

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PROCESO DE SECADO EN
TÚNELES DE POLIETILENO PARA FRUTOS DE CIRUELO
EUROPEO (*Prunus domestica*) VARIEDAD D'AGEN**

RAÚL HORACIO MORALES RAMÍREZ

Santiago, Chile

2011

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PROCESO DE SECADO EN
TÚNELES DE POLIETILENO PARA FRUTOS DE CIRUELO
EUROPEO (*Prunus domestica*) VARIEDAD D'AGEN**

**CONDITION EVALUATION OF THE DRYING PROCESS IN
POLYETHYLENE TUNNELS FOR D'AGEN PRUNES (*Prunus domestica*)**

RAÚL HORACIO MORALES RAMÍREZ

Santiago, Chile

2011

UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
ESCUELA DE PREGRADO

**EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PROCESO DE SECADO EN
TÚNELES DE POLIETILENO PARA FRUTOS DE CIRUELO
EUROPEO (*Prunus domestica*) VARIEDAD D'AGEN**

Memoria para optar al título profesional de:
Ingeniero Agrónomo
Mención: Agroindustria y enología

RAÚL HORACIO MORALES RAMÍREZ

PROFESORES GUÍA	Calificaciones
Sr. Hugo Nuñez K. Ingeniero Agrónomo, M. S.	6,2
Sr. Gabino Reginato Ingeniero Agrónomo, M. S.	5,6
PROFESORES EVALUADORES	
Sra. Ana María Estévez A. Ingeniero Agrónomo, M. S.	6,0
Sr. Eduardo Loyola M. Ingeniero Agrónomo Enólogo, Dr.	6,4

Santiago, Chile
2011

ÍNDICE

ÍNDICE	1
RESUMEN	2
Palabras clave	2
ABSTRACT	3
Key words.....	3
INTRODUCCIÓN	4
MATERIALES Y MÉTODOS	6
Lugar de trabajo.....	6
Materiales.....	6
Métodos.....	6
Procedimiento.....	6
Determinaciones analíticas.....	7
Análisis estadístico	8
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	10
Evaluación del secado mediante la pérdida de peso	10
Humedad Relativa y temperatura del aire dentro de los túneles	15
Humeda relativa del aire de secado.....	15
Temperatura del aire de secado.....	18
Déficit de presión de vapor.....	23
Calidad comercial del producto final	25
Actividad de agua	26
CONCLUSIONES	29
BIBLIOGRAFÍA	30
ANEXOS	32
Anexo I	32
Anexo II	33

RESUMEN

Se evaluó la evolución del proceso de secado de ciruelas mediante la utilización de túneles de secado de polietileno. Los objetivos del estudio fueron determinar la pérdida de peso de la fruta dentro del túnel; estudiar la temperatura y humedad dentro de éste; y evaluar la calidad de la fruta luego del proceso de secado.

El primer objetivo se planteó para validar una cartilla de humedad conseguida en estudios anteriores, en la que se relaciona los sólidos solubles y el calibre de la fruta con el peso esperado de la fruta a 20 % de humedad, que es el porcentaje de humedad objetivo en el secado.

Para el segundo objetivo se midió la temperatura y humedad dentro de los túneles, para analizar cómo se comportaba el túnel en su interior y así poder segmentar el túnel y ver en que posiciones a lo largo de éste el secado era más eficiente.

Los resultados validaron la cartilla de humedad. La temperatura dentro del túnel es superior entre 8 y 15 °C a la del ambiente, mientras la humedad de la fruta se comporta de acuerdo a lo esperado, tendiendo a la disminución a medida que transcurren los días de secado. La utilización de túneles de secado de polietileno reduce el tiempo de secado en 1/3 con respecto al secado tradicional al sol, sin efecto en la calidad de la fruta.

Palabras clave: Ciruela deshidratada, túneles de secado.

ABSTRACT

The evolution of prune drying process in polyethylene tunnels was evaluated. The objectives were to determine daily fruit weight loss, temperature and humidity inside the tunnels and fruit quality obtained after drying.

The first goal was established to validate a fruit moisture card obtained from previous studies which relates soluble solids and fruit size with the expected fruit weight when it has 20% moisture, which is the goal when drying fruit in the field.

For the second goal we measured the temperature and humidity of the air inside the tunnel in order to analyze it's behavior and with this information, to be able to see which part of the tunnel were the most efficient in the fruit drying.

The results validated the fruit moisture card. Temperature inside the tunnel was 8 to 15 °C higher than the environment, fruit moisture behave as expected, tending to decrease as drying increased. The use of polythene tunnels reduces drying time in 1/3. The quality of the fruit was not affected by the use of polythene tunnels.

Keywords: Prune, polyethylene tunnels

INTRODUCCIÓN

El ciruelo europeo (*Prunus domestica*), cuyo origen se desconoce, pues no existen ejemplares silvestres, ha sido cultivado en Europa durante dos mil años, donde todavía es ampliamente cultivado, ya que junto a los Estados Unidos, los principales productores son Francia, Italia y Alemania. Las variedades de esta especie que se cultivan se caracterizan fundamentalmente por producir un fruto ovalado, de color externo púrpura azulino y con una pulpa de alta concentración de azúcar y baja acidez; su producción es destinada casi exclusivamente a la deshidratación (Razeto, 1993).

La variedad del ciruelo europeo de mayor uso para la deshidratación en Chile corresponde a D'Agen, otra variedad utilizada es President, pero en menor medida. "D'Agen" se cosecha desde mediados de febrero hasta mediados de marzo y, por las características de su fruto, permite alcanzar un producto de alta calidad, ya sea deshidratado en forma natural o artificial (Jorquera y Lizana, 1982; Silva y Lizana, 1998; Fernández, 2004). El fruto es pequeño, ovalado, con la base estrecha; es de color violeta púrpura y de piel delgada; su pulpa es amarilla verdosa, aromática, de carozo semiadherido y ovalado (CORFO, 1988). La floración se produce la segunda quincena de septiembre y es de polinización autofértil. La fruta se comercializa en calibres de 30/40 (unidades por libra) para su exportación, y existen dos tipos de productos: seco y tiernizado. El tipo seco tiene un máximo de 24% de humedad y no emplea aditivos; el tipo tiernizado posee entre 32 y 34% de humedad, utiliza ácido sórbico como preservante y posee condiciones para ser consumida sin preparación (Subiabre, 1995).

En Chile, la superficie cultivada actualmente de ciruelo europeo es de 12.442 hectáreas; ésta había mostrado una variabilidad poco importante en el período 2002-2006 con una superficie del alrededor de 5.900 hectáreas, pero el 2007 y 2010 aumentó significativamente, estando fuertemente concentrado en la zona central del país, predominando en importancia las regiones VI y Metropolitana, con 11.258 hectáreas corresponden a un 90,5% de la superficie total cultivada en el país (ODEPA, 2010).

La ciruela deshidratada es la segunda fruta deshidratada más exportada por Chile, después de las pasas. Chile, con una producción anual cercana a las 43 mil toneladas en el año 2007, se ha convertido progresivamente en el segundo productor a nivel mundial de esta fruta, después de Estados Unidos (ODEPA, 2009a). El producto obtenido de la deshidratación de la ciruela europea apunta totalmente al mercado de exportación, donde los principales mercados de destino para las exportaciones chilenas son México, Rusia y Alemania, que concentran, respectivamente, un 15%, 10% y 9,5% de las exportaciones totales, las cuales, en el período enero a noviembre del 2009, ascendieron a 43.176,6 toneladas, con un valor FOB (en miles de dólares) de 93.466,6 (ODEPA, 2009b). El 65% restante de la fruta se divide entre la Unión Europea, Estados Unidos y Sudamérica.

La ciruela deshidratada se obtiene mediante la eliminación del agua por cualquier método

que reduzca la cantidad de humedad disponible en un alimento (Frazier, 1962).

La radiación solar constituye una potencial fuente de energía para procesos como la deshidratación de productos agrícolas, ya que es un recurso abundante, inagotable y no contaminante (Ceballos y Pino, 2001). La deshidratación de la fruta al sol es un método que implica la extracción de parte del agua de la fruta a través de la exposición de ella al sol, que requiere de muy poca inversión. El sistema de secado al sol en túneles de polietileno requiere algo de mayor inversión, pero deja la fruta más homogénea y se demora menos tiempo en secar. El término del secado se define cuando los frutos llegan a un 18% de humedad, con una variación entre 17% y 21% (Silva y Lizana, 1998; Fernández, 2004).

Los factores relevantes, en orden de importancia, para que los túneles de secado de polietileno tengan la mayor eficiencia, son la orientación, que al ser Norte-Sur mejora la incidencia de la radiación solar en la zona central de Chile; el largo y alto de túnel, y la pendiente que permite que las masas de aire se muevan con mayor fluidez para remover la humedad dentro de ellos. Las ventajas que ofrecen los túneles de secado de polietileno son que utilizan la energía del sol y el aire ambiente en un sistema controlado; el secado en éstos es más rápido, tomando alrededor de un tercio del tiempo de secado al sol, y mucho más limpio, ya que la fruta no está en contacto directo con el ambiente, lo que evita contaminaciones externas. El polietileno que se utiliza en los túneles debe ser nuevo en cada temporada, ya que utilizar polietileno de una temporada de uso presenta un alto el riesgo de rotura, lo que se traduce en un mayor tiempo de secado (Reginato *et al.*, 2008).

En Chile, el 60% de la ciruela europea deshidratada se seca directamente al sol, sobre malla "Raschel" o sobre polietileno. El clima seco y soleado durante el verano, de la regiones VI y Metropolitana, permite que el secado sea constante y en breve plazo, entre 10 y 15 días. Sin embargo, siempre está latente el riesgo de presentarse condiciones adversas, principalmente de orden climático, que impidan o retrasen el secado de la fruta. Existe un 20% de la ciruela europea que se seca en parte al sol y se termina el secado en túneles de secado forzado; el 20% restante se deshidrata en túneles de secado forzado, que realizan este proceso en forma más rápida y homogénea, aunque a un mayor costo (Campos, 2002; PRUNESCO S.A., s.a.).

Este proyecto se ha planteado como objetivo:

- Evaluar la distribución de la temperatura y humedad del aire de secado dentro de túneles de polietileno.
- Seguir la evolución del proceso de secado mediante la determinación de la pérdida de peso.
- Evaluar la calidad comercial del producto final del proceso de secado en túneles de polietileno.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio

La investigación se realizó durante el año 2010 entre los meses de febrero y marzo en la localidad de Santa Rita, ubicada en la Comuna de Pirque, RM., y entre marzo a mayo en los laboratorios del Departamento de Agroindustria y Enología, de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Materiales

Para el ensayo se construyeron 4 túneles de polietileno en un suelo semi compactado, con poca pendiente.

Se trabajó con frutos de ciruelos D'Agen provenientes de la localidad de Pirque, los que se colocaron sobre malla "Raschel" 50% sombra, de 2,1 m de ancho. Sobre ellos se construyó un túnel de polietileno transparente de baja densidad (0,1 mm), de 2 m de ancho; soportado por arcos de fierro, dejando una altura de 0,4 m.

Para el control de temperatura y humedad se usaron capturadores de temperatura y humedad relativa Hobo Pro Temp/HR y un termómetro modelo HI 98509-1; el peso de la fruta se midió con una balanza digital con sensibilidad de 1 g, marca Wincom U.S.A., modelo TH-2000.

Método

Procedimiento

Se construyeron 4 túneles, los que se instalaron directamente sobre el suelo, sobre una malla "Raschel" de 2,1 m de ancho por 30 m de largo, con orientación Norte-Sur. Luego se colocaron las ciruelas, cosechadas con 20-24° Brix y una firmeza de pulpa de 4 lb, con una densidad de carga aproximada de 24 kg/m². Una vez que las ciruelas quedaron bien distribuidas, se instalaron los soportes o arcos de fierro, 16 por túnel (cada 2 m); el extremo de cada arco se clavó al suelo, dándole una altura y ancho al túnel de 0,4 m y 2 m, respectivamente. Entre los soportes se colocaron cintas plásticas para aumentar la resistencia al viento. Los extremos del túnel fijaron con tensores y estacas al suelo, para sostener la estructura. El polietileno se ancló por los costados con listones de 1x2 pulgadas y 40 cm de largo y con tierra del lugar para que se adhieran al suelo.

Durante el secado, diariamente se midió la temperatura y humedad relativa al interior de los túneles, la pérdida de peso de la fruta ubicada sobre bandejas y, al concluir la etapa de secado, las características del producto final.

Los frutos se retiraron cuando alcanzaron una humedad entre un 18 - 20 %, lo que se determinó por pérdida de peso de la muestra, estimándose la humedad por una cartilla de secado utilizada por PRUNESCO S.A. (Anexo 1). El procedimiento se repitió uipara 2 ensayos con el fin de validar los resultados obtenidos. Estos fueron realizados el 22 de febrero del 2010 y el 11 de marzo del 2010.

Determinaciones analíticas

Al inicio del proceso se midió:

- Humedad inicial de la pulpa. Se obtuvo en estufa a 70° C, en una muestra de 3 g aproximadamente hasta que se logró un peso constante.
- Sólidos solubles: se midieron con el refractómetro termo-compensado marca Atago (Japón); los resultados fueron expresados en ° Brix.
- Firmeza de pulpa: se midió con el Texturómetro FTA marca TR (Italia), los resultados fueron expresados en libras.
- Peso de fruto: se pesó una muestra de 20 unidades individualmente.

Durante el secado se evaluó:

- Pérdida de peso: se determinó durante todo el ensayo el peso de un kilo de fruta, en muestras colocadas en 3 lugares del túnel de polietileno (2; 15 y 28 m, desde el extremo Norte del túnel), como se indica en la Figura 1, se evaluó diariamente entre las 9-10; 13-14 y 17-18 hrs. Mediante la cartilla de secado se estimó el peso que debería tener cada bandeja de muestra cuando la humedad fuera de 18 a 20%.
- Temperatura y humedad relativa al interior del túnel: se midió la temperatura y humedad del aire cada 1 hora en 7 puntos dentro del túnel (0; 1; 2; 15; 28; 29 y 30 m desde el extremo Norte del túnel), como se indica en la Figura 1. Esto se realizó en los 4 túneles a partir de las 9 y hasta las 18 horas.

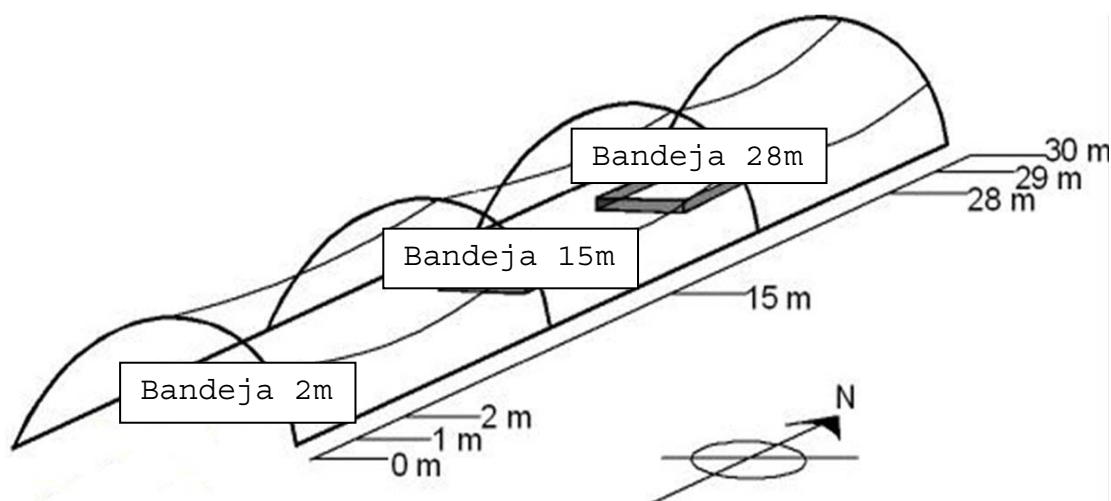


Figura 1. Esquema del túnel de polietileno y los puntos de medición de la temperatura al interior de éste.

- Temperatura y humedad relativa del ambiente: se registró la temperatura y humedad del aire cada una hora en forma continua, mediante el capturador de temperatura y humedad relativa Hobo Pro Temp/HR, colocado en una caseta de medición meteorológica, durante todos los días que duró el ensayo.

Se evaluó la calidad de la fruta contenida en las bandejas de las muestras, ubicadas en el interior de los túneles. Además, se obtuvo una muestra compuesta con la fruta que estaba alrededor de ellas, al final de cada ensayo. En cada una de las muestras se determinó:

- Humedad final: se utilizó estufa a 70 °C al vacío, marca Heraeus Instruments (D-63450) (Alemania).
- Presencia de hongos u otros defectos: para lo cual se determinó el porcentaje de los frutos que presentaron problemas, de acuerdo al protocolo de Prunesco S.A.
- Rendimiento del proceso: expresado en kg.
- Peso de fruto seco.
- Actividad de agua (Aw): se utilizó el equipo Rotronic, marca Hygrolab (Suiza).

Análisis estadístico

Los resultados se presentaron como una curva de secado por ensayo y por cada ubicación dentro del túnel. Cada ubicación representó un tratamiento.

Para el objetivo 2, se consideró como variable cada fecha de medición, la hora de medición y el punto de medición en el túnel. Cada túnel representó una repetición.

Para el objetivo número 3, se utilizaron 2 tratamientos, uno fue la bandeja dentro del túnel y el otro una muestra compuesta por frutos de alrededor de la bandeja. Las fechas de

establecimiento de los túneles 22/02/2010 y 11/03/2010 fueron consideradas como bloques.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evolución de la pérdida de peso

Las ciruelas alcanzaron la humedad de entre 18 y 20 % el día 4 de marzo y 19 de marzo, para la fruta que inicio su secado el 22 de febrero del 2010 y 11 de marzo del 2010 respectivamente, lo que significó 11 días de secado para el primer ensayo y 9 días para el segundo.

El peso final de la muestra, según la cartilla de secado, para una humedad de 20 %, como se indica en el Cuadro 1, osciló entre 333 y 366 g. Este peso proviene de relacionar los sólidos solubles de la fruta con su calibre.

Cuadro 1. Calibre de frutos, sólidos solubles y peso final estimado con cartilla de secado a 20% de humedad.

Posición en el túnel	Fecha (22/02/2010)			Fecha (11/03/2010)		
	Calibre	Sólidos solubles	Peso estimado a 20% humedad	Calibre	Sólidos solubles	Peso estimado a 20% humedad
	frutos/kg	°Brix	g	frutos/kg	°Brix	g
2m	42,2	24,5	366,7	41,2	25,9	385,2
15m	42,0	22,0	333,2	40,5	25,9	384,7
28m	40,2	24,5	366,0	40,5	25,9	385,0

En el Cuadro 1, se puede observar que los sólidos solubles fueron entre 22 y 26 % al inicio del ensayo, es decir, la fruta ocupada para el estudio era homogénea. Esto se debe a que provenían de un mismo campo y su madurez se alcanzó al mismo tiempo. El calibre de la fruta fue de entre 40 y 42 frutos/kg al inicio del ensayo, esto se debió a que los frutos que se escogieron fueron los más grandes, para así asegurar que la fruta de menor calibre estuviera con la humedad requerida al momento del término del secado.

En las figuras 2 y 3 se observa la pérdida de peso en las distintas secciones del túnel, para los ensayos 1 y 2, respectivamente.

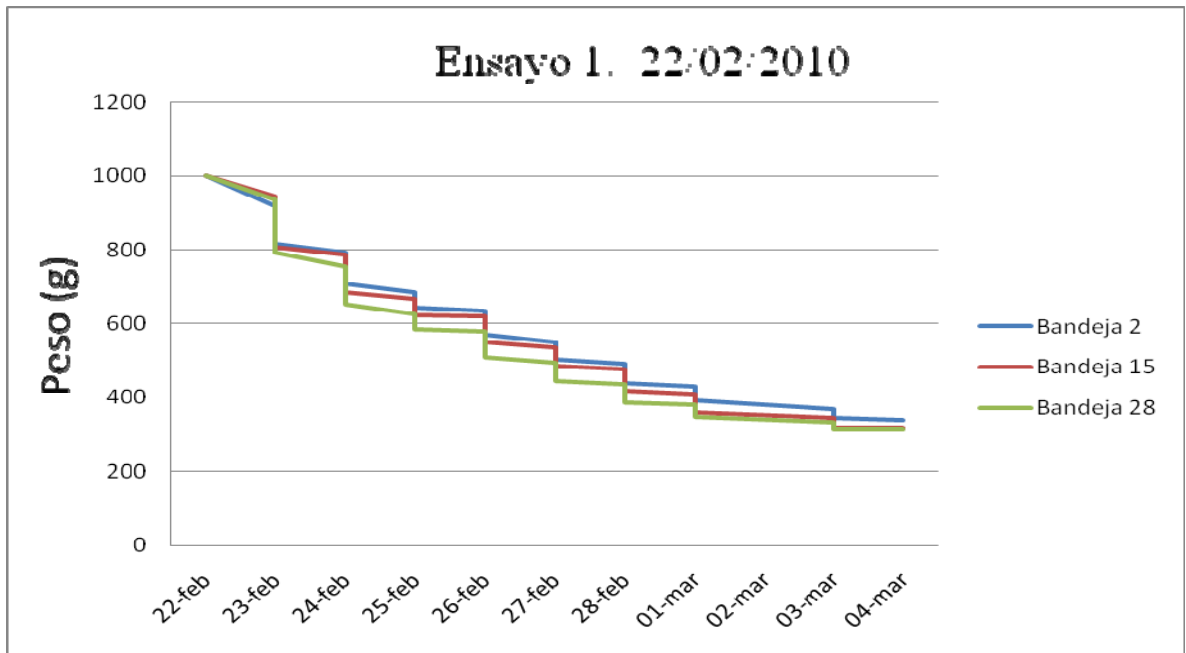


Figura 2. Pérdida de peso en los distintos tratamientos, dados por la ubicación de la bandeja dentro del túnel.

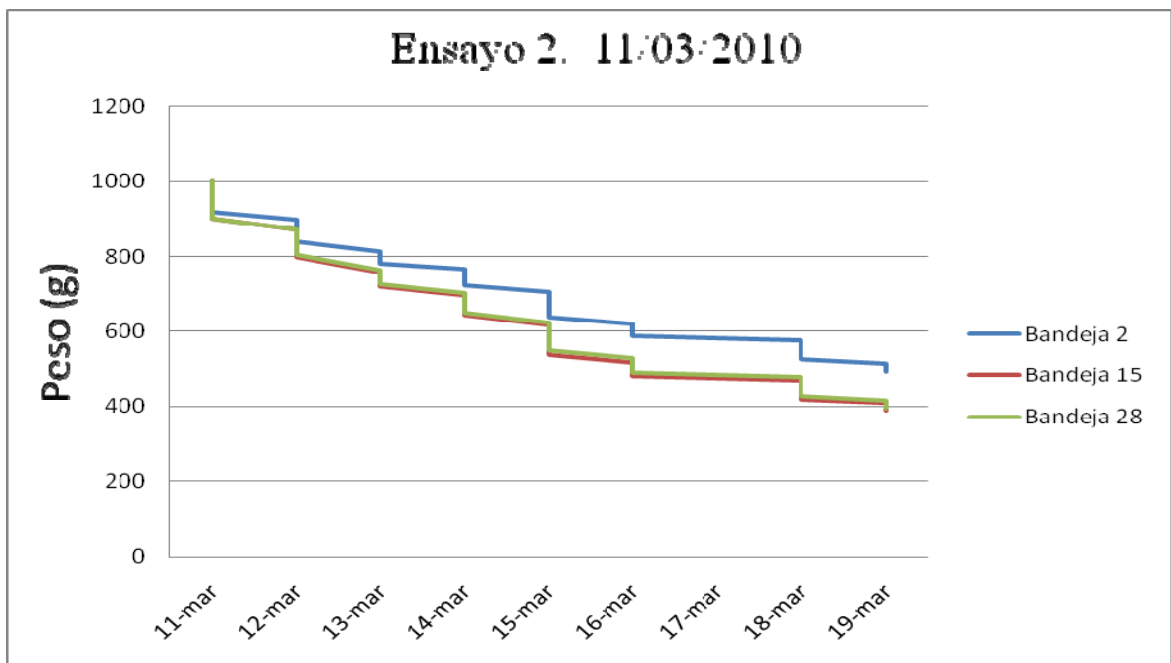


Figura 3. Pérdida de peso en los diferentes tratamientos, dados por la ubicación de la bandeja dentro del túnel.

Se observó, en el Ensayo 2, que la fruta de los tratamientos de la bandeja ubicada a 2 metros del extremo sur del túnel, tiene una menor tasa de pérdida de agua, comparado con los otros 2 tratamientos; en el Ensayo 1 la que la pérdida de peso fue más homogénea. Esta diferencia puede deberse a que las temperaturas fueron más bajas en el Ensayo 1, principalmente en las mañanas en el mes de marzo.

El tiempo requerido para llegar a una humedad del 20% fue de 11 y 9 días, para el ensayo del 22/02/2010 y 09/03/2010, respectivamente.

Se detectó diferencias significativas entre las posiciones (Figura 4); se observa que a 2 m de la entrada sur del túnel, la pérdida de peso fue menor que en las posiciones 15 y 28 m, con 399,9 g, respecto a 341,3 g y 342,6 g, para 15 m y 28 m, respectivamente.

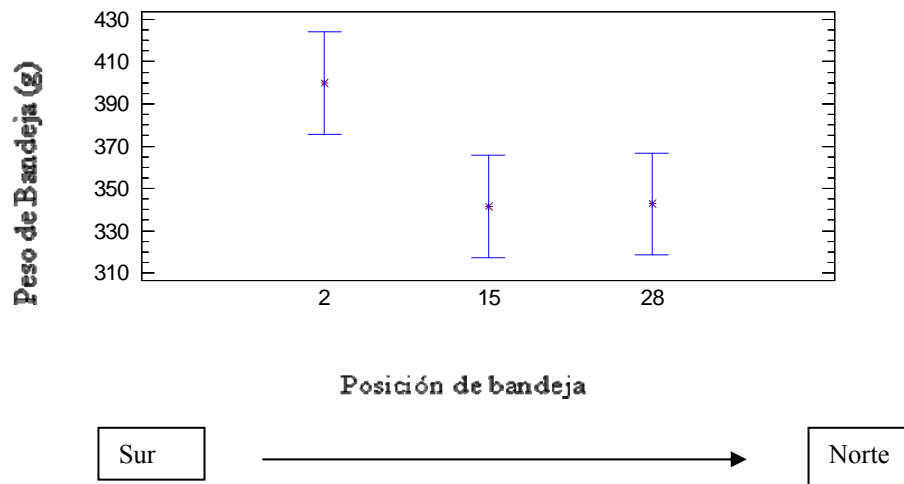


Figura 4. Peso de las bandejas según su ubicación en los túneles de secado. Barras verticales indican la desviación estándar

Se comparó la humedad final de la fruta de la bandeja, medida en estufa de secado, con la humedad estimada por la cartilla de secado y se obtuvo menor humedad en la muestra de lo estimado, y menor que el de las tres bandejas alrededor; éstas estuvieron similares entre sí, lo que significa que el túnel estuvo homogéneo, por lo que se logró obtener fruta uniforme.

En las bandejas a 2; 15 y 28 m, que son los tratamientos de cada ensayo, el peso final presentó diferencias significativas (Cuadro 2), dado que la bandeja a 2 m presentó menor tasa de pérdida de peso diaria, ya que al estar en la entrada del túnel recibió menor temperatura, con condiciones ambientales similares al ambiente.

Cuadro 2. Control de secado y humedad, estimada y real, para cada ensayo y para cada bandeja, realizado al final del proceso de secado

Factor	(g) Peso final	Humedad (%) estimada por Cartilla	Humedad estufa (%)	
			Bandeja	Alrededor
Bandeja 2	399,94	21,3 a	21,63 a	21,12 a
Bandeja 15	341,39	19,08 ab	13,95 ab	19,90 a
Bandeja 28	342,66	18,23 b	12,10 b	19,80 a
Ensayo 1	322,62	18,29 a	12,93 a	23,0 a
Ensayo 2	400,05	20,79 b	18,86 a	17,4 a

Letras distintas en una columna acusan diferencias entre tratamientos (Tukey, $P \leq 0,05$)

El porcentaje de humedad estimada por cartilla, corresponde a la humedad estimada para el peso final que se obtuvo relacionando los sólidos solubles y el calibre de la fruta, al inicio del secado.

Se observan diferencias significativas entre las posiciones para la humedad estimada por cartilla y para la humedad de la bandeja. Para la humedad de alrededor no se observan diferencias significativas.

Entre los ensayos, sólo se encontró diferencias significativas en la humedad estimada por cartilla.

La humedad obtenida mediante el secado en estufa a 70 °C al vacío es la humedad real de la fruta en cada bandeja. El porcentaje de humedad alrededor obtenido mediante el secado en estufa a 70 °C al vacío corresponde a la humedad de la fruta alrededor de la bandeja. Este porcentaje se calculó para así tener un control sobre la bandeja, ya que ésta sufre movimientos durante el proceso que podrían generar diferencias con el resto del túnel.

No se encontraron diferencias significativas entre la humedad estimada, la humedad de bandeja y la humedad alrededor, como se muestra en la Figura 5.

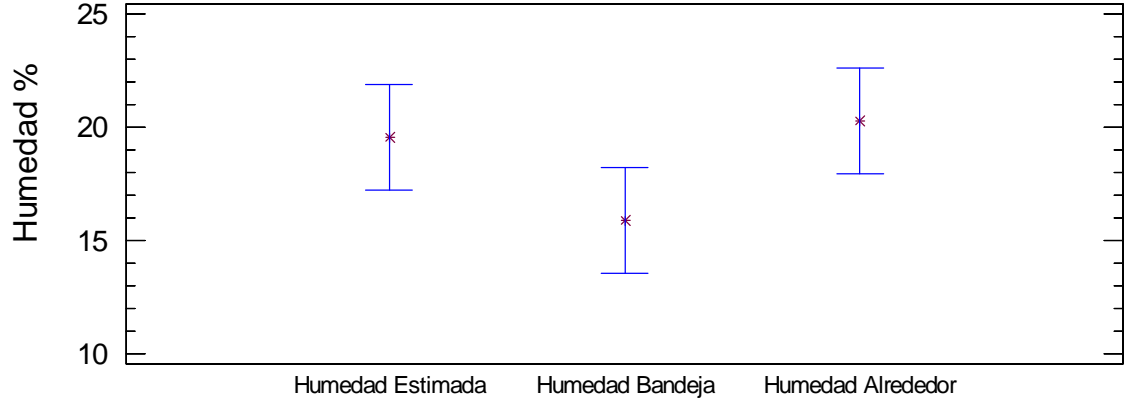


Figura 5. Humedad para las distintas humedades calculadas.

En la Figura 5, se puede observar que no hay diferencias significativas entre las diferentes mediciones de humedad, pero sí hay una mayor diferencia en la humedad medida en bandeja, que se puede haber producido por la manipulación de las bandejas al momento de realizar el pesaje.

Para realizar la validación de la cartilla se realizó una regresión simple relacionando las variables humedad de cartilla y humedad de bandeja como, se muestra en la Figura 6.

$$R^2 = 0,6088$$

$$y = 2,3247x - 29,517$$

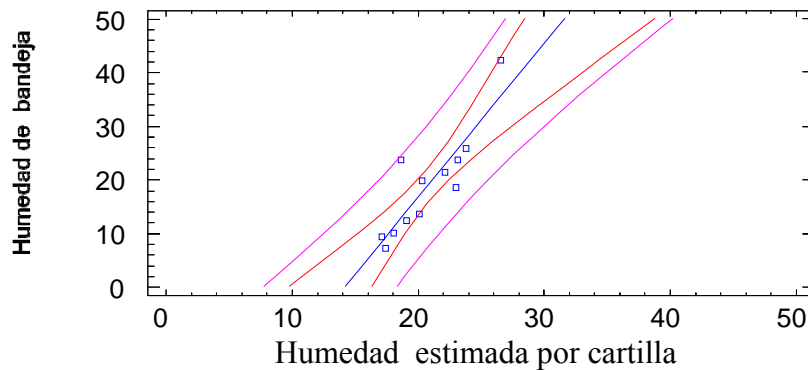


Figura 6. Validación de los valores de humedad estimados por la cartilla mediante regresión simple

En la Figura 6, podemos observar que la línea de tendencia generada por los puntos del gráfico presenta un $R^2 = 0,6088$ que es aceptable para condiciones experimentales en el campo. Además, se observa que la curva está desfasada del cero hacia la derecha, es decir,

que la cartilla de secado que se utilizó en el experimento subestima la humedad de la fruta, ya que la humedad de la bandeja es menor a la estimada por la cartilla.

Humedad relativa y temperatura del aire de secado dentro de los túneles

Humedad del aire

La humedad relativa presente en los túneles varió dependiendo de la hora del día y de su posición dentro del túnel (Figura 7); existieron diferencias significativas entre las diferentes posiciones, que se vieron acrecentadas dependiendo de la hora del día, alcanzando su máximo a las 13 horas. De esta manera, es posible observar que a las 10 a.m. la humedad fue mayor que a las 13 y 16 horas. En cuanto a la posición, se observa que, a medida que avanza el día, la humedad relativa de las posiciones iniciales (0; 1 y 2) disminuyó notoriamente ($> 40\%$), no así las posiciones medias y finales, que mantienen una alta humedad relativa ($< 60\%$). Este fenómeno se fue acrecentando a medida que transcurren los días de secado, ya que la fruta va perdiendo agua y en la posición media y final del túnel, la acumulación de agua aumenta por lo que el fenómeno toma más fuerza. Esto se debió a que toda la humedad que salía de la fruta al interior del túnel fue siendo empujada por el viento presente en la zona hacia la salida Sur del túnel, produciéndose el fenómeno de acumulación.

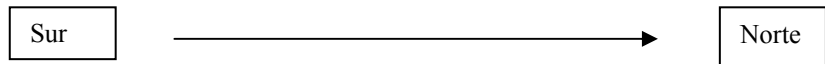
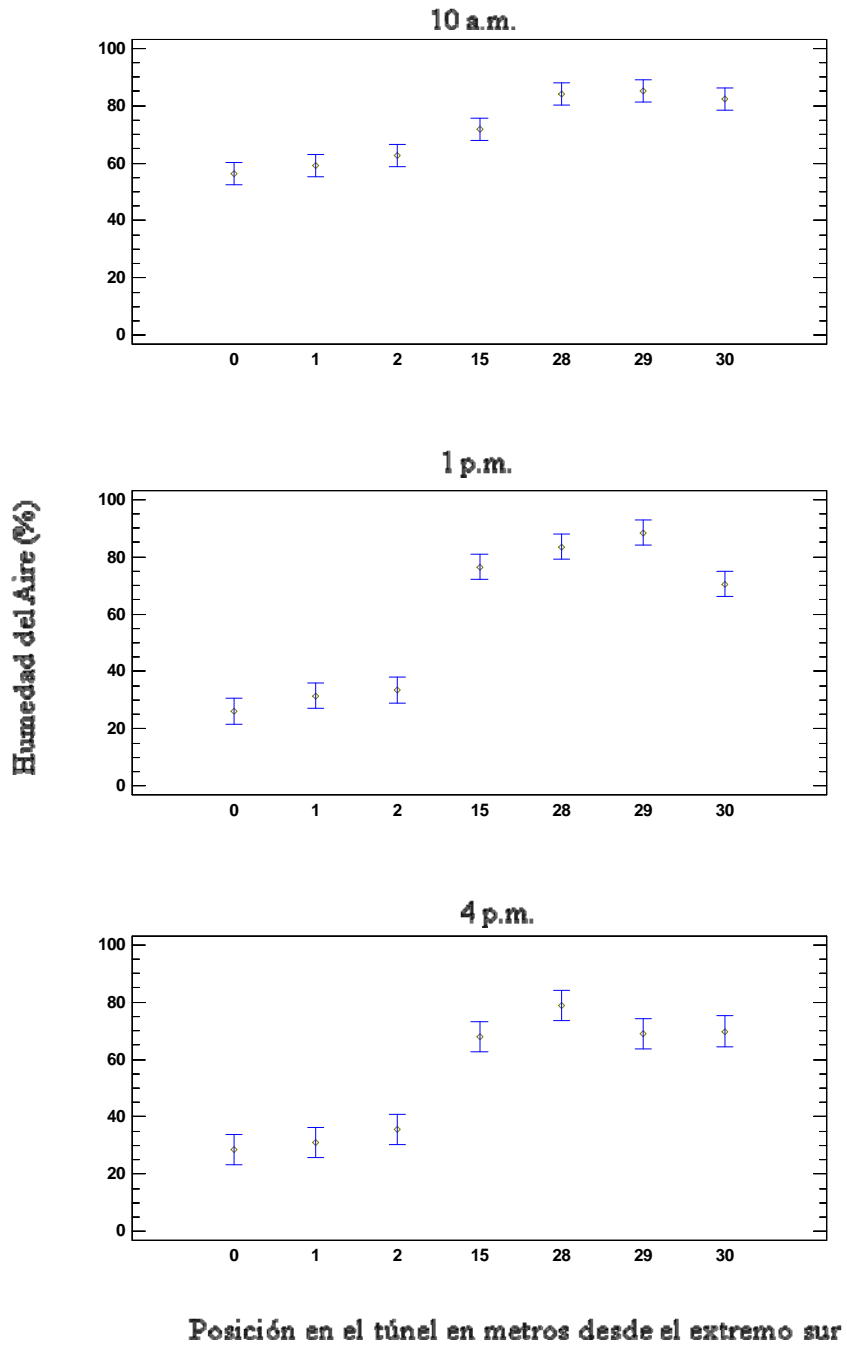


Figura 7. Humedad relativa dentro del túnel a diferentes horas del día

La humedad dentro del túnel aumentó desde la posición 15 m a la 28 m a medida que avanzan las horas, debido a que la fruta pierde más humedad en estos puntos y que el aire se mueve de sur a norte.

La humedad relativa dentro de los túneles alcanzó valores de 90 a 95 %, como máximo, a las horas iniciales del día y a las horas de mayor temperatura del día, en las posiciones media y final del túnel, disminuyendo al avanzar el día y al acercarse a la zona sur del túnel.

Con respecto a lo que ocurre en el túnel a medida que transcurren los días, como se observa en las figuras 8 y 9, la humedad relativa dentro del túnel fue disminuyendo conforme transcurrió el proceso de secado, liberándose cada vez menos agua, siguiendo una tendencia similar a las curvas de pérdida de peso.

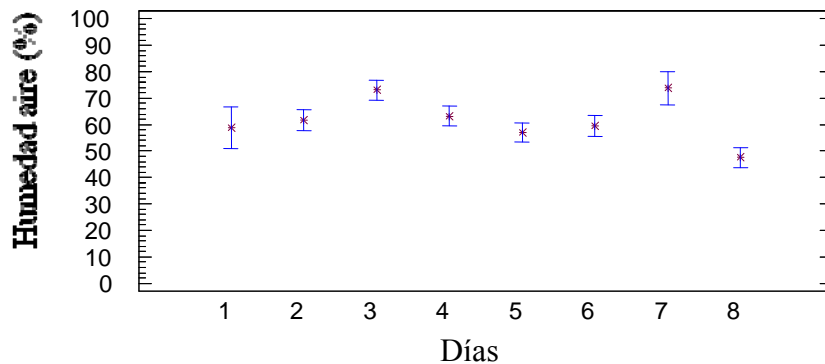


Figura 8. Humedad relativa dentro del túnel para el Ensayo 1, durante el secado

En la Figura 7, se puede observar que el proceso de secado del Ensayo 1 se produjo en forma errática, ya que la humedad varió mucho en el transcurso de los días, generándose muchos grupos homogéneos entre sí, debido a la varianza observada. Existen diferencias significativas entre los días de secado; se puede observar que la humedad inicial es en promedio de un 60% en el primer día de secado y de un 50 % en el último, lo que indica que los túneles en el Ensayo 1 estuvieron con una mayor humedad de aire.

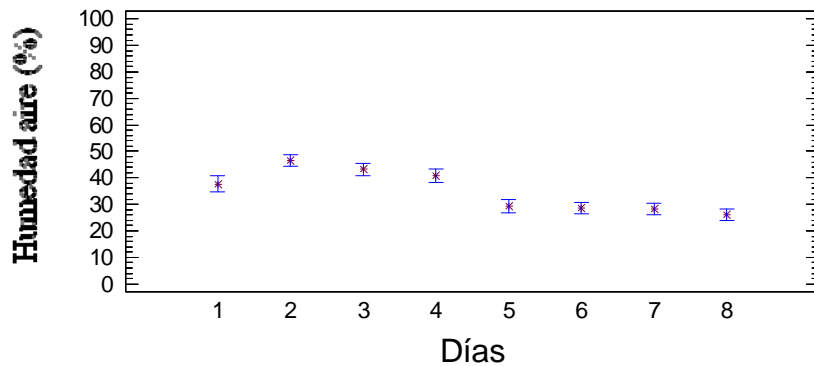


Figura 9. Humedad relativa dentro del túnel para el Ensayo 2, durante el secado

En la Figura 8, correspondiente al Ensayo 2, se puede observar que existen diferencias significativas entre los días de secado, formándose 2 grupos homogéneos, que se separan del día 1 al 4 y luego del día 5 al 8, en donde la humedad disminuyó considerablemente. En el día 1 se aprecia una media de humedad de un 37%, mientras que en el último día de secado fue de un 26%.

Temperatura del aire

La temperatura dentro de los túneles de polietileno es, en promedio, 15° C superior a la del ambiente. A las 10 a.m., las bajas temperaturas matutinas están prácticamente igualadas en 20 ° C, es decir, no hay diferencias entre los túneles y el ambiente. A medida que aumenta la radiación solar y transcurren las horas, las diferencias se incrementan, alcanzando la máxima diferencia a las 13 horas, en donde se alcanza la temperatura más alta, de 40°C en promedio, para luego descender al caer la tarde.

En la Figura 10, se puede observar el comportamiento de la temperatura ambiente durante el día, promedio de todos los días que duró el experimento en el campo, es decir, ambos ensayos.

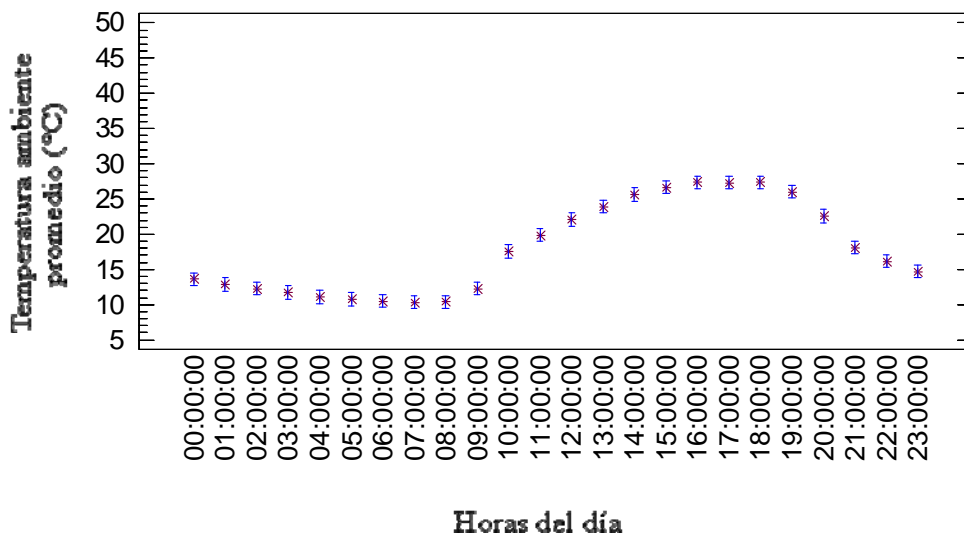


Figura 10. Temperatura media ambiental de todas las horas del día y de todos los días para ambos Ensayos

Se observó que la temperatura comienza su ascenso entre las 8 y 9 a.m., llegando al máximo a las 16 p.m. aproximadamente, y luego comienza a descender nuevamente a las 18 p.m.

La temperatura media dentro de los túneles en las diferentes posiciones no mostró diferencias significativas entre éstas para el Ensayo 1 (Figura 11).

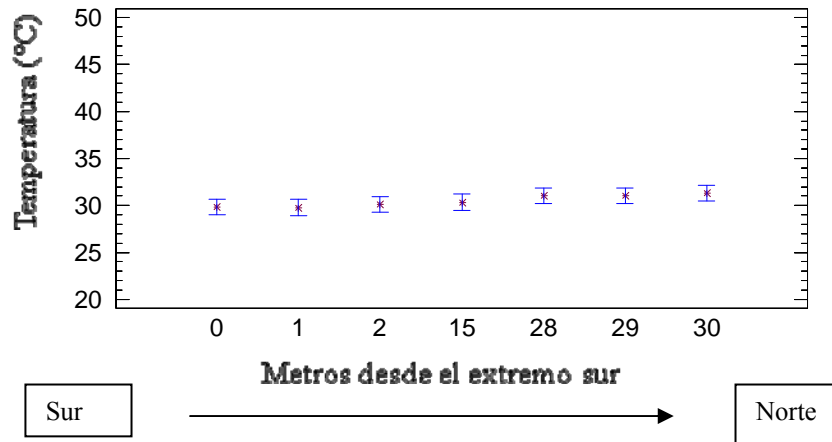


Figura 11. Temperatura media de todo el día para las diferentes posiciones en el túnel en el Ensayo 1

En el Ensayo 1, las temperaturas, entre las 9 y 18 horas no presentaron diferencias significativas, y además fueron bajas, entre 30 y 32 °C, por lo tanto, la rapidez de secado de la fruta fue menor.

En el Ensayo 2, tampoco se encontraron diferencias significativas entre las temperaturas en las distintas posiciones del túnel; sin embargo, la temperatura fue mayor que en el Ensayo 1, entre 35 y 37 °C, lo que resultó en menos días de secado (11 días para el Ensayo 1 y 9 días para el Ensayo 2) como se observa en la Figura 12. A temperaturas más altas aumenta la velocidad de secado de la fruta, ya que aumenta el déficit de presión de vapor (DPV) como se puede observar en las figuras 15 y 16.

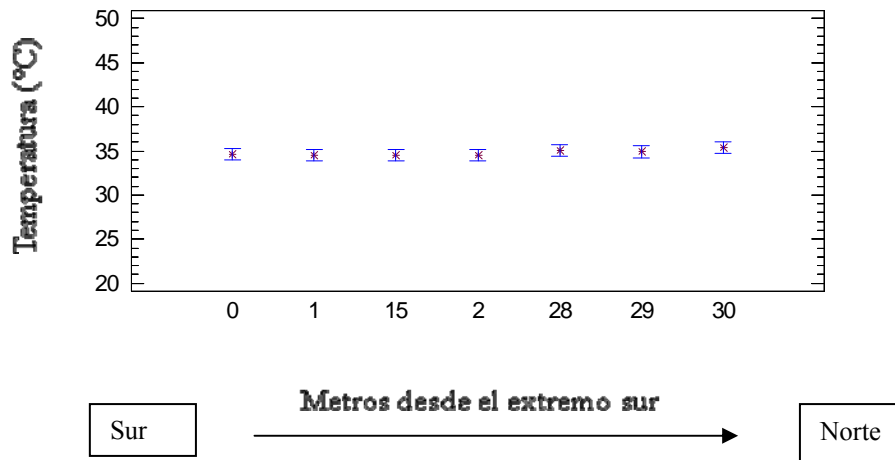


Figura 12. Temperatura media de todo el día para las diferentes posiciones en el túnel en el Ensayo 2

Al analizar lo que ocurre con la temperatura al interior de los túneles durante las horas del día, se puede observar que existieron diferencias significativas en la temperatura en las distintas horas, sin embargo, la temperatura no presenta diferencias significativas entre las 13 y 15 horas, como se ve en las figuras 13 y 14.

Para el Ensayo 1, la temperatura aumentó, desde las 9 horas hasta alcanzar el máximo a las 15 horas, para luego comenzar a declinar al caer la tarde, y así comenzar el ciclo diario nuevamente. Para el Ensayo 1, la mayor temperatura promedio fue de 39 °C, y la menor fue de 19 °C, similar a la del ambiente.

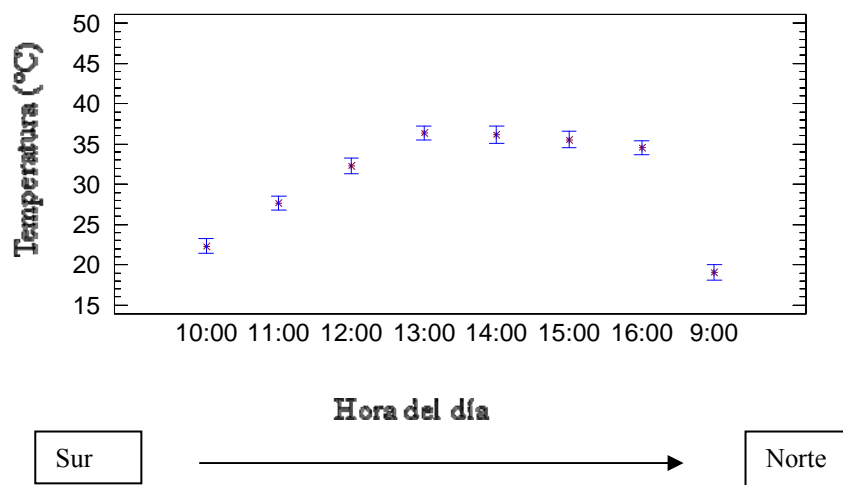


Figura 13. Temperatura dentro del túnel para diferentes horas del día en el Ensayo 1

En la Figura 14, se puede observar la temperatura en el Ensayo 2 con respecto a las horas del día. El comportamiento fue el esperado, aumentando la temperatura a medida que transcurrían las horas, viéndose diferencias significativas entre las 9 a.m. y 11 a.m. con respecto a las siguientes horas de medición, en donde no se encontraron diferencias significativas.

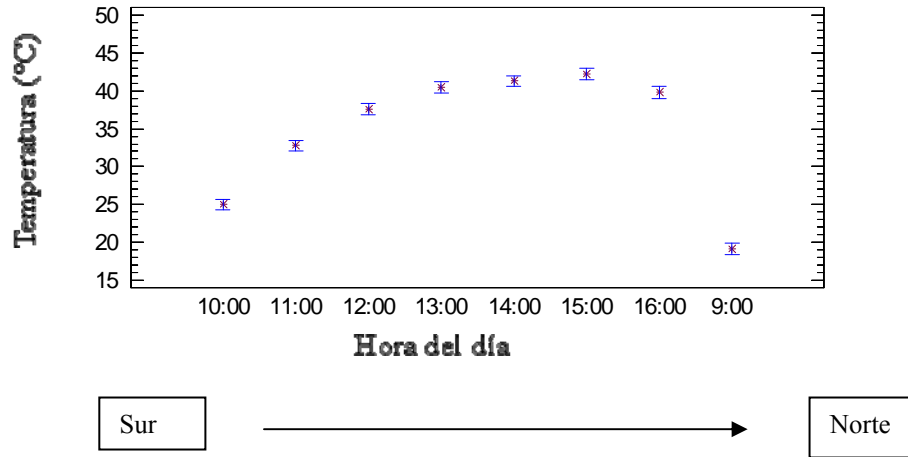


Figura 14. Temperatura dentro del túnel para diferentes horas del día en el Ensayo 2

En el Ensayo 2 se encontraron diferencias significativas entre las horas del día; la máxima temperatura fue de 41 °C, en promedio, y se alcanzó a las 15 horas; la mínima fue de 20°C y se alcanzó a las 9 horas.

Las mayores temperaturas mejoraron el tiempo de secado, ya que los túneles trabajaron con mayor energía, aumentando la eficiencia de secado dentro de ellos, con mayor tasa de pérdida de humedad de la fruta en su interior. Es importante que los túneles siempre tengan una buena ventilación, sobre todo cuando hay altas temperaturas, ya que al aumentar la humedad relativa dentro del túnel y no haber buena ventilación se puede producir condensación, lo que puede producir la aparición de hongos en la fruta.

La temperatura dentro de los túneles a medida que transcurre el día muestra que, a las 10 horas, la temperatura es similar en las diferentes posiciones del túnel, y muy parecida al ambiente, aproximadamente 22 °C. Luego, a las 13 horas, la temperatura muestra un aumento de 15 °C respecto del ambiente, en promedio, observándose diferencias significativas entre las posiciones dentro del túnel, donde las posiciones iniciales 0, 1 y 2 m son inferiores al resto en unos 2 °C. A las 16 horas, no hay diferencias significativas entre las posiciones dentro del túnel, con 5 grados menos respecto a las 13 horas (Figura 15).

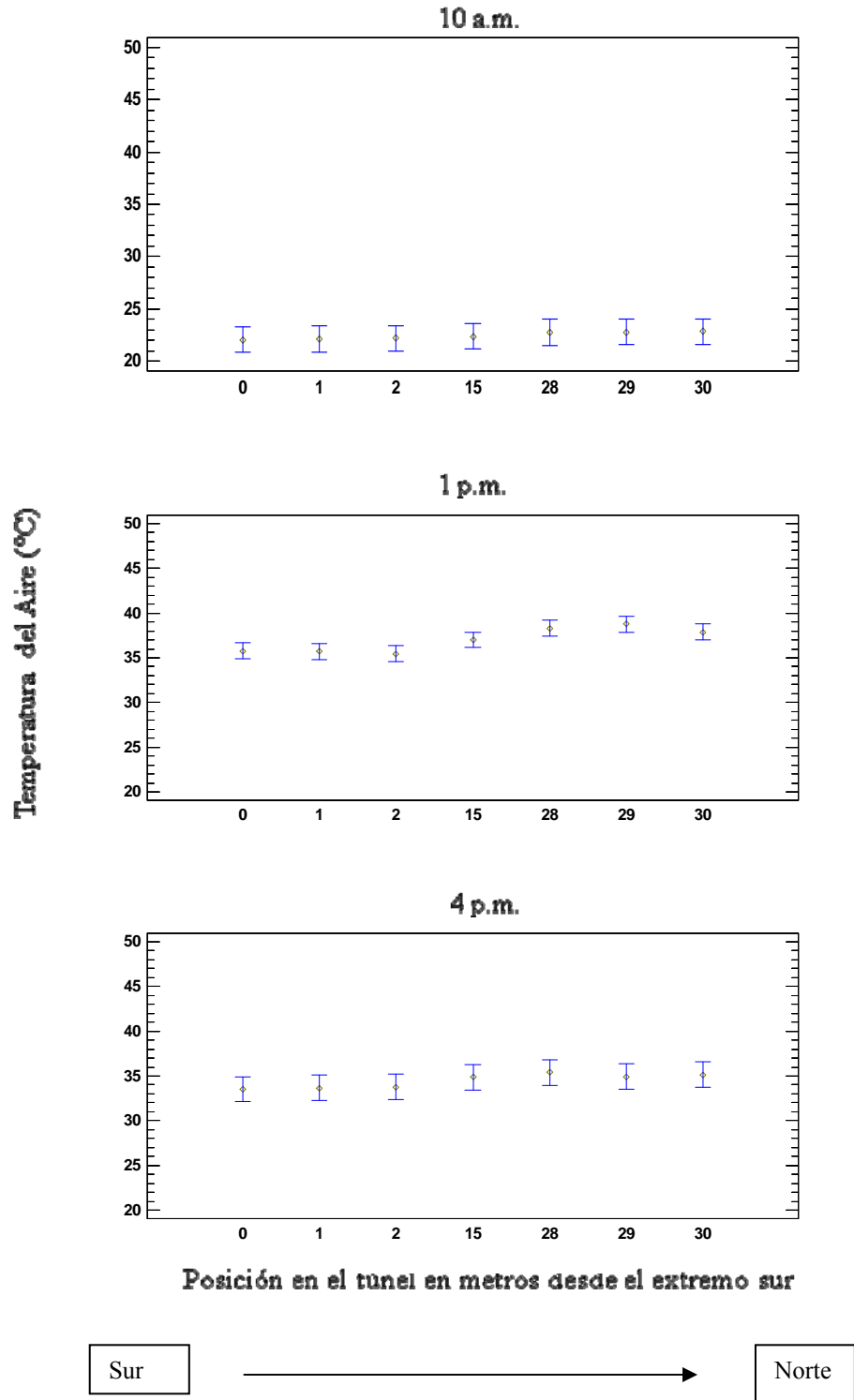


Figura 15. Temperatura en las diferentes posiciones del túnel a diferentes horas del día

Las temperaturas más altas se concentraron hacia el extremo norte de los túneles, es decir, de la posición 15 hacia la posición 30, especialmente a las 13 horas, en donde existen diferencias significativas en la temperatura de las distintas posiciones del túnel.

Déficit de presión de vapor

La humedad y temperatura del aire dentro de los túneles se expresó como déficit de presión de vapor, lo que indica la capacidad evaporativa del aire, es decir, cuánta agua del producto es capaz de sacar el aire que rodea al producto.

Así en la zona de menor temperatura y menor humedad se encontró mayor DPV, explicando el porqué las zonas de la mitad del túnel hacia el final de 15 a 30 metros desde sur a norte aumentaron más rápido el secado.

En la Figura 16 se muestra el DPV en forma horaria, promedio de los días de secado en el Ensayo 1, se observó que se muestran 3 grupos homogéneos, el primero incluye las horas 9 y 10, el segundo grupo sólo la hora 11; y el tercer grupo de las 12 a las 16 horas, con diferencias significativas entre ellos. Esto se produce debido que a medida que avanza el día aumenta la temperatura dentro de los túneles y aumentando la capacidad del aire de extraer agua de la fruta.

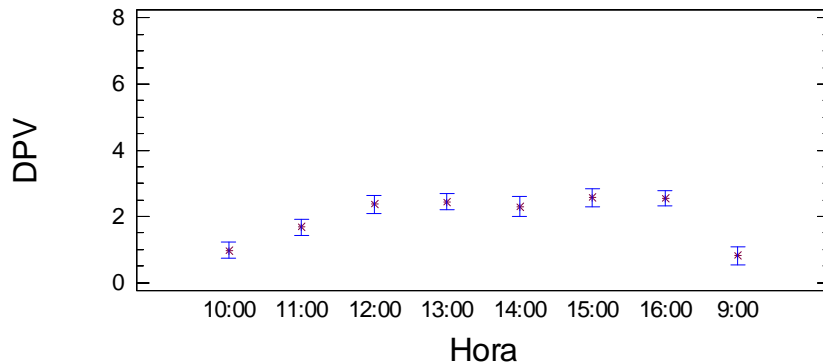


Figura 16. Déficit de presión de vapor promedio de los días de secado en las diferentes horas del Ensayo 1 en las diferentes horas del día

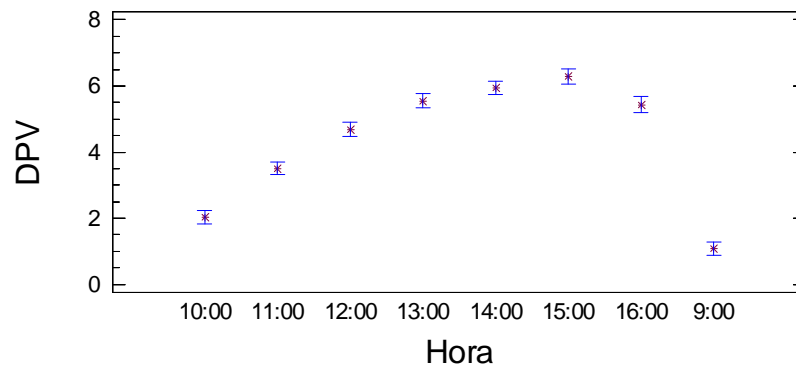


Figura 17. Déficit de presión de vapor promedio de los días de secado en las diferentes horas del Ensayo 2

Para el Ensayo 2, el DPV se comportó de forma similar que en el Ensayo 1, pero con valores mucho más altos, indicando la mayor capacidad de extraer agua en las diferentes horas del día, reflejándose en menos días de secado con diferencias significativas entre ellos (Figura 17).

Calidad comercial del producto

La calidad comercial del producto al final del proceso de secado, en los túneles de polietileno, se midió al momento de entregarla a la planta de proceso. En el Cuadro 4 se presentan los resultados de ambos ensayos.

Cuadro 4. Calidad de fruta al momento final del proceso para los dos ensayos realizados.

Variable	Ensayo 1 calidad	Ensayo 2 11/03/2010
Calibre	72	81
Humedad	22,3%	14,7%
Cicatriz apical	1,3%	1,4%
Carozo a la vista	0,7%	1,0%
Cicatriz callosa	1,1%	2,4%
Roturas, fisuras	2,5%	5,6%
Reventada	1,4%	No presente
Cuerudos	No presente	7,4%
Hongos	4,1%	No presente
Suciedad adherida	1,9%	No presente
Borracha	15,0%	No presente
Total daños	24,2%	12,1%

Se apreció que en el Ensayo 1, aparecieron hongos en un porcentaje no permitido, según tabla de verificación y condición para ciruelas D'Agén de PRUNESCO S.A. (Anexo II), con 4,1 %; esto fue debido a que la humedad producida en el túnel no fue capaz de ser extraída por la corriente de aire que había en la zona en el momento del ensayo, principalmente porque la superficie en que se encontraban los túneles no era plana, existiendo una pequeña pendiente en el terreno que dividía el túnel en 2 sectores, por lo que el viento tenía que tener mayor fuerza para mover la masa de aire dentro del túnel. Además, el túnel se encontraba sobre suelo semi compactado, pero con mucho suelo seco, lo que hizo que apareciera un porcentaje no deseado de suciedad, de un 1,9 %.

En el Ensayo 2, la superficie del terreno fue nivelado con paja de trigo para suavizar la pendiente, lo que evitó la acumulación de aire, humedad y la proliferación de hongos, además de evitar que el suelo seco traspasara a través de la malla raschel y ensuciara la fruta.

Además, en el Ensayo 1, se presentó un alto porcentaje de ciruelas “borrachas” (15%), lo que se puede haber producido por la mayor humedad existente en los túneles y, quizás, por la inmadurez de la fruta al ser cosechada, pues, aunque no está claro qué produce las

“borrachas”, los factores que ayudan a la aparición de borrachas son el calibre de la fruta y los sólidos solubles, siendo a mayor tamaño de fruto y a un nivel alto de sólidos solubles, menor el porcentaje de ciruelas borrachas (Reginato *et al.*, 2008).

Actividad de agua (A_w)

La actividad de agua es un parámetro utilizado para saber la disponibilidad de agua que hay en un alimento para que ocurra un deterioro. En este caso, se estima que con un 20 % de humedad de la fruta la actividad de agua debería ser la suficiente para que no crezcan microorganismos (Frazier, 1978).

En Figura 18, se muestran los valores de actividad de agua para ambos ensayos al final del proceso de secado de la fruta, mezclando la fruta de ambos ensayos, separado por tratamiento, es decir, por ubicación de la bandeja dentro del túnel. Se aprecia que en todos valores de A_w están bajo el valor de 0,8, que es el necesario para la proliferación de levaduras y hongos (Frazier, 1978).

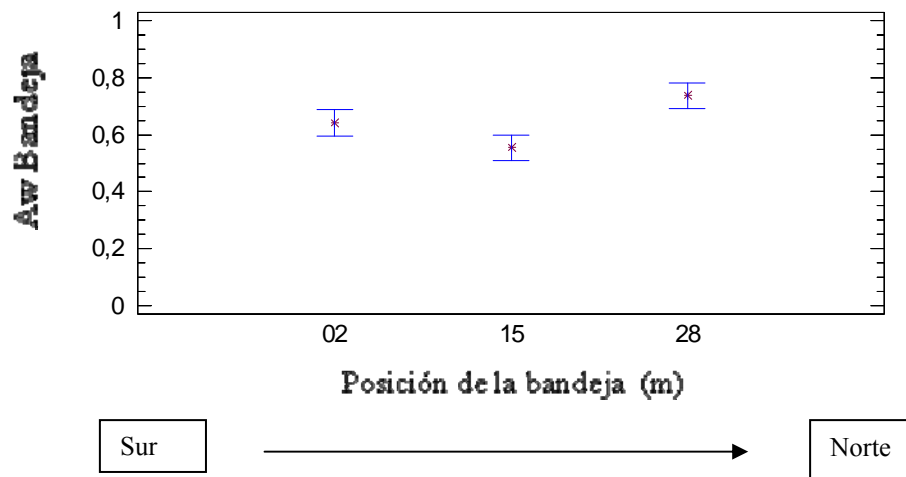


Figura 18. Actividad de agua para la fruta de las bandejas en las diferentes posiciones del túnel al final del proceso de secado

No existen diferencias significativas entre las posiciones del túnel, aunque se observó que la fruta que se encuentra en la posición 28 m tiene mayor A_w , debido a que el producto a pesar de estar en una zona del túnel en que la humedad de estufa es baja tiene mayor agua libre para realizar reacciones.

Adicionalmente, las muestras de alrededor de la bandeja en las diferentes posiciones del túnel (Figura 19) mostró que no hay diferencias significativas entre las posiciones dentro del túnel, es decir, la fruta tiene un A_w constante, detectándose que en la posición 28 la media es mayor numéricamente ($A_w = 0,75$) al igual que en el A_w de bandeja.

La necesidad de validación de los datos obtenidos en la Figura 18, se da a partir del movimiento de las bandejas, necesario para realizar las mediciones de peso muchas veces durante los ensayos, por lo tanto, existe la posibilidad de que este movimiento haga que se acelere el secado. Al exponer de mejor manera la superficie de la fruta al aire de secado, haciendo variar los valores de A_w de cada bandeja con respecto a su franja alrededor.

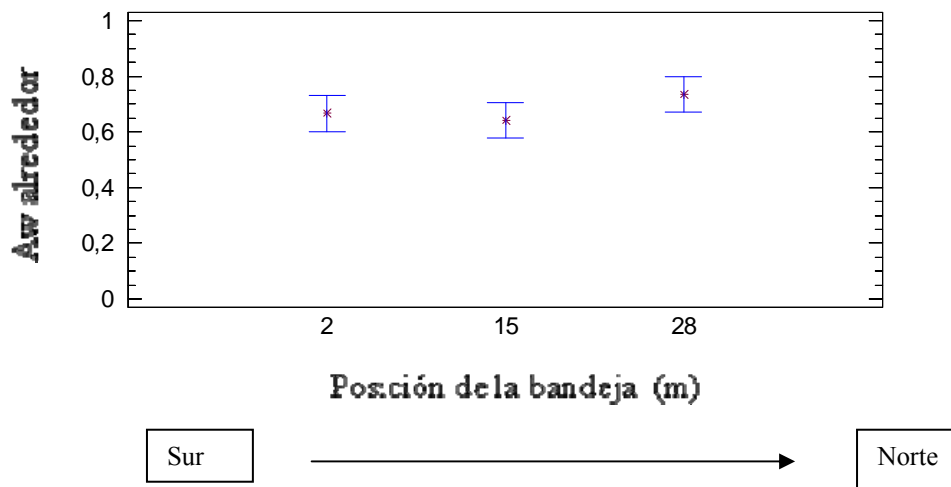


Figura 19. Actividad de agua para la fruta de alrededor de la bandeja de muestra en las diferentes posiciones del túnel al final del proceso de secado

Al comparar el A_w de la bandeja con el A_w de la fruta alrededor de ésta, se determinó que no existen diferencias significativas entre ellas (Figura 20).

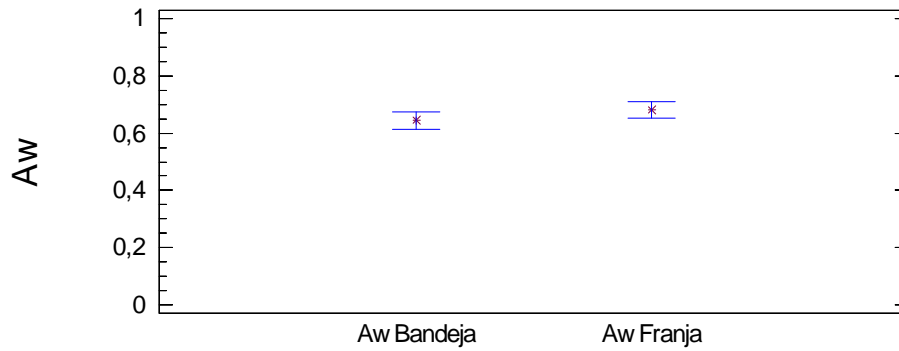


Figura 20. Comparación entre Aw de bandeja y Aw de franja para ambos ensayos

Este resultado indica que el movimiento de las bandejas no tuvo influencia en la actividad del agua, y aunque es levemente menor, no alcanza a ser estadísticamente diferente de su entorno.

CONCLUSIONES

La temperatura no es diferente a lo largo del túnel al inicio del día. La temperatura es diferente a lo largo del túnel al aumentar la temperatura ambiental.

La diferencia de la temperatura del túnel en el ambiente alcanza hasta 15 °C a las 14 horas, en promedio.

La humedad relativa aumenta hacia el extremo norte, y con el paso del día, llegando hasta un 80% en las posiciones finales, como máximo.

La humedad relativa del túnel disminuye a medida que transcurren los días de secado, desde 60% al día 1 hasta un 25% al final del secado.

La humedad final de la bandeja es menor que la obtenida por la cartilla de secado. Pero no se observan diferencias significativas entre ellas.

La calidad comercial no se ve afectada por el uso de los túneles de polietileno.

Las condiciones optimas para secar ciruelas D'Agén en túneles de polietileno son alta temperatura ambiental, baja humedad ambiental, suficiente cantidad de viento en la zona para poder remover toda la humedad emanada por la fruta que se acumula en el túnel.

BIBLIOGRAFIA

- Brücher, R., y A. García, 1980. Evaluación de la calidad de ciruela deshidratada (*Prunus domestica* L.) cv. D'Agen y President. Tesis para optar al grado de Licenciado en Agronomía. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Pag. 27.
- Campos, A. 2002. Comercialización de ciruelas deshidratadas. Revista on line Tattersal edición 173 (enero/febrero). Disponible en: <http://www.tattersall.cl/revista/REV173/Frutales.htm> Fecha de consulta: 23/06/2010
- Ceballos, C. Y C. Pino. 2001. Deshidratado de ciruelas europeas (*Prunus domestica*) variedad D'Agen, bajo distintos grosores de polietileno transparente. Memoria Ingeniero de Ejecución Agrícola. Universidad Católica del Maule, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Chile. Pag. 41.
- CORFO, Chile. 1988. Ciruelos: Situación Actual y perspectivas. La Corporación, Santiago, Chile. 99p.
- Fernández, B. 2004. Alternativas para el secado de ciruela D'Agen. Memoria Ingeniero Agrónomo. Universidad Mayor, Facultad de Ciencias Silvoagropecuarias. Santiago, Chile. 74p.
- Frazier, W. 1962. Microbiología de los alimentos. Editorial ACRIOBIA. Zaragoza, España. 127p.
- Frazier, W. 1978. Microbiología de los alimentos. Editorial ACRIOBIA. Zaragoza, España. 522p.
- Fundación Chile. 2004. Informe final estudio a nivel de perfil planta deshidratadora de ciruela europea VI región. Área Agroindustria. Chile. Pag. 71
- Jorquera, G. y L. A. Lizana, 1982. Ciruelas: variedades, producción y exportación. Aconex 2: 31-36.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2009a. Estadísticas y precios. Productivas. Superficie de frutales por región según catastro frutícola. Disponible en: <http://www.odepa.gob.cl/servlet/articulos.ServletMostrarDetalle;jsessionid=77A8297E40C88C8E3E1291A1B689F55E?idcla=12&idn=1738> Fecha de consulta: 03/08/2011

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2009b. Estadísticas y precios. Comercio exterior. Avance producto país. Exportaciones de ciruelas secas. Disponible en:

<http://www.odepa.gob.cl/sice/AvanceProductoPaisResult.action;jsessionid=77A8297E40C88C8E3E1291A1B689F55E> Fecha de consulta: 03/08/2011

Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA). 2010. Estadísticas y precios. Productivas. Superficie plantada con frutales. Disponible en: <http://www.odepa.gob.cl/servlet/articulos.ServletMostrarDetalle;jsessionid=F2D561B19970D5BE6EC9BBA45F87C534?idcla=12&idn=1737> Fecha de consulta: 17/07/2010

PRUNESCO S.A. s.a. Producción. Disponible en: <http://www.prunesco.com/esp/index.html> Fecha de consulta: 15/06/2010

Razeto, B. 1993. Para entender la fruticultura. 2ª Edición Vivarium, Santiago, Chile. 314 p.

Reginato, G., K. Mesa y H. Nuñez. 2008. Evaluación de factores para aumentar la eficiencia de secado al sol en ciruelas D' Agen. Libro resumen, 59º Congreso Agronómico de Chile, 9º Congreso Sociedad Chilena de Fruticultura. Pag. 33.

Silva, C. y L Lizana. 1998. Análisis comparativo de los sistemas de deshidratación de ciruelas y uvas-pasas en California y en Chile. Revista Simiente. 68: 45-51.

Subiabre, P. 1995. Perfil del mercado de las ciruelas, manzanas y uvas deshidratadas, evaluación técnico económica de la producción de ciruelas secas por osmosis y aire caliente. Tesis Ing. Agr. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 100P.

ANEXOS

Anexo 1. Cartilla de secado humedad final de 20 %

Peso en gramos de una muestra inicial de 1kg de ciruela D'agen para alcanzar humedad final de 20 %, para fruta de diferente tamaño y sólidos solubles iniciales. Elaborada por Hugo Nuñez K. Ing. Agr. Mg. Cs.

Calibre Fresco Unid/kg	Sólidos Solubles inicial(°Brix)														
	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
20	240	253	267	280	294	307	321	334	348	361	375	388	401	415	429
22	241	254	268	281	295	308	322	335	349	362	376	389	403	416	430
24	242	256	269	282	296	309	323	336	350	363	377	390	404	417	431
26	243	257	270	284	297	311	324	337	351	364	378	391	405	418	432
28	244	258	271	285	298	312	325	339	352	366	379	393	406	419	433
30	246	259	272	286	299	313	326	340	353	367	380	394	407	421	434
32	247	260	273	287	301	314	327	341	354	368	381	395	408	422	435
34	248	261	275	288	302	315	328	342	355	369	382	396	409	423	436
36	249	262	276	289	303	316	330	343	357	370	384	397	410	424	438
38	250	263	277	290	304	317	331	344	358	371	385	398	412	425	439
40	251	265	278	291	305	318	332	345	359	372	386	399	413	426	440
42	252	266	279	293	306	320	333	346	360	373	387	400	414	427	441
44	253	267	280	294	307	321	334	348	361	375	388	402	415	428	442
46	255	268	281	295	308	322	335	349	362	376	389	403	416	430	443
48	256	269	282	296	310	323	336	350	363	377	390	404	417	431	444
50	257	270	284	297	311	324	337	351	364	378	391	405	418	432	445

Anexo II

Tabla de verificación y condición para ciruelas D'Agen de PRUNESCO S.A.

I. Defectos críticos	Dentro de Norma (Aprobado)	Fuera de Norma (Rechazado)
a. Mezcla de variedad b. Mezcla tipo de secado c. Fruta contaminada – residuos de pesticidas u otros d. Fruta mojada – lavada e. Insectos vivos f. Fruta con pudrición g. Fruta con fermentación	Ausente	Presente
II. Humedad	14 -21,5 %	<14 ó >21,5 %
III. Condición		
a. Borracha	0 – 2 %	>2 %
b. Hongo	0 – 3 %	>3 %
c. Suciedad adherida	0 – 3 %	>3 %
Sumatoria a+b+c	0 – 3 %	>3 %
IV. Calidad		
a. Fuera color b. Condición inferior de la pulpa c. Cicatriz apical d. Daños a la piel o pulpa (roturas o fisuras, reventadas, carozo a la vista, cicatriz callosa, exudación gomosa) e. Cuerdo f. Quemadas g. Infestación por insectos		
Sumatoria a+b+c+d+e+f+g	0 – 25 %	>25 %
VI. Suma total defectos (III +IV)	0 – 25 %	>25 %