica 21° Mín. 14°	Temp. real 25° Mín. 19° Media histórica 21° Mín. 14°

< abril 2015 | | junio 2015 >

ANEXO B

Humedad del aire



Un termohigrógrafo utilizado para medir sobre una banda de papel la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa.

La **humedad del aire** se debe al vapor de agua que se encuentra presente en la atmósfera. El vapor procede de la evaporación de los mares y océanos, de los ríos, los lagos, las plantas y otros seres vivos. La cantidad de vapor de agua que puede absorber el aire depende de su temperatura. El aire caliente admite más vapor de agua que el aire frío.

Una forma de medir la humedad atmosférica es mediante el higrómetro.

El vapor de agua tiene una densidad menor que el aire, luego el aire húmedo (mezcla de aire y vapor) es menos denso que el aire seco.

Además, las sustancias, al calentarse, dilatan, luego tienen menor densidad. El aire caliente que contiene vapor de agua se eleva en la atmósfera.

La temperatura de la atmósfera disminuye una media de 0,6 °C cada 100 m en adiabática húmeda, y 1,0 °C, en adiabática seca.

Al llegar a zonas más frías el vapor de agua se condensa y forman las nubes (de gotas de agua o cristales de hielo). Cuando estas gotas de agua o cristales de hielo pesan demasiado caen y originan las precipitaciones en forma de lluvia o nieve.

Evaluación de la humedad del aire ambiente

Hay varios modos de estimar la cantidad de vapor en el aire ambiente, cada una de ellas con aplicación en una ciencia o técnica específica.

Son:

Humedad absoluta

La humedad absoluta es la masa total de vapor de agua existente en el aire por unidad de volumen, y se expresa en gramos por metro cúbico de aire. La humedad atmosférica terrestre presenta grandes fluctuaciones temporales y espaciales.

El cálculo es:

$$AH = \frac{m_w}{v_a}$$

Dónde:

AH es Humedad Absoluta

m_w es la masa de vapor de agua

v_a Es el volumen de aire

Humedad específica

La humedad específica mide la masa de agua que se encuentra en estado gaseoso en un kilogramo de aire húmedo, y se expresa en gramos por kilogramo de aire (g/kg).

Razón de mezcla

La razón de mezcla o **relación de mezcla**, es la cantidad de vapor de agua contenido en el aire medido en gramos de vapor por kilogramo de aire seco (g/kg). En la práctica es muy semejante a la humedad específica, pero en ciertas aplicaciones científicas es muy importante la distinción.

Humedad relativa

La humedad relativa de una masa de aire es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene y la que tendría si estuviera completamente saturada; así cuanto más se aproxima el valor de la humedad relativa al 100% más húmedo está.

Se calcula así:

$$HR = \frac{p_{(H_2O)}}{p^*_{(H_2O)}}$$

Dónde:

HR es la humedad relativa de la mezcla de aire (%).

$p_{(H_2O)}$ Es la presión parcial de vapor de agua en la mezcla de aire (Pa).

$p^*_{(H_2O)}$ Es la presión de saturación de agua a la temperatura de la mezcla de aire (Pa).

Presión parcial del vapor de agua

La presión parcial del vapor de agua es la parte de la presión atmosférica total ejercida por el vapor de agua contenido en la atmósfera. Se expresa en unidades de presión, milibares o cm o mm de mercurio.

El comportamiento de la mezcla de aire seco y vapor de agua sigue la ley de Dalton de las presiones parciales, de acuerdo a sus respectivas propiedades. (La presión total de una mezcla de gases es igual a la suma de las presiones parciales de sus componentes. $P_t = p_1 + p_2 + p_3 + \dots$ y la presión parcial es la presión que ejercería cada componente en las mismas condiciones del sistema).

Presión de saturación

Cuando el aire está saturado de vapor de agua, la presión parcial del vapor recibe el nombre de presión de saturación, el cual depende de la temperatura. Cuanto más caliente está una masa de aire, mayor es la cantidad de vapor de agua que admite. A temperaturas bajas puede almacenar menos vapor de agua. Cuando una masa de aire caliente se enfría se desprende del vapor que le sobra en forma de rocío o de precipitación.



Condensación.

Punto de rocío

Cuando la humedad relativa alcanza el valor 100% se producen fenómenos de condensación. Un ejemplo de ello es el rocío, que se debe a que, cuando la humedad relativa del aire ha alcanzado el 100%, el aire no admite más agua, por lo que el sobrante, condensa en forma líquida en superficies de los objetos, hojas, flores, etc.

Esto se produce cuando la temperatura desciende hasta el punto de rocío; lo normal es que se mantenga la cantidad de agua del ambiente constante y, si disminuye la temperatura, la humedad relativa va aumentando hasta que llega un momento en que se alcanza el 100%. Si sigue bajando la temperatura, el exceso de humedad (lo que supera el 100%) condensa en agua líquida. Por ejemplo: el aire a 24 °C con un 50% de humedad relativa, contiene unos 9 g de vapor por kilogramo de aire seco; si la temperatura del aire baja hasta los 13 °C, llegará al 100% y, en ese momento empezará a condensar.¹ Si esto ocurre en el exterior, se formará rocío; en un local cerrado puede ocurrir en un lugar determinado, como en el vidrio de una ventana que tenga la temperatura de rocío y se condensará el agua en él.

El rocío, en el exterior, se puede producir tanto en invierno como en verano (en este caso en climas continentales, en los que hay gran contraste de temperaturas entre el día y la noche). Cuando este fenómeno ocurre en invierno, con temperaturas por debajo de 0°C, la helada convierte el rocío en escarcha.



Higrómetro.

Instrumento de medida

El grado o cantidad de humedad de aire se mide con el higrómetro. Cuando el higrómetro marca el 100% se dice que el aire está saturado, es decir, contiene el máximo de humedad y es incapaz de admitir más vapor de agua.

La humedad en la comodidad del cuerpo humano

Sensación térmica

La humedad relativa está relacionada con la comodidad personal. La evapotranspiración es un fenómeno necesario para disipar el calor producido en el cuerpo humano. En ambientes fríos es conveniente limitarla para evitar pérdidas de calor excesivas, mientras que en ambientes cálidos es importante favorecerla, sobre todo cuando las temperaturas ambientales llegan a la temperatura del cuerpo (unos 36,5° C) o las superan, porque en este caso la evapotranspiración es el único recurso del cuerpo para disipar el calor.

El aire humedecido por la evapotranspiración, tiende a quedarse cerca de la piel, lo que la dificulta. Una corriente de aire puede sustituir este aire saturado por otro con menor contenido de humedad, que mejora el proceso de evaporación. De ahí que se sienta como un aire fresquito, cuando tiene la temperatura del resto, pero refresca el cuerpo con la evaporación. Si el ambiente es frío (estación invernal) el *aire fresquito* se convierte en *aire helador*.

Cuando la humedad es alta, el sudor del cuerpo no se evapora con facilidad y no puede bajar su temperatura correctamente; cuando es baja, en ambientes fríos, causa un exceso de pérdidas de calor del cuerpo por evaporación de agua, provocando sequedad de la piel y de las mucosas.

ANEXO C

El agua en los alimentos

La actividad de agua de los alimentos (AW) está relacionada con su textura y con la proliferación de los microorganismos patógenos

El agua, un elemento esencial para la vida, es además uno de los principales componentes de los alimentos y, por sí sola, un factor determinante para su conservación y seguridad. El ataque de los microorganismos es la principal causa de deterioro y su crecimiento está ligado a la cantidad de agua que contiene el alimento.

La actividad de agua (aw) es la cantidad de agua libre en el alimento, es decir, el agua disponible para el crecimiento de microorganismos y para que se puedan llevar a cabo diferentes reacciones químicas.

Tiene un valor máximo de 1 y un valor mínimo de 0.

Cuanto menor sea este valor, mejor se conservará el producto.

La actividad de agua está relacionada con la textura de los alimentos: a una mayor actividad, la textura es mucho más jugosa y tierna; sin embargo, el producto se altera de forma más fácil y se debe tener más cuidado.

A medida que la actividad de agua disminuye, la textura se endurece y el producto se seca más rápido. Por el contrario, los alimentos cuya actividad de agua es baja por naturaleza son más crujientes y se rompen con facilidad.

En este caso, si la actividad de agua aumenta, se reblandecen y dan lugar a productos poco atractivos.

En ambos casos, el parámetro de la actividad de agua del alimento es un factor determinante para la seguridad del mismo y permite determinar su capacidad de conservación junto con la capacidad de propagación de los microorganismos.

Cuanto menor es la actividad de agua de un alimento, mayor es su vida útil. Es importante diferenciar entre **cantidad** de agua y **actividad** de agua.

El primer término hace referencia a la cantidad total de agua presente en el alimento, aunque puede ser que no esté libre para interactuar. La actividad de agua, en cambio, hace referencia solo a la cantidad de agua libre en el alimento y disponible para reaccionar, es decir, la que puede facilitar la contaminación del producto.

Los alimentos con baja aw se conservan en óptimas condiciones durante períodos más largos de tiempo. Por el contrario, aquellos cuya actividad de agua es elevada están sometidos a contaminación microbiológica y su conservación es mucho más delicada. Por esta razón, en alimentos más perecederos se utilizan técnicas de conservación como la evaporación, secado o liofilización para aumentar así su vida útil. La actividad de agua es un parámetro que establece el inicio o final del crecimiento de muchos microorganismos. La mayoría de patógenos requieren una aw por encima de 0,96 para poder multiplicarse. Sin embargo, otros pueden existir en valores inferiores. Algunos hongos son capaces de crecer en valores inferiores a 0,6.

- **AW = 0,98:** pueden crecer casi todos los microorganismos patógenos y dar lugar a alteraciones y toxiinfecciones alimentarias. Los alimentos más susceptibles son la carne o pescado fresco y frutas o verduras frescas, entre otros.
- **AW=0,93/0,98:** hay poca diferencia con el anterior. En alimentos con esta aw pueden formarse un gran número de microorganismos patógenos. Los alimentos más susceptibles son los embutidos fermentados o cocidos, quesos de corta maduración, carnes curadas enlatadas, productos cárnicos o pescado ligeramente salados o el pan, entre otros.
- **AW=0,85/0,93:** a medida que disminuye la aw, también lo hace el número de patógenos que sobreviven. En este caso, como bacteria, solo crece *S. áureas*, que puede dar lugar a toxiinfección alimentaria. Sin embargo, los hongos aún pueden crecer. Como alimentos más destacados figuran los embutidos curados y madurados, el jamón serrano o la leche condensada.
- **AW=0,60/0,85:** las bacterias ya no pueden crecer en este intervalo, si hay contaminación se debe a microorganismos muy resistentes a una baja actividad de agua, los

denominados osmófilos o halófilos. Puede darse el caso en alimentos como los frutos secos, los cereales, mermeladas o quesos curados.

- **AW < 0,60:** no hay crecimiento microbiano, pero sí puede haber microorganismos como residentes durante largos periodos de tiempo. Es el caso del chocolate, la miel, las galletas o los dulces.

Controlar la actividad de agua

Controlar la actividad de agua (AW) en los alimentos es sinónimo de alargar su vida útil. Al conseguir una disminución de la cantidad total de agua libre, se disminuyen notablemente las probabilidades de contaminación microbiana. No todos los alimentos requieren los mismos cuidados. La miel no precisa cuidados extras; en cambio, alimentos como el pescado poco salado o los frutos secos más húmedos (higos) son más perecederos. En este caso, sí es importante el control de la actividad de agua.

Las dos maneras más importantes de reducir la actividad de agua de los alimentos pasan por el secado y la incorporación de sal o azúcar para atrapar las moléculas de agua. El primer método es el más antiguo y, además de secar, también ayuda a formar aromas y sabores típicos en los alimentos procesados con este método.

Según el tipo de alimentos, se utiliza uno u otro mecanismo de secado: para alimentos sólidos como vegetales, frutas o pescado, se utiliza el secado con aire caliente; para líquidos como la leche, el secado por aspersion; para mezclas pastosas líquidas, el secado al vacío; y para una amplia variedad de productos, el secado por congelación.

Otro método consiste en agregar sal o azúcar a los alimentos. Este no requiere máquinas especializadas, pero sí debe tenerse mucho cuidado durante su procedimiento.

Se añade azúcar en las mermeladas o concentraciones de salmuera en las carnes para disminuir la actividad de agua.

El producto terminado debe evaluarse para determinar en cifras su actividad de agua.

Dos moléculas de hidrógeno y una de oxígeno hacen de este compuesto un elemento vital para la vida de cualquier sustancia viva existente en la Tierra. Representa alrededor del 72% de la superficie total del planeta y entre el 50% y el 80% de la masa de los seres vivos. El agua es el compuesto químico primordial e insustituible para los seres vivos y sin ella no sería posible la vida. El ser humano posee un 80% de agua al nacer y entre un 60% y un 70% en la edad adulta. Para un adecuado funcionamiento, nuestro organismo requiere alrededor de tres litros de agua al día para evitar la deshidratación.

Se calcula que la mitad de esta cantidad viene dada por los alimentos, mientras que la otra mitad la debemos conseguir al ingerir líquidos. El agua más conocida es la mineral, compuesta a base de minerales y diversas sustancias disueltas que proporcionan un sabor y un valor terapéutico a la bebida. A menudo, proviene del deshielo y, a medida que desciende, adquiere las sales y los minerales.

El agua mineral siempre se ha bebido de la fuente, mientras que hoy en día es más común que las aguas minerales se embotellen y se distribuyan para su consumo. El agua carbonatada es la otra variante más consumida en todo el mundo. Conocida como agua con gas, contiene dióxido de carbono (CO₂) que desprende burbujas cuando se despresuriza. El agua con gas puede provenir del deshielo y se denomina agua mineral gasificada. Por el contrario, si se obtienen los minerales de manera artificial, se denomina agua gasificada artificialmente mineralizada.

La física del secado.

Evite la pérdida de toda una cosecha.

¿Qué es secar?

Secar es convertir agua (en su estado líquido) que está adherida o dentro de un objeto al estado de vapor, y sacar este vapor (extraerlo) moviendo el aire que lo contiene (ventilando).

El resultado es que el objeto húmedo lo es cada vez menos, es decir, se seca.

Todo el mundo sabe qué es secar: quitar agua o humedad. Pero poca gente entiende el proceso físico de secar con aire y esta falta de conocimiento puede provocar la destrucción de cosechas enteras durante los procesos de secado, curado y almacenaje.

El secado de un objeto (sea una cebolla, una papa u otro producto) es un proceso donde los siguientes parámetros juegan un papel determinante:

1. Temperatura del aire
2. Humedad relativa del aire
3. Presión del aire
4. Punto de rocío
5. Cantidad de aire
6. Temperatura del objeto

Los **primeros cuatro parámetros** están estrictamente relacionadas por **Leyes Físicas**.

Para secar de manera eficiente hay que ser consciente de lo que **determinan las leyes físicas**.

Las relaciones entre estos parámetros están reflejadas en el diagrama de **MOLLIER**.

En las cuales el **punto de rocío** juega un papel importante.

CALENTAR = SECAR CALENTAR = MOJAR

Ventilar algo que esté más frío que el aire:

Lo seca en ciertas circunstancias

Lo moja en ciertas circunstancias.

ENFRIAR = SECAR

Ventilar algo que esté más caliente que el aire de ventilación:

¡Siempre seca!

Ventilar con aire más frío que el objeto siempre seca el objeto.

Con **lluvia, humedad relativa muy alta y punto de rocío cerca de la temperatura del ambiente, utilizando las leyes físicas**, puede usted secar muy bien las cebollas o papas dentro del almacén.

Con **niebla, humedad relativa muy alta y punto de rocío cerca a la temperatura del ambiente** dentro del almacén se secan muy bien las cebollas o papas respetando las leyes físicas.

Un poco de ciencia: el proceso físico de secar.

¿Qué es el punto de rocío?

El punto de rocío es la temperatura a la que el vapor de agua contenido en el aire se condensa.

Cuando el aire se enfría hasta el punto de rocío, el agua que contiene empieza a transformarse en líquido, que forma gotitas microscópicas suspendidas en el aire (neblina) o gotas visibles de condensación sobre objetos, si estos están más fríos que el aire. La temperatura de rocío depende de la humedad relativa y de la presión del aire. Si el punto de rocío es menor de cero grados, se forma nieve o escarcha.

Un objeto cuya temperatura esté por debajo del punto de rocío del aire de ventilación se moja.

El punto de rocío se expresa en grados de temperatura.

Cuando aire se enfría hasta el punto de rocío el agua contenido por el aire empieza a condensarse o mejor dicho empieza a ser expulsado por el aire en forma de rocío, neblina o condensación en superficies frías.

El **punto de rocío** nunca está más alto que la temperatura de una determinada masa de aire, porque en cuanto la temperatura del aire baje hasta el punto de rocío, el aire empieza a expulsar agua en forma de rocío, neblina, condensación o escarcha, con lo cual baja su humedad relativa y con ella baja el punto de rocío. En realidad estos tres conceptos están relacionados y describen el mismo fenómeno físico.)

Cuanto más lejos esté el punto de rocío de la temperatura del aire, menos humedad contiene el aire. Por ejemplo, en el desierto del **Gobi**, aunque la temperatura del aire suba durante un día de

verano hasta 50° Celsius, el punto de rocío se quedará alrededor de 10°, mientras baja la humedad relativa del aire. Esta situación es la de un ambiente muy seco. En **Panamá**, la temperatura del aire puede subir a unos 35° con un punto de rocío de por ejemplo 32°, porque mientras se calienta puede seguir absorbiendo humedad del mar, las plantas, el suelo mojado, etc. Esta situación es la de un ambiente húmedo y bochornoso.

¿Qué es humedad absoluta?

Es la cantidad de agua que contenga una cierta cantidad de aire.

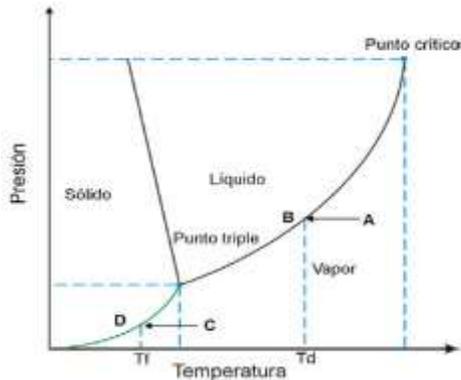
Por ejemplo, si un kilogramo de aire (1 metro cúbico aproximadamente) contiene 16,1 gramos de agua, decimos que su humedad absoluta es de 16,1 gr d. La humedad absoluta del aire no se suele medir sino que se calcula a partir de la humedad relativa o del punto de rocío. Se expresa en gramos de agua por kilogramo de aire.

¿Qué es la humedad relativa?

Es la proporción entre la humedad absoluta (la cantidad de agua que contiene el aire en este momento) y la máxima cantidad de agua que el aire podría contener a la temperatura y presión del aire actual. La **humedad relativa se mide directamente con un higrómetro**.

Importante: Cuando la **humedad relativa es 100%** la temperatura del aire es igual al **punto de rocío**. En esa situación decimos que el aire está **saturado** (de vapor de agua).

Las tres fases o estados del agua: vapor, líquido y sólido.



El llamado "**diagrama de fases**" muestra de forma simplificada la relación entre la *temperatura*, la *presión* y las *tres fases o estados* del agua (o de otra sustancia). A cada combinación de temperatura y presión, el agua tiene al estado que indica el diagrama.

Especialmente nos interesa donde el agua se convierte de agua a vapor.

Ahora nos interesa cuándo el agua tiende a transformarse en vapor:

1. Secar con calor y ventilación.
2. Secar con frío y ventilación.

1. Secar con calor y ventilación.

La temperatura es una medida de la cantidad de vibración de las moléculas, o sea de su energía cinética. Cuanto más se mueven las moléculas, más temperatura tienen y más tienden a escaparse del estado sólido (hielo) o líquido (agua) al estado gaseoso (vapor o gas verdadero).

Un objeto húmedo colocado en un ambiente relativamente seco (allí donde el aire tenga menos humedad que el objeto), se secará.

La intensidad del secado es dependiente de:

- **La temperatura del objeto.**- Cuanto más caliente esté el objeto, sus moléculas de agua tendrán más tendencia a escaparse del estado líquido al estado de vapor.
- **La humedad relativa del aire alrededor el objeto.**- Cuanto más baja la humedad relativa del ambiente (relativa a la temperatura del aire), más sitio hay entre las moléculas del aire para recibir moléculas de vapor que se desprendan del objeto.

Cada vez que escapa una molécula al estado de vapor, absorbe mucha energía y hace bajar la temperatura del objeto; compruebe este efecto soplando sobre su piel mojada.

Es principalmente por esto que secar requiere mucha energía.

Secar con calor y ventilación a la vez tiene un peligro.

Mientras los objetos (cebollas, papas, etc.) a secar tengan una temperatura por encima del punto de rocío del aire que ventila, no hay problema.

Pero si un objeto (una cebolla, por ejemplo) tiene una temperatura por debajo del punto de rocío del aire que la ventila, el aire que la toca se enfriará por debajo de dicho punto de rocío y entonces el vapor que el aire contiene se condensará sobre la piel de la cebolla, con el resultado contrario del que queremos: la cebolla se moja

Conclusión: Peligra la cosecha entera.

2. Secar con frío y ventilación.

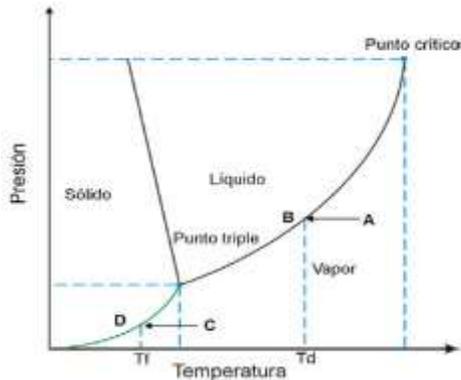


Diagrama de fases

Para estudiar el proceso de secar enfriando el aire nos interesa la línea (curva en el diagrama de fases) entre el estado líquido y el vaporoso.

Si se baja la temperatura del aire desde el punto donde está la letra "A" a donde está la "B" (cambio señalado en el gráfico con la flecha A-->B, a **presión constante**), la *humedad relativa* del aire sube hasta llegar al 100% en B. Ahí está el **punto de rocío**, la **humedad relativa es del 100%**, el **aire está saturado con agua**. Si baja un poco más la **temperatura** o *aumenta la presión*, vapor empieza a condensarse, es decir, el agua empieza a ser **expulsada del aire**, lo cual es lo contrario de secar. Esto es lo que pasa en la superficie del condensador de un aparato acondicionador de aire: cuando está funcionando el condensador gotea.

Enfriar el aire por debajo de su punto de rocío inicial equivale a secarlo.

El diagrama de Mollier es la base de los procesos de secado, curado y almacenaje.

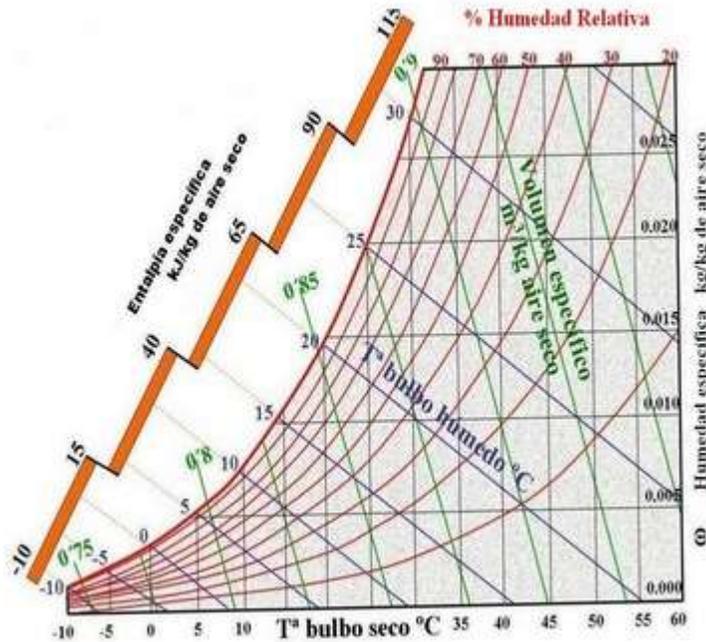


Diagrama de Mollier

Las relaciones entre **temperatura, humedad relativa, humedad absoluta, punto de rocío**, etc. son complejas y se plasman en el conocido **diagrama de Mollier**, simplificado aquí arriba a la izquierda.

No debemos profundizar en esta materia aquí. Pero como hemos dicho antes, todas estas magnitudes se relacionan estrictamente según **leyes físicas**, que están plasmadas en el **diagrama de Mollier** y también en la computadora del **Multiserver** de AgroVent systems BV.

Si el Multiserver tiene los datos de las temperaturas del ambiente, del almacén, del producto y la humedad relativa dentro y fuera del almacén, el Multiserver calcula cada segundo como está el aire dentro del almacén en relación a la condición requerida para el proceso activo (sea secar,

curar o almacenar) y actuar de inmediato para corregir la condición, manipulando las turbinas, compuertas, calentadores y condensadores.

Hemos dedicado varias páginas a estas relaciones físicas por el simple hecho que es muy importante que el operador entienda el daño que puede provocar con aire a la temperatura equivocada a un montón de cebollas o de papas; puede **mojarlas (empapándolas)** o **secarlas demasiado (deshidratándolas)**.

Si entienden estas relaciones, el operador estará en situación de reconocer de inmediato cuando la instalación automatizada se está equivocando.

Todo esto parece complicado pero en realidad es simple para una computadora.

Y para hacer estas relaciones todavía más comprensibles existen programas de simulación donde puede usted introducir distintas temperaturas, humedades relativas, etc. y verá cuando el aire seca y cuando el aire moja. Todo eso suponiendo que la instalación está al nivel del mar o la presión sea de una atmósfera.

Importante: Cuando se invierta en un almacenaje automatizado, la computadora debe tomar en cuenta la altura por encima del nivel del mar o la presión local.