

PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL

—
EL SECADO
A PEQUEÑA
ESCALA DE
LAS FRUTAS Y
CUCURBITÁCEAS
Y RAÍCES

CUADERNO TECNOLÓGICO N° 25

Autor:

Doctor Max Reyes

Consultor internacional especialista
en el tema, provisto en el marco
del contrato con Eptisa de España

Noviembre de 2015



Unión Europea



PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL



Unión Europea

Delegación de la Comisión Europea en Argentina
Ayacucho 1537
Ciudad de Buenos Aires
Teléfono (54-11) 4805-3759
Fax (54-11) 4801-1594



INTI



Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Gerencia de Cooperación Económica e Institucional
Avenida General Paz 5445 - Edificio 2 oficina 212
Teléfono (54 11) 4724 6253 | 6490
Fax (54 11) 4752 5919

www.ue-inti.gob.ar

CONTACTO

Información y Visibilidad: Lic. Gabriela Sánchez
gabriela@inti.gob.ar

—
EL SECADO
A PEQUEÑA
ESCALA DE
LAS FRUTAS Y
CUCURBITACEAS
Y RAÍCES

CUADERNO TECNOLÓGICO N° 25

Autor:

Doctor Max Reynes

Consultor internacional especialista
en el tema, provisto en el marco
del contrato con Eptisa de España

Noviembre de 2015



INTI



Unión Europea

INDICE

1. PRESENTACIÓN	4
2. INTRODUCCIÓN.....	6
3. LOS PRINCIPIOS DEL SECADO.....	7
3.1 LAS DEFINICIONES.....	7
3.2 EL AGUA DEL PRODUCTO.....	8
3.3 LAS CURVAS DE SORPCION	9
3.4 LAS CINÉTICAS DE SECADO.....	10
4. LAS TRANFERENCIAS DE CALOR Y AGUA.....	7
4.a LA TRANSFERENCIA DE CALOR	
4.b LA TRANSFERENCIA DEL AGUA	
4.1 EL DIAGRAMA PSICROMÉTRICO O DE MOLLIER.....	15
5. EL RENDIMIENTO ENERGÉTICO	17
5.1 ENERGÍA Y EFICIENCIA TÉRMICA.....	17
5.2 COMPARATIVO SECADEROS y RENDIMIENTO SECADO.....	17
6. LOS SECADEROS SOLARES	18
6.1 LOS PRINCIPALES TIPOS DE SECADEROS SOLARES	18
6.2 PASOS PRINCIPALES PARA SECAR Y LOS RENDIMIENTOS ESPERADOS	21
7. CALIDAD DE LOS PRODUCTOS.....	23
7.1 LOS CAMBIOS DE CALIDAD	23
7.2 LOS PRETRATAMIENTOS POSIBLES	24
7.3 CONSERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO	25
7.4 RIESGOS DE COMTAMINACIONES	25
8. BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES.....	27

1. PRESENTACIÓN

La Unión Europea y el INTI firmaron un convenio de financiación destinado a mejorar la competitividad de las miPyMEs del norte argentino acercando respuestas tecnológicas apropiadas al nuevo entorno productivo industrial. Los responsables de la ejecución del Proyecto "Mejora de las Economías Regionales y Desarrollo Local" son el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), en representación del gobierno nacional, y la Delegación de la Unión Europea en Argentina.

Durante más de medio siglo, el INTI ha construido capacidades profesionales e infraestructura tecnológica de relevancia que lo posicionan hoy como actor importante para aportar innovación tecnológica aplicada a los procesos productivos de toda la economía y para el desarrollo de soluciones industriales que incrementen la productividad y la competitividad de la industria nacional.

Con la ejecución de este proyecto se busca acercar la tecnología y las capacidades técnicas a las regiones de menor desarrollo relativo del país, poniendo a disposición de las miPyMEs y Pymes los medios para satisfacer las demandas de mejora de eficiencia y calidad de sus productos y/o servicios para dar un salto cualitativo en cada una de las provincias del NOA y NEA.

Por tanto, a través de un diagnóstico y evaluación de necesidades tecnológicas hecho en articulación con los gobiernos provinciales, se diseñó un plan de acción sectorial que se implementará hasta el 2015, en cinco sectores industriales determinados como prioritarios: industrialización de alimentos, curtiembre, textil, y metalmecánica junto a la gestión medioambiental como eje transversal a los sectores industriales anteriores.

El proyecto Mejora de las Economías Regionales y Desarrollo Local surge como parte de las acciones de vinculación internacional del INTI, en donde la cooperación técnica con organismos públicos y privados del mundo -presentes en el campo tecnológico- favorecen el intercambio de conocimientos como elemento fundamental para el desarrollo industrial local.

En esa dirección, uno de los componentes de este proyecto es la convocatoria de especialistas en diversas temáticas, para cumplir con misiones de trabajo en nuestro país. El objetivo de cada misión es brindar capacitaciones específicas a técnicos de las provincias norteñas, de acuerdo a la especialidad de cada experto, a grupos de trabajo de Centros Regionales de Investigación y Desarrollo así como a Unidades Operativas que conforman la red INTI, y brindar asistencia técnica a las miPyMEs que acompañen el desarrollo de las actividades del proyecto. Además, mantienen entrevistas con actores locales quienes constituyen un recurso esencial y estratégico para alcanzar los objetivos planteados.

La publicación que se dispone a conocer ha sido concebida como resultado de una misión técnica de uno de los expertos intervinientes en este proyecto. Cada experto al finalizar su trabajo en el país, elabora un informe técnico con recomendaciones para el fortalecimiento del sector para el cual fue convocado y que da lugar a la presente producción, editada con el propósito de divulgar los conocimientos a partir de las necesidades

detectadas y los resultados del intercambio efectivo hecho en territorio, conjugando los basamentos teóricos con la realidad local.

Dra. Graciela Muset

DIRECTORA DEL PROYECTO MEJORA DE LAS ECONOMÍAS REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL

Este documento ha sido realizado con la ayuda financiera de la Comunidad Europea. Su contenido es responsabilidad exclusiva del Doctor Max Reynes y, en ningún caso, se debe considerar que refleja opinión oficial de la Unión Europea

2. INTRODUCCION

El INTI de Argentina y la Unión Europea, dentro de un acuerdo de cooperación desarrollan asistencias técnicas a productores agrícolas de las regiones de NOA y NEA en el marco del proyecto "Mejora de las Economías Regionales y Desarrollo Local".

Para apoyar a las microempresas rurales y las pequeñas y medianas empresas Mi-Pymes, el INTI junto a la Unión Europea, tienen el objetivo de capacitar, informar, y asistir a los productores de pequeña escala, los industriales rurales, los funcionarios de las diferentes dependencias involucradas en el desarrollo rural, y especialmente interesados en dar apoyo a la política de "industrializar la ruralidad".

Este cuaderno tecnológico que se presenta aquí, sobre la tecnología de secado que se podría usar a pequeña escala, pretende servir de guía y de capacitación mínima a los productores locales interesados para mejorar el secado de sus productos y para las distintas agencias públicas que los respaldan.

Este cuaderno va presentar los datos básicos útiles para entender el proceso de secado, con valores técnicos, permitiendo a cada uno entender el fenómeno de extracción de agua de un producto fresco mediante un flujo de aire seco.

El objetivo es entonces presentar los principios del proceso de secado tomando en cuenta que este proceso de secado puede combinarse o no con otros procesos (confitacion por ejemplo) y que sea implementado a baja escala con poca inversión.

El secadero permite procesar casi todas las frutas locales y cucurbitáceas que se encuentran en las provincias visitadas del NEA y NOA como los zapallos, algarroba, tubérculos, plantas aromáticas, frutas, tallos y tubérculos.

Se ha excluido (para responder a los objetivos del cuaderno) las técnicas de alta inversión y alto costo de mantenimiento como los secaderos por atomización, liofilización y rollos.

3. LOS PRINCIPIOS DEL SECADO

Para adaptar las tecnologías a las realidades de las regiones del NEA y NOA, nos pareció conveniente exponer las bases teóricas y científicas del interés de la deshidratación con aire mediante un secadero para la conservación a pequeña escala de los productos perecederos y la valorización de un producto fresco con corto tiempo de almacenamiento, con alto contenido de agua.

El proceso de secado puede ser adaptado a empresas familiares con inversión escasa.

El secado de las frutas y vegetales permite conservar un producto al principio rico en agua y fácilmente perecedero. Este proceso elimina parcialmente el agua del producto mediante una acción combinada del calor y de un flujo de aire.

En general se logra obtener un producto seco que tendrá entre 10 y 15% de contenido de agua (un producto fresco tiene 80/90% de agua), mediante varios tipos de secaderos que pueden funcionar mediante una energía externa que puede ser el calor del sol, u otra fuente de energía.

3.1 LAS DEFINICIONES

Los contenidos en agua, las humedades y la noción de actividad de agua de un producto.

Un producto está caracterizado por:

- su contenido en agua: contenido Kg en agua/Kg materia seca
- su humedad es caracterizada por el Kg de agua/Kg de materia fresca (base húmeda)

La materia seca es entonces expresada en %: masa materia seca/masa producto húmedo.

La temperatura húmeda es la temperatura medida con un termómetro (cubierto de tela o algodón mojado). Es siempre menor o igual a la temperatura del aire dado que la evaporación del agua del algodón va a enfriar el bulbo del termómetro. Su medida era antes la única manera de evaluar la humedad del aire. El aire húmedo es el conjunto de aire seco y de vapor de agua.

El calor específico (cp) es la cantidad de calor necesaria para elevar un grado centígrado un gramo de sustancia y la capacidad calorífica (C) es la cantidad de calor necesaria para elevar un grado centígrado una determinada cantidad de sustancia.

El calor específico del agua es 418 Kjoules/Kg de agua/temperatura (en grados Kelvin), es decir que para calentar una agua de 0 a 100°C se necesitará 418 KJoules (calor latente); y se tiene que saber que para evaporar 1 kg de agua se necesita 2250 KJ/kg (calor de vaporización).

La entalpia (H) representa la cantidad de energía que un sistema (o un producto) puede intercambiar con su entorno: su variación expresa una medida de la cantidad absorbida o cedida por un sistema termodinámico (medido usualmente en Joules). Es una propiedad

extensiva (depende de la cantidad de materia presente) que se puede emplear para obtener el calor absorbido o desprendido por una reacción química. La entalpía es una función de estado.

Se ha elaborado curvas de humedad para mezclas de aire y vapor de agua, relacionadas con las temperaturas: eso es el diagrama de Mollier o diagrama psicrométrico.

La temperatura de rocío es la temperatura a partir de la cual el vapor de agua contenido en el aire va a condensarse cuando el aire se enfría.

3.2 EL AGUA DEL PRODUCTO

El objetivo principal del proceso de secado es transformar alimentos perecederos en productos estables y almacenables en el tiempo. El exceso de humedad se elimina del producto por evaporación del agua que contiene.

El producto final es un sólido. Además de contribuir a la conservación de alimentos, el secado reduce el peso y el volumen de éstos. Así el transporte se facilita y se reduce al mínimo el espacio de almacenamiento pero siempre se tiene que pensar que si los productos son demasiado secos su textura, características organolépticas y propiedades nutricionales pueden ser alteradas. Los productos secos no son estériles.

La "aptitud" de un producto para el secado varía por el mismo producto en función de su contenido de agua. Se estima que hay 4 tipos de aguas en un producto: (i) una capa molecular unida al producto con fuerzas de Van der Waals, (ii) una capa poly-molecular fuertemente ligada al producto, (iii) una agua osmótica absorbida débilmente al producto, (iv) una agua de impregnación superficial.

La actividad de agua (aw) o disponibilidad del agua está relacionada con el agua contenida en un producto. Esta "disponibilidad" aparente se cuantifica por una cantidad física sin unidades cuyos valores varían entre $0 < w < 1$ caracteriza cualquier producto para traducir la disponibilidad de agua en relación con las actividades enzimáticas o microbiológicas. Para una fruta seca se sabe que esta aw es 0,65 que corresponde a 14/16% de contenido de agua: así se podrá conservar sin riesgo alguno el producto seco.

Este dato cuantificando un contenido de agua (más o menos "disponible") de un producto y nos indicará si el secado es bien hecho o si vamos a tener contaminaciones. Esta disponibilidad del agua varía de un producto a otro, dependiendo de su composición bioquímica; ciertas estructuras o moléculas retienen el agua más que otros.

Se define esta noción respecto a un estado de referencia es agua pura, para la cual la actividad es igual a 1.

Para la mayoría de las frutas y verduras, una parte importante del agua del producto estará en la forma de agua libre en la superficie del producto. La actividad del agua de un producto fresco es siempre menor o igual a 1. Esta agua puede evaporar: se dice que este producto tiene agua libre. Es el caso de los productos muy hidratados.

Cuando la actividad de agua de un producto es menor que 1, esto significa que los constituyentes del producto fijan parcialmente el agua y se reduce así su capacidad para vaporizar. Esto se conoce como agua ligada más o menos al producto por adsorción.

$aw = P / P'$ (=Presión parcial del vapor de agua del producto) / P' (=presión parcial del vapor de agua del agua pura)

En este punto es importante entender que el secado no es un proceso homogéneo en el tiempo, sino más bien debe ser visto como una sucesión de fases bastante diferentes, en las que será necesario para volver después de explicar cómo hacer el intercambio de agua entre el producto y el aire. El secado debe permitir la obtención de un producto con un contenido de agua que asegurará su estabilidad microbiológica, contenido de humedad que debe conectarse a un valor de actividad de agua.

El valor límite del desarrollo de diversos contaminantes es una aw de 0,65; eso quiere decir que se tendrá que secar para sacar el agua hasta obtener una aw de $\leq 0,65$.

3.3 LAS CURVAS DE SORPCION

Para cada producto que se va a secar se tiene que conocer el punto ideal de secado (y entonces su contenido en agua). Para lograr esta característica se tiene que marcar una curva del isoterma de sorción relacionando el contenido en agua (para 100 gramos) y la actividad de agua (para el objetivo de conocer cuál será la cantidad de agua de un producto seco final que tendrá una aw=0,6 por ejemplo. Esta evaluación se hace una vez en laboratorio mediante sales específicas que tienen una actividad de agua bien conocidas (estándares).

Las sales de referencia (útiles para marcar una curva de opción) con sus actividades de agua específicas son las siguientes:

Sales y actividades de agua correspondientes:

Cloruro de litio caracteriza una aw de 0,1116

Acetato de potasio: 0,2161

Cloruro de magnesio: 0,3238

Carbonato de potasio: 0,4317

Bromuro de sodio: 0,5603

Cloruro de estroncio: 0,6911

Cloruro de potasio: 0,8362

Cloruro de bario: 0,8980

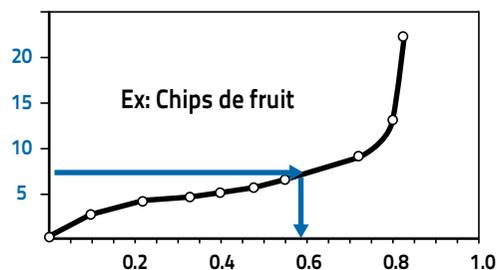


Figura N° 1: Ejemplo de curva de sorción

Se representa en esta curva, en rojo son los valores de contenido de agua (5,10,20%) y se presenta la escala de a_w de 0 a 1, el óptimo en valor de a_w es 0,6.

De esta curva se puede concluir que se tiene que secar el producto hasta tener un contenido de agua de 8% (relacionado con una a_w de 0,6).

3.4 LAS CINÉTICAS DE SECADO

El contenido inicial de agua antes del secado (que es una característica del producto), es del 95% para los tomates y el 20% para el trigo). El contenido de agua final será de 5/8% para ambos por ejemplo. Se especifica de manera anticipativa (con las curvas de sorción por ejemplo) el nivel de humedad del producto, para conseguir asegurar su conservación durante un largo tiempo.

No se debe confundir la materia seca, que es lo que queda cuando el producto ha perdido toda su agua (obtenido por un largo tiempo en el horno) y el producto seco, que es el producto final después del secado y todavía contiene un poco de agua.

Durante el secado hay reacciones varias afectando la calidad del producto seco. Para evaporar el agua se requiere energía. La transformación del agua de una forma a otra (líquida, vapor), también llamado cambio de estado absorbe o suministra energía según sea apropiado. Se tiene primero que vaporizar y después evaporar.

Hay varias etapas dentro de un proceso de secado. Al inicio, el agua libre se comporta como una agua pura: para vaporizarla se necesita una energía baja (del orden de 2.400 kJ / kg de agua libre). Las etapas siguientes del secado cuando se tendrá que evaporar el agua residual se requerirá mucho más energía.

Para asegurarse que el proceso de secado es correcto se tiene que seguir el tiempo de secado así que los contenidos de agua residual del producto.

El método es lo siguiente. Con un sistema de balanza vamos a establecer (paso a paso) el contenido de agua primero del producto analizado y en seguida, cada 2 horas por ejemplo, el peso del producto (o de la bandeja sacándola del secadero para tomar el peso).

Se establece de esta manera una curva de secado (seguimiento del peso del producto hasta peso constante) que nos va a dar las informaciones sobre datos sobre duración del secado.

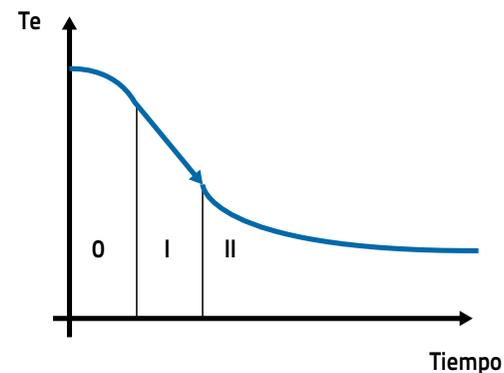


Figura N° 2: Curva de secado relacionado una temperatura (T_e) con el tiempo (en horas por ejemplo)

En la porción de la curva delimitada "etapa 0", hay mucho agua libre y móvil: los fenómenos de difusión térmicas y másicas son rápidos. Las transferencias externas son limitantes: es por eso que la calidad del aire es importante (humedad, velocidad) y que a este nivel se puede emplear una temperatura alta (por ejemplo 80°C).

Dentro de la segunda parte de la curva (denominada "etapa I") ya no hay agua libre y este agua es menos móvil: los transportes de agua y de calor internos al producto son los factores limitantes y caracterizan un producto.

En la última etapa (denominada etapa II), ya no hay agua libre a la superficie del producto, los transportes internos de las moléculas de agua son limitantes.

Para los tiempos más largo de secado, el contenido de agua del producto acerca el contenido de agua del aire (en equilibrio: $a_w =$ Humedad del aire) y se puede apurar el proceso de secado.

4. LAS TRANSFERENCIAS DE CALOR Y AGUA

Se puede clasificar el proceso de secado según dos vías:

Mediante un flujo de aire que va extraer la humedad

- el producto está en contacto con un flujo de aire bastante seco y caliente (secadero, efecto solar)
- La temperatura del agua del producto es inferior a la su temperatura de ebullición
- la evaporación se hace bajo el efecto de una diferencia de la presión parcial del vapor de agua entre la superficie del producto y la del aire
- el modo de transferencia del calor se hace mediante una convección

Mediante un proceso de ebullición

- el producto está en contacto de una superficie caliente
- la temperatura del producto es superior a la su temperatura de la ebullición
- secado interviene cuando la temperatura del producto este >a la presión atmosférica
- el modo de transferencia del calor se hace por conducción (secadero tipos cilindros)

No se va a describir este último proceso de secado por ebullición dado que no se aplica al secado a pequeña escala.

El proceso más empleado para secar a pequeña escala consiste en colocar los productos en un flujo de aire caliente y seco (Figura N° 3). El agua se evapora bajo el efecto del gradiente de presión parcial de vapor de agua. Este gradiente de vapor de agua se genera por el calor (producida con energías tales como la combustión de propano (lo más empleado en secado) o para los secadores solares, la energía solar.

Se hace circular el aire caliente en el secadero con un ventilador. Así la transferencia de calor se efectúa por movimientos convectivos. Los intercambios de calor son favorecidos cuando se emplea una velocidad del aire (flujo turbulento) óptima de 1m/segundo .

El calor es difundido en el producto bajo el efecto de diferencias de temperatura. Bajo la acción del calor, el agua migra desde el interior a la superficie del producto por difusión. En la superficie, el vapor de agua en el aire se vaporiza y se elimina por convección .

La característica del aire aparece entonces importante para el secado: se trata de la húmeda absoluta y del contenido en agua del aire: Y (kg agua / kg aire seco)

La humedad relativa (higrometria) que representa el grado de saturación del aire con el vapor de agua: $\frac{\text{Presion agua}}{\text{presion agua sat}}$ (a una temperatura T)

Las temperatura seca T_s (°C) y la temperatura húmeda T_h (°C)

$$\begin{aligned} \text{La entalpia del aire ((kJ/kg aire seco)} &= \text{Humedad aire seco} + \text{Humedad vap agua} \\ &= C_{p\text{aire}} \cdot T_s + Y (C_{p\text{eau}} \cdot T_s + \Delta H_v) \end{aligned}$$

* $C_{p\text{aire}}$. T_s = entalpia necesaria para calentar el aire de 20°C a T_s

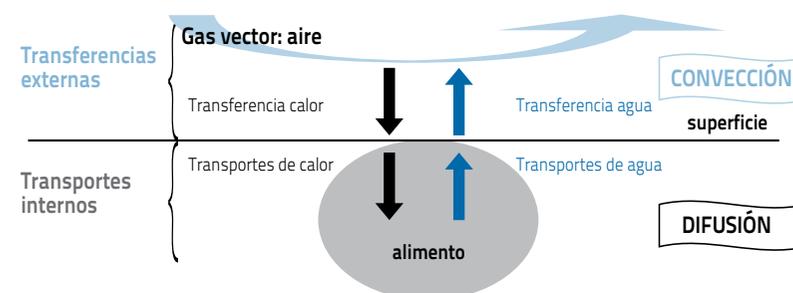
*Y ($C_{p\text{eau}} \cdot T_s + \Delta H_v$): entalpia del agua a T_s +entalpia de vaporizacion del agua a T_s

Con estas fórmulas se puede trabajar sobre un diagrama psicrométrico del aire húmedo o diagrama de Mollier.

Cuando se seca un producto, hay unas transferencias e intercambios entre el producto y el aire. Se tiene dos tipos de fenomeno:

- transferencias de calor (al nivel interno del producto o al nivel del aire al contacto con el producto)
- transferencias de materia (es el agua que sea al nivel interno o externo)

Principio del secado por extracción por el aire



Transferencias externas: entre la superficie del producto y el gas vector de secado (aire)

Transportes internos: al nivel del producto

Figura N° 3: Esquema de las transferencias y transportes de calor y del agua durante el secado de un producto con aire (referencia curso Dr A Collignan (antoine.collignan@cirad.fr);

4.a la transferencia de calor (Ref. bibliográfica Collignan)

Al nivel interno:

Se tiene (debido a un gradiente de temperatura) una difusión del calor de la superficie del producto hacia el corazón.

Esta difusión de calor sigue la ley de Fourier. La difusión aparente del calor en m^2 /segundos) depende del contenido de agua y de la temperatura caracterizada por Q (flujo de calor en w/s).

$$Q = -\lambda A \cdot dt/dx$$

en donde:

- A es la area de intercambio en m²
- λ alimento es la característica de la conductividad termica del alimento en w/m.sec.K
- dT/dX: gradiente de temperatura (K.m)

Al nivel externo:

Se trata de la circulación del aire alrededor del producto, con una velocidad mínima para asegurar la extracción del agua: se trata de un fenómeno de transferencia por convección.

Al contacto del alimento, se encuentra un equilibrio de temperatura y de humedad entre el producto y el aire.

$$T_{\text{aire}} = T_{\text{producto}} \text{ y } HR = a_w \text{ producto} = P_v \text{ producto} / P_{v_{\text{aire saturado}}}$$

Se puede determinar el flujo de calor (Q) expresa en watts: $Q = A \cdot h (T_{\text{aire}} - T_{\text{producto}})$

En donde :

- A es la área de contacto en m²
- h es el coeficiente de transferencia de calor (w/m².K)
- T las temperaturas del aire y productos en K (° Kelvin)

4.b La transferencia de agua (Ref. bibliográfica/Collignan)

Al nivel interno:

Se trata de modelizar la transferencia del agua del centro del producto a la superficie. A este último nivel habrá una evaporación del vapor de agua. Se podrá observar un gradiente de concentración interna de agua ($D_{\text{app}} dC/dx$), así que una migración del agua a partir del corazón del producto. Una difusión según la segunda ley de Fick ocurrirá.

La difusibilidad aparente (D en m²/s) dependerá del gradiente de agua y de la temperatura y es representada por la fórmula siguiente:

$$\partial X / \partial t = -D_{\text{app}} dC / dx \text{ (Ref. bibliográfica/Collignan)}$$

Al nivel externo:

Es la transferencia del agua del producto al aire debido al flujo de aire. El agua es evaporada bajo la influencia de la presión parcial del agua encontrada entre la superficie del producto y el aire cuyas características son las siguientes:

- HR_{aire} (humedad relativa) < a_w del alimento es decir la importancia de la característica del aire

- la transferencia del agua se hace por la diferencia de presión parcial del agua del producto y del aire

Se puede explicar este fenómeno mediante la fórmula siguiente:

$$m = A K_p (P_{\text{producto}} - P_{\text{aire}})$$

en donde tenemos:

- m= flujo de agua en Kg/s
- A= superficie de intercambio en m²
- K_p= coeficiente de transferencia de materia en Kg/m².s.Pa
- P_{producto}= presión parcial del vapor de agua a la superficie del producto (Pa)
- P_{aire}= presión parcial del vapor de agua del aire (Pa)

4.1 EL DIAGRAMA PSICROMÉTRICO O DE MOLLIER

Para optimizar el uso del diagrama de Mollier (Figura N° 4) se tiene que pensar que, por ejemplo, un aire a 20°C de temperatura tiene una humedad relativa de 30%.

Entonces se puede marcar en el diagrama una línea roja a la vertical de los 20°C que va a cruzar la curva de higrometría de 30%. Con esta línea roja se puede llegar a las curvas de entalpías que nos indica a la intersección, un valor de entalpia del aire seco que estará en nuestro ejemplo: 31Kj/kg de aire seco.

También, siguiendo una línea horizontal del cruce (vertical temperatura e higrometría de 30%) vamos a leer en la escala de los contenidos en agua que este aire tiene 4,3 gramos de agua / Kg de aire seco.

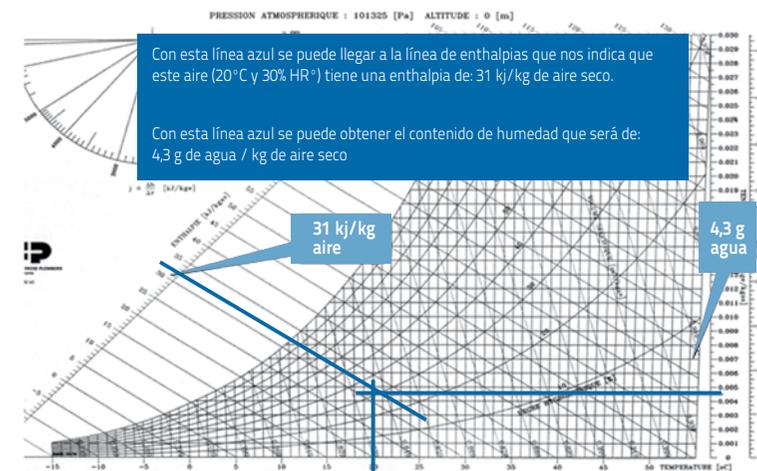


Figura N° 4: diagrama de Mollier y lecturas informaciones

Si seguimos la lectura (Figura N° 5) y tomando en cuenta que dentro de un secadero, calentamos el aire para por ejemplo subir su temperatura de 40°C, vamos a ver:

- a la vertical del valor de la temperatura de 40°C vamos a marcar una línea verde para llegar a la intersección de la línea roja ya dibujada horizontalmente (conservamos el mismo contenido de agua a saber 4,3 g de agua / kg de aire seco).
- Se puede así leer las curvas del grado de higrometría que será de 9% de HR. Con esta línea verde se puede conseguir la entalpía del aire que tenemos (40°C y 9% HR): 51,3 kJ

Con la experiencia vamos a escoger una humedad relativa del aire después del secado de 60% de HR (salida secadero)

El secado es isoentálpico: el valor de la entalpía del aire es (51,3 kJ) es conservada.

Pero a la intersección con la curva de higrometría de 60%, marcar una línea verde en paralelo a los contenidos de humedad: así obtenemos un contenido de agua de este aire de: 10,8 g de agua / kg de aire seco

Se puede así conocer la cantidad de agua extraída por cada Kg de aire seco: $10,8 - 4,3 = 6,5$ g

Con el flujo de aire de secado (kg/h) se podrá calcular la cantidad de agua extraída.

Marcando la línea verde vertical, se obtiene el valor de la temperatura del aire a la salida del secadero: 23,6°C

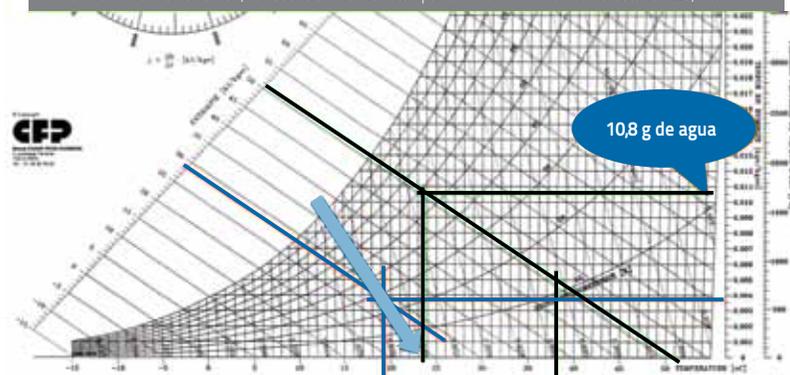


Figura N° 5: diagrama de Molier N° 2 y lecturas informaciones

Con la experiencia de manejo de secaderos (figura N° 5), se escoge en general una humedad relativa del aire después del secado de 60% de HR (salida secadero), se puede concluir y adaptar el secadero así:

El secado es isoentálpico: el valor de la entalpía del aire es (51,3 kJ) es conservada

A la intersección con la curva de higrometría de 60%, podemos marcar una línea en paralelo a los contenidos de humedad: así obtenemos un contenido de agua de este aire de: 10,8 g de agua / kg de aire seco.

Se puede así conocer la cantidad de agua extraída por cada Kg de aire seco: $10,8 - 4,3 = 6,5$ g.

Con el flujo de aire de secado (kg/h) se podrá calcular la cantidad de agua extraída. Marcando la línea verde vertical, se obtiene el valor de la temperatura del aire a la salida del secadero: 23,6°C

5. EL RENDIMIENTO ENERGÉTICO

5.1 ENERGÍA Y EFICIENCIA TÉRMICA

Los coeficientes del calor másico son:

para el aire (C_p aire) = 1 kJ/kg Aire seco

para el agua (C_p agua) = 4,18 kJ/kg agua/° Kelvin

y para evaporar 1kg de agua se necesita 2250 kJ/kg de agua

La eficiencia de un secadero se calcula así:

$$\frac{(\text{producto húmedo} - \text{producto seco}) \times 2250}{\text{Cantidad de gas (butano por ejemplo)} \times 46000}$$

con las datos siguientes:

46000 kJ = calor másico para 1kg gas butano

2250 kJ = calor másico para 1kg de agua

Se tiene que notar que la leña tiene un valor de 1200 y 2700 kJ/kg, muy inferior a la del gas butano por ejemplo.

Finalmente tiene que recordarse que para evaporar el agua libre de una fruta se necesita 2400 kJ/kg de agua y entonces 50 gramos de gas butano o 1kg de leña.

5.2 COMPARATIVO SECADEROS Y RENDIMIENTO SECADO

Cuando se compara los secaderos actualmente presente en el mercado, que se calcula la energía necesaria para secar 100kg de mangos tenemos los resultados siguientes:

- secaderos (N° 1) con una convección natural: 10,7 Kg de gas que permite obtener 11 Kg de mangos deshidratados
- secaderos (N° 2) térmicos con flujo de aire y ventilador: 7kg de gas +1,53kw que permite obtener 13 Kg.

Por ejemplo en un país en donde tenemos los costos siguientes de energía siguientes para secar:

- (i) Gas: 0,46 US\$ / kg gas ; poder calorífico (PCI): 45600 kJ / kg;
- (ii) Electricidad: 0,26 US\$ / kwh eléctrico,

El costo final relativo del producto seco es de 0,44 US\$ para el N°1 y 0,28 para el N°2 (lo más eficiente en general en todos los países),

6. LOS SECADEROS SOLARES

Cuando se usa secaderos solares, el tiempo de secado depende de varios factores a saber:

- los tipos de productos (contenido de agua) a secar,
- los tamaños de los trozos del producto
- las condiciones atmosféricas tales como la temperatura del aire, la humedad relativa del aire y su velocidad.

En general a pequeña escala se desarrolla secaderos solares que permiten secar los productos en unos días (2 hasta 15 días). La duración del secado puede ser reducida cuando se utiliza una energía mixta (solar y gas por ejemplo) pero las inversiones son mucho más altas.

6.1 LOS PRINCIPALES TIPOS DE SECADEROS SOLARES

Muchos datos de este capítulo tienen como referencia "la guía de uso de secaderos solares/Fundación Celestina Pérez de Almada" (ver bibliografía).

Hay dos tipos de secaderos que utilizan la energía solar:

- los secaderos con secado directo por el sol,
- los secaderos con secado indirecto por el sol

Los secaderos directos tipo carpa y túnel

El secadero tipo carpa y túnel sirve para pequeños emprendimientos industriales. Se llama carpa si es una caja de tipo túnel de 1 metro que se pone en una mesa (foto N° 1) o una mesa/ túnel (foto N° 2) con una mesa. Ambos tienen una cobertura transparente de lámina de polietileno de larga duración. Se usa para el secado mesas de madera o de hierro con soportes de hilo de nylon. Sobre este se coloca una gasa o una malla fina sobre la cual se colocarán los productos a secar.

El aire circula en forma horizontal a través de todo el túnel, ingresando por un extremo y saliendo por el otro, generalmente con la ayuda de un ventilador eléctrico o de una chimenea.

Estos secaderos se usan cuando hay mucho sol y presentan los puntos positivos siguientes:

- muy cómodos de instalación: son mesas con protecciones para el agua, para los insectos.
- inversión muy baja

Los problemas ligados y las limitaciones para este tipo de secadero son las siguientes:

- tiempo de secado largo (mínimo 2/3 días de secado)
- no hay control posible del proceso de secado: depende de las condiciones climáticas
- muchas degradaciones por el sol y la luz ultravioleta: destrucción de las vitaminas A y C, pérdida de los colores; textura ablandada (fuerte actividad enzimática);
- mucha mano de obra

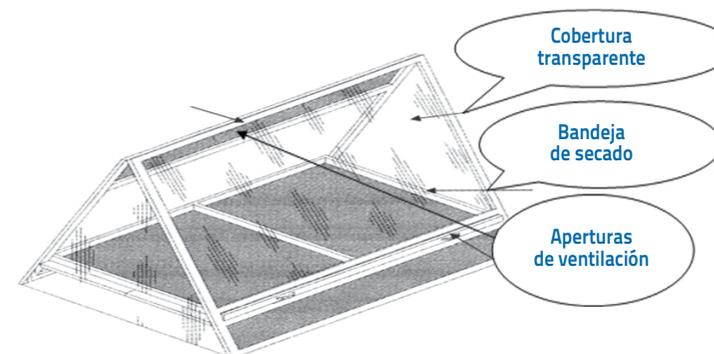


Foto N° 1: secado solar directo tipo carpa referencia: "la guía de uso de secaderos solares / Fundación Celestina Pérez de Almada" (ver bibliografía).



Foto N° 2: secado solar directo tipo túnel (foto de R. Anselin). Empresa Mangos de Matanzas, República Dominicana

Los secaderos indirectos (llamados también secaderos armarios)

En este caso los productos no están expuestos al sol directamente. De esta manera el producto seco conserva mejor su color inicial, y sus valores nutricionales (vitaminas A y C).

Es un modelo más complejo para secar todo tipo de alimentos, especialmente cuando el color y las propiedades naturales son exigidos.

Este tipo de secadero comprende:

- un colector solar inclinado, cubierto con vidrio, y tiene en su interior una chapa de color negro. El aire entra por la parte inferior del colector, calentándose para entrar finalmente en la cámara a donde están las bandejas y los productos para secar.
- una cámara de secado conteniendo superpuestas varias bandejas de secado removibles con tejido.
- un extractor en la parte superior de la cámara para extraer el aire húmedo.

Las dos partes están unidas entre sí en la parte inferior de la cámara.

Los limitantes son:

- los metros cuadrados del colector
- el costo importante del equipamiento
- la velocidad del secado que depende de las condiciones climáticas y de la concepción del secadero.

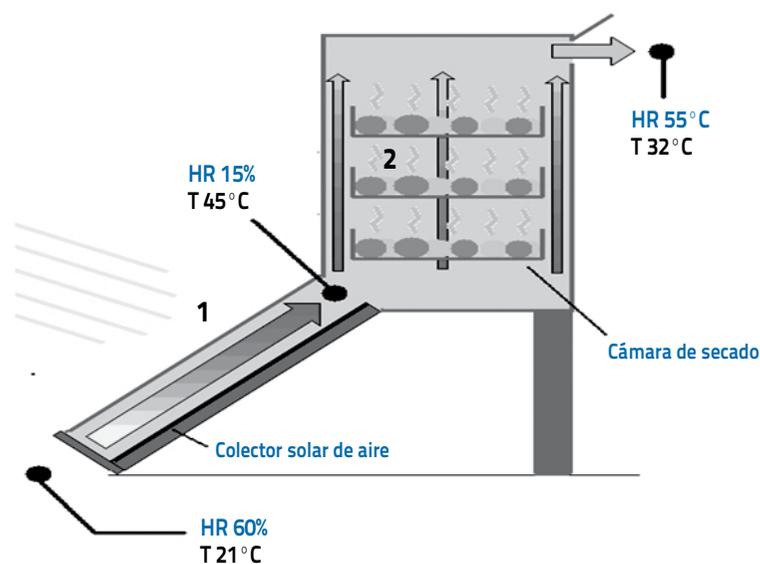


Foto 3: secadero solar indirecto tipo armario

Referencia: ECHEVERRIARZA, María Paz: "guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes," UNESCO 2015, Educación MERCOSUR Montevideo

6.2 PASOS PRINCIPALES PARA SECAR Y LOS RENDIMIENTOS ESPERADOS

Los pasos principales para secar son los siguientes:

- seleccionar las frutas maduras, en buen estado y descartar los que tienen manchas, y mal estado
- lavar con agua con cloro, y limpiar suciedad de la superficie de las frutas
- seleccionar las partes que se va a conservar, eliminando cáscara, semillas...
- cortar en trozos finos o por lo menos iguales, (los más grandes van a tardar para secar)
- lavar o limpiar los pedazos (eliminación restos de cáscara por ejemplo)
- hacer un pre tratamiento eventual si se requiere,
- colocar los trozos sobre las bandejas del secadero y seguir el secado hasta el contenido de agua deseado (o el peso si se hizo una calibración) colocar las frutas a razón de 10 - 12 kg/m²).
- seleccionar los trozos secos (eliminar los que tienen color no uniforme o si esta oscura)
- envasar en bolsas plástica con referencia de la fecha de envaso por ejemplo
- almacenar con buenas condiciones

Los rendimientos esperados

Para calcular de una manera muy sencilla las cantidades de producto seco que se lograra, se puede hacer los cálculos siguientes:

Ejemplo: 400 gr de tomates con unos 5% Ms (materia seca) y humedad fresca (HF) de 95%, y queremos un producto final de Hs (humedad producto seco) de 8% de humedad.

Materia seca producto inicial: $400 \times 5 = 20$ g

Contenido en agua = peso producto fresco (400) X 95% = 380 g

Rendimiento = $(100 - 95 (Hf) / (100 - 8 (Hs)) = 5/92 = 0,054$

Predicción de la masa de producto final: $0,054 \times 400 \text{gr} = 21,6 \text{gr}$ (el cual tendrá 8% de humedad).

Se presentan algunos datos relacionando el contenido inicial de agua de unos productos, la materia seca que en general se desea, y la temperatura recomendada para secar tal producto:

PRODUCTOS	CONTENIDO DE AGUA INICIAL	MATERIA SECA FINAL	TEMPERATURA DE SECADO RECOMENDADA
durazno	85	18	n/d
manzana	84	14	50
banana	80	15	70
guayaba	80	7	n/d
uva	80	15 a 20	55
mango	85	12 a 15	65
mamón	85	2 a 15	65
arveja	80	5	60
cebolla	80	4	55
hortalizas en hoja	80	10	50
tomate	95	8	65
repollo	94	4	55
zanahoria	70	5	60
ají	86	5	60
ajo	80	8 a 10	55
pescado (sin salado)	80	15 a 40	40
pescado (con salado)	80	35 a 45	40

Los rendimientos de producción dependen del tipo de producto (su % de materia seca inicial) y como ejemplo, son para 1kg de materia prima podemos citar los siguientes:

- 100 gramos para las cebollas, repollo, zanahorias, berenjena, mango, banana,
- 50/75 gramos para los tomates
- 150/200 gramos para la papa, mandioca, batata,

Al nivel del diseño de un secado solar, el rendimiento al nivel de un secadero solar (correspondiente a la superficie necesaria para evaporar 1 litro de agua) se calcula tomando en cuenta la energía solar. Así en el Chaco este valor fluctúa entre 8 Kw/h/día (promedio). Para evaporar 1 litro de agua la superficie de secado es de: $2240KJ / 8 \times 3600 \times 10h = 0,8M^2$

7. CALIDAD DE LOS PRODUCTOS

7.1. LOS CAMBIOS DE CALIDAD

Durante el secado tenemos varias reacciones en el producto :

- Desnaturalización y agregado de las proteínas
- Pérdidas de las substancias aromáticas y disminución del valor nutricional
- Vitaminas oxidadas,
- Modificación del color: empardeamiento enzimático
- Reacción de Maillard, empardeamiento químico

Las oxidaciones de los lípidos

Los lípidos cuando un secado es mal hecho van a oxidarse, dando un mal gusto (rancio) y bajando la calidad nutricional del alimento. Este fenómeno es influido por factores diversos:

- El grado de insaturación de lípidos: cuando más los lípidos son insaturados más la aptitud a la oxidación es fuerte;
- La temperatura: cuanto mayor la temperatura del producto es alta, más la oxidación es favorecida;
- La luz, la sal, ciertos metales pueden aumentar la velocidad de oxidación;
- La actividad del agua en el producto influye sobre la oxidación de los lípidos que es mínima cuando esta actividad es comprendida entre 0,2 y 0,4

Las modificaciones del color: empardeamiento enzimático y químico (Maillard)

- Los empardeamientos enzimáticos están favorecidos por el oxígeno, un pH de producto entre 5 y 7, y todos los golpes durante los almacenamientos, etc. Para limitar estas reacciones se puede blanquear el producto antes el secado, bajar el PH o añadir conservantes tales como el ácido ascórbico.
- Los empardeamientos químicos o reacciones de Maillard intervienen bajo el efecto de un tratamiento térmico o de una temperatura de secado demasiado alta sobre los azúcares y las proteínas, una aw entre 0,5 /0,7 un pH entre 1 y 7. Se caracteriza por la aparición de pigmentos obscuros negros que pueden modificar el sabor o el olor del alimento. Solo el uso del metabisulfito puede limitar estas reacciones.

La figura N° 5 nos indica las curvas representando las velocidades de varias actividades que destruyen la calidad de un producto en función de la Aw

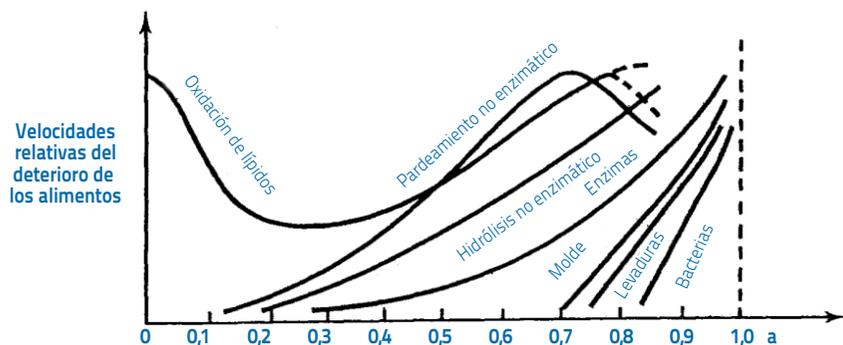


Figura N° 6: Velocidades de las degradaciones de la calidad en relación con la Aw

Se nota que las actividades microbianas se desarrollan entre los valores de la actividad de agua entre 0,6 y 1.

7.2 LOS PRETRATAMIENTOS POSIBLES

Para tomar en cuenta estos problemas ligados sobre todo a la duración del secado se puede combinar unos tratamientos preliminares permitiendo de mantener la calidad (color, nutrición):

Tratamiento de blanqueado consistiendo a poner las frutas en una solución a 80°C durante unos minutos para destruir las contaminaciones, las actividades enzimáticas y ablandar el producto.

Este tratamiento puede estar combinado con el uso de azúcares, poniéndolos dentro una solución de agua con azúcar (40gr/litro), y dejándolos después de blanquear durante 2/3horas a 50°c

Tratamiento con ácidos

Con ácido cítrico o jugo de limón o ácido ascórbico

Metodología: jugo de 1 limón con 1 litro de agua

Tratamiento con bicarbonato

El bicarbonato de sodio estabiliza los pigmentos verdes de las hojas y hortalizas. Hay ablandamiento de las cortezas del producto, facilitando la salida del agua durante el secado.

Método recomendado: disolviendo 30 g de bicarbonato de sodio más 3 g de sal común por cada litro de agua.

Tratamiento de ablandamiento

Para frutas que no se pelan antes de secarlas, como ciruelas, uvas e higos, se consigue un agrietado de la cáscara, usando una solución de hidróxido de sodio

Método: inmersión dentro de una solución (80°C) de hidróxido de sodio (10 g /litro) unas segundos seguido con una inmersión en una solución con jugo de limón o ácido cítrico (1-2 g por litro).

7.3 CONSERVACION Y ALMACENAMIENTO

Los productos secos deben estar envasados en bolsas de polipropileno o mejor en bolsas de tipo trípex (tres laminas) que no dejen pasar la humedad, el oxígeno, los rayos UV.

Para la buena conservación de los productos secos, se tiene que limitar la entrada de agua en el producto seco, mediante condiciones de almacenamiento que son:

- (i) Guardar los productos en un lugar seco, aireado, si es posible fresco y protegido de la luz. Este lugar debe ser limpio y protegido de insectos y ratones
- (ii) Cada cierto tiempo, hay que controlar el estado de los productos
- (iii) No depositar los productos almacenados en el suelo ni contra las paredes para evitar el riesgo de absorber humedad, ni al lado de otros productos que tienen olores (gasolina).

Si los productos secos son de buena calidad y están en buenas condiciones de almacenamiento pueden conservarse durante muchos meses.

Para aumentar el tiempo de almacenamiento, se puede usar unos frigoríficos con una temperatura de 10/15°c.

7.4 RIESGOS DE CONTAMINACIONES

Los productos secados no son estériles. Solo se tiene una reducción de los contaminantes debido a la Aw residual del producto seco.

Las contaminaciones microbianas son probablemente los factores limitantes más conocidos de la conservación de los alimentos. Ellas alteran el sabor y las características de higiene de los alimentos. Hay tres grupos principales de microorganismos: bacterias, levaduras y mohos. Estos microorganismos están presentes naturalmente en los alimentos, pero también pueden ser realizados por agentes externos (viento, el suelo, el agua, los insectos, las manipulaciones del hombre...).

Si levaduras y hongos son los principales responsables de los cambios en el sabor del producto, muchas bacterias pueden ser extremadamente perjudiciales para los seres humanos o la muerte sobre todo si el pH del producto final es superior a 4,8.

En general, el crecimiento microbiano se desarrolla cuando hay líquidos o ambientes muy húmedos, ricos en azúcar, y cuando se tiene temperaturas entre 20 y 50 ° C. Por lo

tanto, teniendo en cuenta el efecto de la humedad, aparece así el interés de secado para la conservación de alimentos.

El principal problema de los productos secos es la presencia eventual de toxinas emitidas por unos hongos que se desarrollan cuando un producto no está bastante seco. Son las aflatoxinas y las cantidades máximas aceptadas son para la B1 (0,1 µg/Kg), las B1+B2+G1+G2=0,4µg/kg y para la M1 la tolerancia es cero.

8. BIBLIOGRAFIA Y FUENTES

ECHVERRIARZA, María Paz: guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes, UNESCO 2015, Educación MERCOSUR Montevideo Fundación Celestina Pérez de Almada Avda. Carlos A. López 2273. Asunción Tel.: (595 21) 425 345 Email: fundacion@rieder.net.py

BIMBENET J.J., Duquenoy A. y Trystram G., 2002. Génie des Procédés Alimentaires : Des bases aux Applications. Dunod Edition. Paris. 554 pages

CHICHTI, Emma: cursos ingeniería de alimentos sobre el secado, y sobre los productos azucarados

COLLIGNAN Antoine: curso ingeniería de alimentos, Montpellier Supagro: el secado (antoine.collignan@cirad.fr)

CRUZ J.F., Troude F., Griffon D., Hébert J.P., 1988. Conservation des grains en régions chaudes - 2. ed. www.fao.org/wairdocs/x5164f/x5164f00.ht

DUDEZ P.: le séchage solaire à petite échelle des fruits y légumes. Expériences y procédés avec la collaboration de André Thémelin y Max Reynes (CIRAD), les éditions du GRET; Diffusion: Gret, 211-213 rue La Fayette 75010 Paris

CODEX Alimentarius. www.codexalimentarius.net.

ENTALPIA: enlace internet la enthalpia del aire: <http://formation.xpair.com/essentiel-genie-climatique/lire/enthalpie-air.htm>

FAO. Procesamiento de frutas y hortalizas mediante métodos artesanales y de pequeña escala. www.fao.org.

MEOT Jean Michel: curso sobre el secado de las frutas, Cirad/Supagro (jean-michel.meot@cirad.fr)

ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION y L'AGRICULTURE ROME, 1995 Amélioration y diversification du séchage solaire domestique des fruits, des légumes y des feuilles. CP / NER / 3453; M. Alain Rioux, Consultant en technologie alimentaire <http://www.fao.org/docrep/x5020f/x5020f00.htm>

PICCAROLO P., Bechis S., Berruto R., Calvo - séchoir solaire à ventilation forcée pour aliments Manuel pour la construction y l'utilisation. Dipartimento di Economía e Ingeniería agraria, forestale e ambientale Università di Torino - ITALIA <http://bioenergies.free.fr/mapage/sechoir-solaire-manualeicaro2004.pdf>

RIVIER, Michel: note personnelle sur le diagramme de Molier (michel.rivier@cirad.fr)

RIVIER Michel, MEOT Jean Michel, FERRE Thierry, BRIARD Mathieu: le séchage des mangues, guide pratique, Editions Quae CTA - ISBN (Quæ) : 978-2-7592-0341-3,2007

ROZIS JF; Sécher des produits alimentaires, France, Gret - Geres, coll. Le Point sur, 1995. ISBN 2-86844-072-X. Diffusion : Gret, 211-213 rue La Fayette 75010 Paris

UNION EUROPEA Norma 1881/2006 para residuos pesticidas-contaminantes y recomendaciones para micotoxinas 2013/165/UE

PROYECTO **MEJORA DE LAS ECONOMÍAS
REGIONALES Y DESARROLLO LOCAL**

—
EL SECADO
**A PEQUEÑA
ESCALA DE
LAS FRUTAS Y
CUCURBITÁCEAS
Y RAÍCES**



INTI



Unión Europea

Instituto Nacional de Tecnología Industrial
Gerencia de Cooperación Económica e Institucional
Avenida General Paz 5445 - Edificio 2 oficina 212
Teléfono (54 11) 4724 6253 | 6490
Fax (54 11) 4752 5919
www.ue-inti.gob.ar



Ministerio de Producción
Presidencia de la Nación