



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

**Diseño y realización de un equipo
de deshidratación de alimentos
mediante energía solar para
aplicación a países en desarrollo**

Memoria presentada por:
Juan Ángel Saiz Jiménez

Director:
Enrique Ballester Sarriás

Julio 2017

D. Enrique Ballester Sarriás, Catedrático de Escuela Universitaria del Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática de la Universitat Politècnica de València,

CERTIFICA: Que la presente memoria “Diseño y realización de un equipo de deshidratación de alimentos mediante energía solar para aplicación a países en desarrollo” recoge el trabajo de investigación realizado bajo su dirección por D. Juan Ángel Saiz Jiménez y constituye su Tesis para optar al título de Doctor.

Y para que conste, en cumplimiento de la legislación vigente, firma el presente certificado en Valencia a 18 de julio de 2017.



Fdo. Enrique Ballester Sarriás

Resumen.

La deshidratación o secado de alimentos es una forma sencilla y económica de conservarlos durante largos periodos de tiempo. En muchas zonas del planeta no se tiene acceso a la electricidad, por lo que dicha deshidratación se debe hacer utilizando la energía solar. Además, la situación alimentaria es precaria, sobre todo en niños de poca edad, por lo que la conservación de alimentos secos aporta una mejora a sus condiciones de vida.

Por ello se plantea este trabajo de diseño y desarrollo de un equipo de deshidratación para familias, que permita mejorar las condiciones de alimentación de personas desfavorecidas. Se pretende que el alimento conserve lo mejor posible sus propiedades nutricionales. Para ello se ha elegido un sistema de secado indirecto que utiliza energía solar para calentar el aire con el que se deshidratan los alimentos. Además se busca que el equipo diseñado sea barato y fácil de usar.

El trabajo incluye el montaje de un prototipo en la Universitat Politècnica de València, que ha permitido comprobar su funcionamiento y mejorarlo. También la creación de un manual básico que pueda enviarse a las personas o entidades que estén interesadas, para que puedan montarlo y utilizarlo. Además se documentará gráficamente el proceso de secado de distintas frutas y hortalizas, de las que se obtendrán sus curvas de disminución de peso respecto al tiempo de secado.

Este estudio incluye el seguimiento del proceso de introducción del equipo en Burkina Faso. Se ha comprobado cómo se ha producido su implantación, viendo los problemas que han surgido y las soluciones que hemos puesto en marcha para resolverlos.

Por último se diseña una práctica para los alumnos que cursan asignaturas de energías renovables de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Diseño de Valencia. Con esta práctica los alumnos pueden conocer una aplicación diferente del uso de la energía solar, además de entender los problemas de alimentación que sufre una parte importante de la población mundial.

Resum.

La deshidratació o assecat d'aliments és una forma senzilla i econòmica de conservar-los durant llargs períodes de temps. En moltes zones del planeta no es té accés a l'electricitat, motiu pel qual aquesta deshidratació s'ha de fer utilitzant l'energia solar. A més, la situació alimentària és precària, sobretot en els xiquets més menuts, per tant la conservació d'aliments secs aporta una millora a les seues condicions de vida.

Per açò es planteja aquest treball de disseny i desenvolupament d'un equip de deshidratació per a famílies, que permeta millorar les condicions d'alimentació de persones desfavorides. Es pretén que l'aliment conserve tan bé com siga possible les seues propietats nutricionals. Per a açò s'ha triat un sistema d'assecat indirecte que utilitza energia solar per calfar l'aire amb el qual s'assequen els aliments. A més, es cerca que l'equip dissenyat siga barat i fàcil d'usar.

El treball inclou el muntatge d'un prototip en la Universitat Politècnica de València, que ha permès comprovar el seu funcionament i millorar-ho. També la creació d'un manual bàsic que puga enviar-se a les persones que estiguen interessades perquè puguen muntar-ho i utilitzar-ho. A més es documentarà gràficament el procés d'assecat de diferents fruites i hortalisses, de les quals s'obtin- dran les seues corbes de disminució de pes respecte al temps d'assecat.

Aquest estudi inclou el seguiment del procés d'introducció de l'equip a Burkina Faso. S'ha comprovat com s'ha produït la seua implantació, veient els problemes que han sorgit i les solucions que hem pres per resoldre'ls.

Finalment es dissenya una pràctica per als alumnes que cursen assignatures d'energies renovables de l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Disseny de València. Amb aquesta pràctica els alumnes poden conèixer una aplicació diferent de l'ús de l'energia solar, a més d'entendre els problemes d'alimentació que pateix una part important de la població mundial.

Abstract.

Dehydration or food drying is a simple and inexpensive way to preserve food for long time periods. Many areas of the planet lack access to electricity, therefore dehydration is only practical using solar energy. Further, in these areas the food supply is often precarious, especially for children, so the conservation of dry food provides an improvement to their living conditions.

This work is designed to develop simple dehydration equipment for family use, which will improve the conditions to feed disadvantaged people. This research aims to preserve the maximum possible nutritional value of the food. To this end, an indirect drying system has been developed using solar energy to heat the air with which the food is dried. Essential features of the designed equipment are ease of use and low cost.

Our work includes the assembly of a prototype at the Universitat Politècnica de València, which allows for verification and improvement of its operation. In addition, we have created a basic manual that can be sent to those interested to facilitate its assembly and use. Furthermore, the drying process of different fruits and vegetables is documented graphically; from these graphs their weight-loss curves and drying times can be easily obtained.

This study includes the follow-up to the introduction process in Burkina Faso. It has been verified how its implantation has taken place, observing the problems that have arisen and we have developed solutions to solve them.

Finally, we have developed practical exercises designed for the students of renewable energies at the Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Diseño de Valencia. With this exercises the students learn a different application of solar energy in addition to understanding the nutritional problems suffered by a significant part of the world population.

Agradecimientos

Gracias al director de la tesis Enrique Ballester, por haberme empujado a hacerla y por su constante insistencia en que fuese progresando en ella.

Gracias a Amparo Sepulcre, Lucila Aragón y Begoña Saiz, por su energía, compromiso y enorme trabajo en el ámbito de la cooperación. Su constancia y ejemplo ha sido un estímulo permanente para seguir adelante e implicarme cada vez más en este y otros trabajos de cooperación.

Gracias a Daniel Vidal y Marisa Gras, por pedirme que diseñase un equipo para deshidratar alimentos e introducirme con ello en un apasionante campo que no conocía y que me ha proporcionado momentos muy intensos y enormemente satisfactorios.

Gracias a Iván Lozano, David López, Javier Valero y María Márquez por haber llegado más lejos de lo que su formación académica en la universidad requería, habiendo pedido becas de cooperación para ayudar a las personas de Burkina Faso. Su trabajo en África ha sido el complemento perfecto y necesario del trabajo realizado en la universidad en el diseño y comprobación del funcionamiento del deshidratador de alimentos objeto de esta investigación. Su actitud, entrega y compromiso en la mejora del mundo en el que vivimos es un aliciente, al mostrar cómo personas jóvenes inician el camino de la cooperación para la mejora de la vida de personas pobres.

Gracias a José Manuel Terrés por su colaboración en la mejora de las medidas de temperatura incorporando un sistema basado en el microprocesador Arduino.

Gracias a Elías Hurtado, Juan Antonio Monsoriu, Pilar Molina y Bernardo Álvarez, compañeros de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Diseño, que de distintas formas me han ayudado y animado en distintos momentos a completar esta tesis. Gracias también a multitud de compañeros y amigos que se han interesado y me han ayudado y animado a trabajar en este proyecto.

Gracias finalmente a mi hija Ángela. Por una parte, ha leído y revisado este documento, intentando que tuviese la mejor redacción y ortografía posible. Por otra, ha sido un aliciente para mí, viendo cómo ha dedicado mucho tiempo de su joven existencia a la ayuda a los demás, en trabajos de cooperación en nuestro país y en sus estancias durante la época no lectiva de verano ayudando en distintos centros de Guatemala, Colombia y El Sahara.

Índice.

Certificado.....	I
Resumen.....	III
Resum.....	V
Abstract.....	VII
Agradecimientos.....	IX
Índice.....	XI
1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	7
3. Estado actual.....	9
3.1. Introducción.....	9
3.2. Deshidratación de alimentos.....	12
3.3. Deshidratador básico.....	15
3.4. Deshidratador túnel.....	21
3.5. Deshidratadores indirectos.....	25
3.6. Deshidratadores híbridos.....	32
3.7. Equipos comerciales encontrados en Burkina Faso.....	36
3.8. Radiación solar.....	39
3.9. Temperatura de deshidratación.....	43
3.10. Contenido en agua de los alimentos.....	45
3.11. Actividad del agua.....	47
3.12. Burkina Faso.....	49
4. Diseño del deshidratador.....	53
4.1. Primeros pasos y primeros modelos.....	53
4.2. Inconvenientes del primer diseño y continuación del proyecto.....	59
4.3. Deshidratador diseñado.....	61

4.4. Estructura del equipo.....	63
4.5. Disposiciones constructivas	65
4.6. Bandejas	71
4.7. Modificación de la inclinación del equipo	72
4.8. Plásticos utilizados y unión al resto del equipo.....	74
4.9. Despiece del deshidratador.....	75
4.10. Coste del equipo	82
5. Puesta en marcha del equipo y mediciones	83
5.1. Primeras medidas	83
5.2. Metodología de trabajo.....	88
5.3. Datos de pérdida de peso de los alimentos.....	91
5.4. Deshidratación de pepino	100
5.5. Deshidratación de kiwi.....	102
5.6. Deshidratación de tomate	104
5.7. Deshidratación de ciruela	106
5.8. Evolución del aspecto de los alimentos durante el secado	108
5.9. Proceso de secado de tomate en julio de 2013	118
5.10. Proceso de secado de pimiento rojo en julio de 2013 ..	120
5.11. Proceso de secado de calabacín en julio de 2013	122
5.12. Proceso de secado de cebolla en julio de 2013.....	124
5.13. Proceso de secado de nectarina en julio de 2013	126
5.14. Proceso de secado de albaricoque en julio de 2013	128
5.15. Proceso de secado de cereza en julio de 2013	130
5.16. Aspecto de los alimentos al final del secado	132
5.17. Procesos de secado de mango y piña.....	140
5.18. Establecimiento del final del proceso de secado	149
5.19. Medición de la actividad del agua en el producto seco	153

6. Implantación del deshidratador en Burkina Faso	159
6.1. Primera fase en 2013	159
6.2. Cuestiones planteadas desde Burkina Faso	162
6.3. Primeros alimentos deshidratados con el equipo en Burkina Faso.....	167
6.4. Problemas planteados en el deshidratador en Burkina Faso.....	179
6.5. Segunda fase en 2015	184
6.6. Tercera fase en 2016.....	193
7. Manual de construcción del deshidratador	209
8. Aplicación del deshidratador a la docencia	229
8.1. Práctica de deshidratación de alimentos.....	230
8.2. Trabajos final de grado.....	240
8.3. Otras acciones docentes y de difusión.....	247
9. Mejoras realizadas en el deshidratador.....	251
9.1. Cámara de aire para aislar mejor el equipo	251
9.2. Triple capa de plástico para mejorar la fijación con grapas.....	254
9.3. Cierre entre el colector y la cámara de secado	255
9.4. Utilización de dos pasadores para dar estabilidad al equipo	258
9.5. Modificación de la inclinación del colector	259
9.6. Puertas traseras para las bandejas.....	260
9.7. Cortadora eléctrica para los alimentos	261
10. Trabajos recientes y futuros trabajos.....	263
10.1. Deshidratación de alimentos partiendo del mismo peso.....	263
10.2. Deshidratación directa al sol	275
10.3. Medición de datos de temperatura.....	283
10.4. Trabajos futuros.....	295
11. Conclusiones	301
12. Referencias bibliográficas	303

1. Introducción.

Las frutas y hortalizas son alimentos que se consumen de forma habitual en todo el mundo. Constituyen una parte esencial de la dieta humana (Ceballos-Ortiz, E. M., 2012), siendo fuente importante de aportación de micronutrientes, enzimas, vitaminas y minerales para las personas (Bano, T., 2015). Para poder consumirlas en buenas condiciones es necesario conservarlas de forma adecuada hasta el momento en que se consumen, que puede producirse muchos meses después de su cultivo y cosecha.

En muchas zonas del planeta y particularmente en países en vías de desarrollo, una gran cantidad de personas no tienen acceso a la energía eléctrica, especialmente las que viven en zonas rurales (Oyuke, A., 2016). Debido a ello la conservación de los alimentos no puede realizarse tal como la conocemos en España y en Europa, a través de equipos refrigerados que se alimentan con energía eléctrica.

Tradicionalmente se ha utilizado la deshidratación de los alimentos como forma de conservarlos durante largos periodos de tiempo. De forma habitual y cuando no se dispone de otros medios, el proceso se realiza exponiéndolos directamente al sol (Almada, M., 2005), aunque éste es un método que presenta varios inconvenientes:

- Los alimentos quedan expuestos al polvo y a cualquier otro elemento que esté contenido o sea arrastrado por el aire.
- Los animales tienen acceso a los alimentos, pudiendo comérselos o contaminarlos.
- Los insectos tienen también acceso a los alimentos y pueden aproximarse y situarse sobre ellos, pudiendo también contaminarlos.
- Las propiedades alimenticias de los alimentos se deterioran, en especial las vitaminas y elementos más volátiles (Dinga, S. H., 2012).

Debido a ello se plantea este trabajo de investigación para diseñar y desarrollar un equipo de deshidratación de alimentos con destino a un uso familiar, que permita mejorar los resultados del proceso respecto a la exposición directa al sol. Se busca que el alimento conserve mejor sus propiedades y no quede expuesto a la acción de los animales y de los elementos. Adicionalmente y como parte fundamental del trabajo, es necesario que el equipo tenga un coste bajo, puesto que su destino es para países en vías de desarrollo y personas con muy poco poder adquisitivo.

El punto de partida del trabajo se sitúa en la petición directa de un grupo de profesores y técnicos de la Universitat Politècnica de València (UPV), que estaban trabajando en un proyecto de cooperación con Burkina Faso. Se pusieron en contacto en 2012 con el Grupo de Energía Solar, y particularmente conmigo, para que diseñásemos un deshidratador de alimentos, que utilizase energía solar fotovoltaica y que no tuviese un coste elevado.

Tras recoger información sobre deshidratadores eléctricos se comprobó la viabilidad de la propuesta. Se trata de equipos que utilizan la técnica del aire caliente (Hernández, J., 2008; Fito, P., 2001) lo que permite obtener productos deshidratados que poseen una vida útil prolongada. El aire caliente puede producirse a partir de energía eléctrica y se impulsa hasta una zona en la que están depositados los alimentos, normalmente en bandejas.

La energía eléctrica se puede obtener del sol con las placas fotovoltaicas y almacenarla en baterías o aplicarla directamente (Hernández, L. M. 2007). Se puede utilizar en forma de corriente continua, o pasarla a corriente alterna, para generar e impulsar el aire caliente necesario para el proceso de deshidratación, con un equipo sencillo y de coste aceptable.

Sin embargo, experiencias previas en el campo de la cooperación en países de África nos hicieron pensar que realizar un equipo eléctrico alimentado con placas solares fotovoltaicas, para aplicarlo a zonas rurales de Burkina Faso, podría no tener los resultados deseados. Hay dos motivos fundamentales:

Primero: la falta de conocimientos técnicos en cuanto a las placas fotovoltaicas y electricidad de las personas a las que iba destinado el equipo. Esta cuestión podría ser un inconveniente para que el equipo tuviese una durabilidad en el tiempo y fuese utilizado con aprovechamiento por sus destinatarios. Los conocimientos técnicos requeridos no son de un nivel extraordinariamente elevado, dado que el equipo se les suministraría ya terminado, pero estamos hablando de personas con una formación muy básica o casi inexistente, que respecto a la energía eléctrica pueden no tener ningún conocimiento.

Segundo: la dificultad del envío del material hasta el lugar de destino (transporte desde España, paso de aduanas, etc.) y los costes derivados de dicho envío. La experiencia en trabajos previos de cooperación nos había mostrado que los costes de transporte hasta África son muy elevados, en muchos casos superiores al coste propio del material transportado. También habíamos tenido problemas en los despachos de aduanas, puesto que la gestión en el país de destino en África dista mucho de los trámites a los que estamos acostumbrados en España, pudiendo ser normal que el material pase meses en aduanas hasta que obtiene los permisos de entrada al país. En el caso de que los materiales se buscasen y encontrasen en el país de destino (placas solares fotovoltaicas, equipos auxiliares, etc.), deberían trasladarse al lugar en que se van a aplicar, de

forma habitual zonas rurales alejadas de los grandes núcleos de población en los que se pueden adquirir. Exigiría también un trabajo de campo en el país de destino para comprobar calidades de los materiales, costes de los mismos, fiabilidad de los proveedores, etc.

Estas dos circunstancias nos hicieron pensar que quizás sería más útil diseñar un equipo más sencillo y de fácil manejo, que no requiriese ser supervisado ni montado desde un lugar diferente a donde se iba a utilizar. Debido a ello, la idea inicial de utilizar placas solares fotovoltaicas como fuente de energía, evolucionó hasta otra similar pero sin electricidad, que emplease directamente la energía solar para conseguir la deshidratación.

De esta manera, nosotros haríamos el diseño del equipo y también el montaje de un prototipo para comprobar su funcionamiento. Una vez realizado, sólo debería ser necesario enviar los planos y requisitos de material hasta el país de destino. Desde estas premisas, se puede construir directamente allí, con una supervisión mínima por nuestra parte, tanto en el montaje como en su uso y mantenimiento posterior.

Es a partir de este punto, donde surge el equipo diseñado y desarrollado, que utiliza únicamente madera para el armazón y plástico para cubrirlo. Está formado por dos partes, tal como se ve en la *figura 1*:



Figura 1. Primer equipo montado del deshidratador de alimentos

1. Un colector solar en forma de prisma rectangular que se dispone horizontalmente, en el que se busca que el aire que entra por la parte frontal se caliente, antes de salir por su parte trasera hacia la zona de secado. Está situado buscando un ángulo de inclinación óptimo respecto al sol, de manera que la radiación incida sobre él de la manera más perpendicular posible. Este ángulo depende de la zona geográfica en la que se va a aplicar el equipo. Para Burkina Faso el valor medio anual es de 15 grados (PVGIS, 2017).

2. Una zona o cámara de secado, constituida por un segundo prisma rectangular vertical en el que se disponen varias bandejas, que sirven para situar los alimentos que se quieren deshidratar, normalmente cortados en láminas. Al pesar menos, el aire caliente del colector asciende y pasa por dichas bandejas, realizando el proceso de secado de los alimentos depositados en ellas (Imre, L. L. 1987; Janjai, S. 2012, Ramteke, R. T., 2016).

Ambas partes son independientes y desmontables, para facilitar la manipulación del equipo, su almacenamiento y transporte. Se unen mediante unos pasadores que permiten dar consistencia al conjunto una vez montado y también modificar, si se considera necesario, el ángulo de inclinación del colector respecto al sol.

Los dos elementos que conforman el deshidratador están contruidos a partir de listones de madera, material que se puede encontrar sin dificultades en cualquier parte del mundo. Se pueden montar a partir de unos planos sencillos, tanto si lo hace un carpintero profesional como si lo quiere realizar la persona que luego va a usar el deshidratador.

Se utiliza para recubrirlo plástico flexible transparente y plástico flexible negro, materiales en principio también fáciles de encontrar en casi todo el mundo. Por su parte, las bandejas están formadas por listones de madera y rejilla de plástico rígido. De este manera los alimentos pueden depositarse sobre dicha rejilla sin que se caigan y, a la vez, la rejilla deje pasar el aire caliente, que incide así sobre los alimentos, tal como se ve en la *figura 2*.



Figura 2. Alimentos depositados sobre la bandeja a mitad del proceso de secado



Figura 3. Vista posterior del equipo diseñado

Se puede observar en la fotografía de las *figuras 1 y 3* cómo el plástico negro se utiliza en el colector para cubrir su base y los laterales. La parte superior posee plástico transparente que deja pasar la radiación solar hasta el plástico negro de la parte inferior. De esta manera se produce una absorción de la radiación en el colector, que se traduce en un aumento importante de la temperatura del aire contenido en el mismo.

La zona de secado se cubre con plástico negro en la zona frontal, de manera que el sol no incida sobre los alimentos, para perjudicar lo mínimo posible al producto (George, S. D. 2004), que se deposita ya cortado en las bandejas. También pueden cubrirse con plástico negro, particularmente los laterales y la base, para evitar que la luz llegue hasta los alimentos. Si se quiere poder observar su interior, se ha de cubrir con plástico transparente la zona trasera y, opcionalmente, los laterales, tal como se ha hecho en nuestro equipo.

El aire caliente pesa menos que el aire frío, por lo que tiende a elevarse, encontrando una vía de escape por la salida del colector que enlaza con la zona de secado en la que se encuentran las bandejas, tal como se puede observar en la *figura 3*. El aire caliente sube atravesando la rejilla de las bandejas, sobre la que están depositados los alimentos, haciendo que en esa zona la humedad relativa baje respecto a la humedad ambiente.

El efecto combinado de una temperatura alta y una humedad baja, muy inferior a la que poseen los alimentos y a la humedad ambiente, hace que se extraiga el contenido en agua de los mismos, consiguiendo el efecto de deshidratación buscado. Al eliminar la mayor parte del agua contenida en el alimento, se impide la multiplicación microbiana, responsable del deterioro de los mismos, por lo que se pueden conservar sin necesidad de medios adicionales (Ehiem, J. C. 2009). Éste es el objetivo fundamental buscado en este trabajo de investigación, la conservación de los alimentos en condiciones óptimas mediante un proceso de secado sencillo y barato, realizado con energía solar.

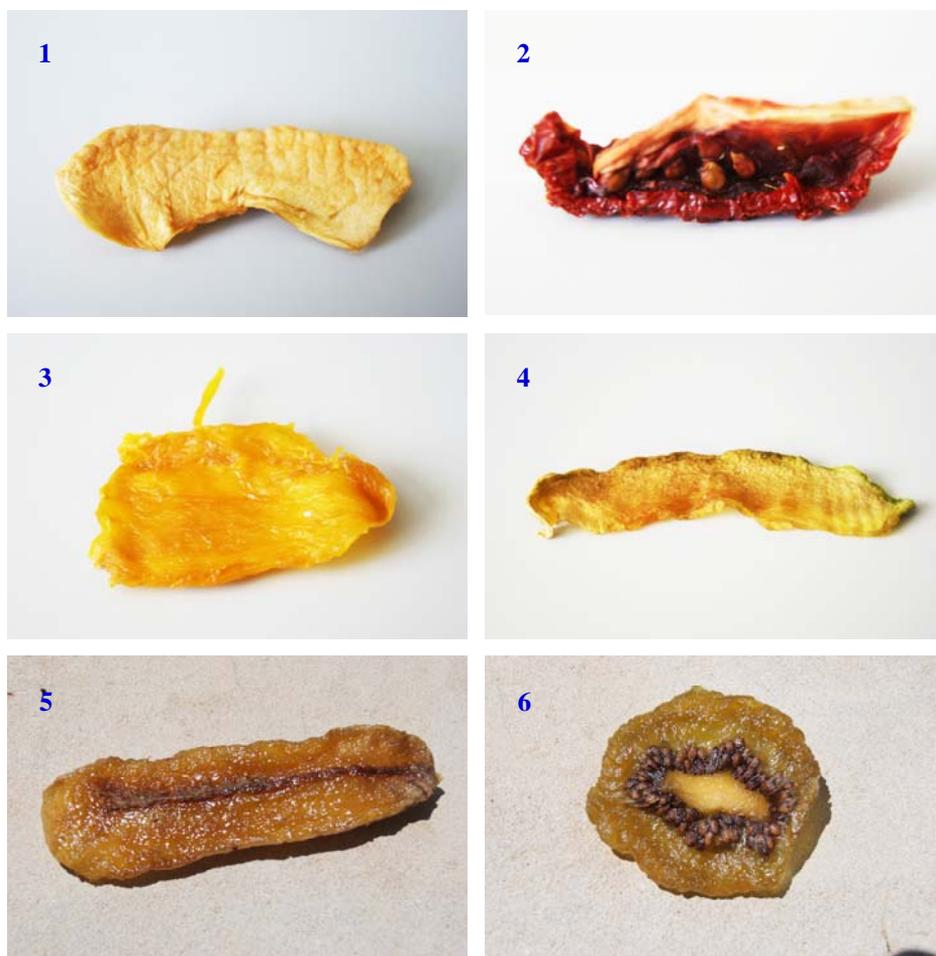


Figura 4. Manzana (1), tomate (2), mango, (3), melón (4), plátano (5) y kiwi (6) deshidratados con el equipo diseñado

2. Objetivos.

La deshidratación de alimentos permite conservarlos durante largos periodos de tiempo sin necesidad de recurrir a otras medidas de conservación, tales como refrigeración, congelación o utilización de productos o envases especiales. Hacerlo con energía solar proporciona un método económico y consigue además que se mantengan la mayor parte de las características del producto, como el sabor, color o su calidad nutricional.

Los excedentes alimentarios procedentes de cultivos propios o de la recogida de alimentos que se producen de forma natural y generalizada en distintas partes del mundo (el mango o la papaya, por ejemplo, en Burkina Faso), pueden deshidratarse para consumirse en periodos de tiempo posteriores, fuera de la temporada en que se cosechan (Savy, M. 2006).

De esta forma, la deshidratación de alimentos puede servir para aumentar la calidad de la alimentación de las personas que los consumen, dado que pueden disponer de ellos en periodos diferentes a los de su cultivo y recogida. Incluso puede llegar a generar trabajo e ingresos económicos, con una actividad fácil de realizar, dado que una vez secados y envasados los alimentos pueden ser comercializados.

En función de estos parámetros, los objetivos que nos hemos propuesto y que se han materializado en este trabajo, son:

- Diseñar un deshidratador de uso familiar que pueda ser aplicado en países en vías de desarrollo y que utilice como fuente primaria el sol, dado que es una fuente de energía gratuita e inagotable. Actuará sobre los alimentos a partir de la generación directa de aire caliente, sin necesidad de electricidad para su funcionamiento.

- Conseguir que el equipo diseñado pueda ser montado y manejado de forma sencilla por las personas que lo van a utilizar, y que se construya con materiales que se puedan encontrar con facilidad en cualquier parte del mundo. Hacer a la vez que sea de bajo coste, dado que va destinado a países en los que el poder adquisitivo de muchas personas es mínimo.

- Preparar los planos del equipo y una descripción básica, que puedan enviarse a los que lo soliciten. De esta manera los destinatarios pueden montar su propio equipo y comenzar a aplicarlo sin necesidad de intervención por nuestra parte, excepto la que sea requerida para aclarar algún dato puntual que precisen.

- Realizar un prototipo en la UPV sobre el que poder hacer trabajos de deshidratación sobre distintas frutas y hortalizas, para comprobar el funcionamiento del equipo y los resultados del proceso de secado, estudiando las condiciones en las que se produce el proceso de deshidratación.

- Realizar mediciones de los parámetros que intervienen en el proceso de deshidratación, fundamentalmente temperatura dentro del equipo y disminución del peso de los alimentos tratados, para obtener conclusiones sobre cómo se desarrolla el secado de los alimentos en el interior del equipo.

- Establecer mejoras en el deshidratador, que permitan optimizarlo manteniendo la idea inicial de que siga siendo de bajo coste y que cualquier persona pueda acceder a montarlo y utilizarlo, sin necesidad de una formación técnica de alto nivel.

- Obtener curvas de secado de distintas frutas y hortalizas, en distintas condiciones meteorológicas y climatológicas, comprobando cuáles son su forma y características, y cuáles son los tiempos necesarios para realizar el secado, comprobando cuándo se ha completado el proceso.

- Documentar gráficamente el secado de las distintas frutas y hortalizas, realizando fotografías de la evolución del aspecto del producto a medida que avanza el proceso de deshidratación.

- Darle un uso docente en la UPV diseñando e implementando una práctica para los alumnos de las asignaturas de energías renovables, con el fin de que conozcan una aplicación de la energía solar diferente a la producción de energía eléctrica o agua caliente. También ha de servir para que tomen conciencia de cómo está la situación de la alimentación en el mundo y las graves carencias que padece una buena parte de la población mundial.

Resumiendo los objetivos, queremos obtener un equipo de deshidratación mediante aire caliente que sea eficiente y funcione mediante energía solar y que tenga un coste de fabricación y mantenimiento asequible. Buscamos así que pueda ser utilizado por personas con pocos recursos, que sequen sus excedentes alimentarios o bien que compren las frutas y hortalizas cuando son abundantes y tienen un precio barato, para luego consumirlas en momentos en que son escasas y tienen precios de coste elevados.

3. Estado actual.

3.1. Introducción.

En una buena parte de los países en vías de desarrollo, y particularmente en África, la agricultura supone una parte importante de la economía nacional. Más del 80 % de la población trabaja en este sector y depende de los alimentos que cultiva para garantizar su subsistencia (Weiss, W. 2012). La conservación de los alimentos es crucial, por tanto, para garantizar la alimentación de la población, siendo la deshidratación la posibilidad más cercana y barata para poder realizarla.

En la primera etapa del proyecto nos centramos en obtener información sobre el proceso de deshidratación o secado y las ventajas e inconvenientes de deshidratar alimentos.

La deshidratación consiste en eliminar parcial o totalmente el agua contenida en las sustancias (Fito, P. 2001; Wikispaces, sin fecha). Las frutas y verduras, productos a los que inicialmente va destinado el equipo, son sólidos con alto contenido en agua, por lo que la deshidratación consiste en transferir el agua que contienen al exterior. En general, se suele aprovechar la diferencia de actividad del agua entre el alimento Aw_1 y el exterior Aw_2 , siendo $Aw_1 > Aw_2$.

En las últimas décadas los estudios realizados han confirmado que la actividad del agua es el factor determinante para mantener la calidad y la estabilidad de los alimentos. Esta actividad del agua es fundamental para el crecimiento de los microorganismos y, por tanto, para la degradación de los mismos (Scott, W. J. 1956; Maltini, E., 2003). La función de cualquier proceso de deshidratación

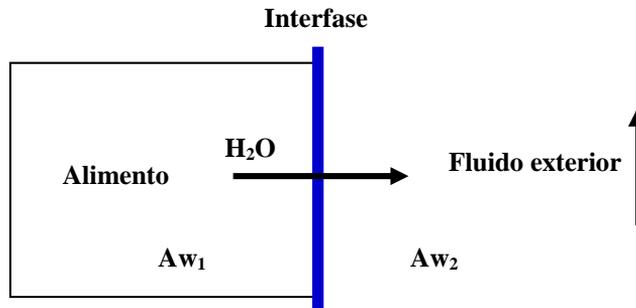


Figura 5. Transferencia del agua entre el alimento y el fluido exterior

consiste en dejar en el valor más bajo posible la actividad del agua, de manera que los microorganismos no puedan desarrollarse y el alimento se mantenga estable. Existen diferentes métodos para conseguirlo, entre los que podemos citar el prensado del alimento, la centrifugación, la ósmosis, la liofilización, pulverización, secado al vacío por microondas, etc. (Sagar, V. R. 2010).

En nuestro caso utilizamos aire caliente para realizar el secado, es decir, nos encontramos ante una operación de transferencia de calor y masa por medio del contacto entre un gas y un sólido. De esta manera se consigue extraer la humedad contenida en el sólido y transferirla a fase gaseosa (Andión, R. 2010). La eliminamos así del interior del alimento y posteriormente sacamos el aire del recinto en el que se ha realizado el proceso, de manera que arrastre la humedad extraída.

Cuando $Aw_1 = Aw_2$, el sólido y el aire alcanzan el equilibrio y el proceso de secado cesa. Nosotros vamos a someter al alimento a un flujo continuo de aire caliente que posee un contenido en agua muy bajo. De esta manera, prácticamente todo el contenido en agua que está libre en el alimento tiende a salir hacia el exterior, siendo arrastrado por el gas. El proceso continuará hasta que no quede más humedad libre en el alimento o hasta que se alcance un equilibrio entre la humedad del alimento y la del fluido (Mujumdar, A. S. 2015).

Existen numerosas publicaciones que recogen distintos tipos de deshidratadores y sistemas de deshidratación. En nuestra investigación nos hemos centrado en particular en los equipos que utilizan el sol como fuente de energía (Kumar, M. 2016). Lo hemos hecho así debido a la pobreza en la que viven los destinatarios de nuestro equipo y a que muchos de los países en los que se puede aplicar la deshidratación poseen unos niveles de radiación muy altos durante casi todo el año. Sobre este tipo de equipos tiene especial relevancia el trabajo “Solar Drying”, incluido dentro del libro Handbook of Industrial Drying (Imre, L. L. 1987). Fue publicado por primera vez en el año 1987 y ha sido reeditado regularmente en años sucesivos.

También resulta interesante la “Guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes”, puesto que resume de forma clara y sencilla las ventajas de la deshidratación. Realizado en 2005 por la Fundación Celestina Pérez de Almada y la UNESCO de Paraguay (Almada, M., 2005), es el fruto de diez años de trabajo e investigación en el campo de la deshidratación de alimentos. Recoge algunos de los puntos básicos que justifican las ventajas de la deshidratación y particularmente la que se realiza mediante energía solar:

- Conserva los alimentos durante largos periodos de tiempo, sin necesidad de elementos conservantes ni sistemas de conservación adicionales, y permite consumirlos en periodos en los que no se dispone de otro tipo de alimentos.



Figura 6. Tomate y Jengibre deshidratados en Burkina Faso en diciembre de 2016, envasados para su conservación y/o comercialización a pequeña escala

- Mejora y asegura la calidad de la alimentación de las personas durante todo el año, al poder disponer de los alimentos deshidratados en momentos diferentes al de su cultivo y recolección.

- Aprovecha la energía del sol, que es limpia y gratuita, para aplicarla a frutas, verduras y hortalizas de cada país o zona geográfica. Se hace en la época del año en la que se producen, evitando que se deterioren cuando por exceso de producción no pueden ser consumidas en el momento en que maduran.

- Genera la posibilidad de trabajo e ingresos económicos, preparando los excedentes deshidratados para su venta, abriendo una línea de trabajo que puede contribuir a sostener la economía de las personas y familias. Incluso se pueden elaborar galletas, caramelos o bombones que contengan frutas deshidratadas y que los hagan más atractivos para su venta o para el consumo infantil.

A estos datos hay que añadir que el almacenaje de los productos deshidratados es sencillo. De una parte, ocupan menos espacio que los alimentos frescos, dado que se reduce su volumen de forma importante. De otra, basta con mantenerlos en un recipiente cerrado para que no recuperen contenido en agua a partir de la humedad ambiente. Este recipiente puede ser simplemente una bolsa de plástico, que se pueda cerrar lo más herméticamente posible, de manera que evite el contacto del alimento con el aire exterior. En la *figura 6* se pueden ver dos bolsas con tomate y jengibre deshidratados en Burkina Faso, dispuestos para su conservación y comercialización a pequeña escala.

En estas condiciones la durabilidad en el tiempo del alimento es elevada y puede consumirse tanto rehidratándolo -dejándolo en agua para que vuelva a absorber la humedad que perdió-, como utilizándolo para cocinar, rehidratándose con el aceite o el agua que se utilizan para cocinar (Marín, E., 2006). También se puede comer directamente, dado que si se realiza correctamente la deshidratación potencia los sabores y proporciona texturas agradables al alimento deshidratado, dejando una buena sensación en el paladar, tal como hemos podido comprobar directamente con distintas frutas y verduras deshidratadas por nosotros en los últimos años.

3.2. Deshidratación de alimentos.

La deshidratación mediante aire caliente necesita de algún tipo de energía que permita elevar la temperatura del aire que ha de entrar en contacto con los alimentos. En nuestro caso la fuente de energía que utilizamos es el sol (VijayaVenkataRamana, S. 2012), lo que contribuye además a una disminución de emisiones de CO₂ (Bergues, C. 2010). En una gran cantidad de países, sobre todo en los que están en vías de desarrollo y particularmente en Burkina Faso, la energía solar se utiliza de forma directa, colocando los alimentos sobre una lona, una tela o una malla y exponiéndolos al sol.

Evidentemente este método de secado directo es el más barato de todos los que podemos plantear, por lo que se sigue utilizando de forma generalizada. Tiene el inconveniente de que al recibir directamente la radiación solar los alimentos pierden parte de sus propiedades alimenticias e incluso el color (Askari, G. 2009; Ceballos-Ortiz, E. M., 2012; Ojike, O. 2011) y quedan expuestos, tal



Figura 7. Secado tradicional por exposición directa al sol (fuente: terra.org)



Figura 8. Deshidratado directo al sol con bandejas de alimentos sobre mesa

como se ha comentado, a la contaminación que pueda arrastrar el aire y a la acción de animales o insectos.

También existe la opción de colocar los alimentos en alto, utilizando hilos, cuerdas o ganchos, que los separen del suelo, para evitar la acción de algunos animales sobre ellos. Una tercera opción es poner los alimentos sobre bandejas u otro tipo de soportes, situándolos por encima del suelo, sobre mesas o en lugares menos accesibles (Almada, M. 2005).

Se puede intentar evitar así la acción de animales domésticos u otros como los roedores, pero no se elimina la acción de los insectos que llegan con facilidad hasta los alimentos que se están secando. De hecho, dentro de la propia universidad hemos colocado frutas y hortalizas en bandejas, expuestas directamente al sol situadas sobre una mesa, como se ve en la *figura 8*, y hemos podido comprobar cómo aparecían moscas y avispas situándose alrededor de las bandejas, llegando con facilidad hasta los alimentos que se están deshidratando y posándose sobre ellos.

En estas condiciones, el proceso de secado por exposición directa al sol no puede garantizar la calidad del producto final deshidratado, que queda por debajo de los estándares internacionales y puede contaminarse por la acción de animales e insectos, o por los elementos que pueda transportar el aire. Esto incide en una mayor probabilidad de deterioro posterior del alimento, e incluso en producir problemas de salud a las personas que los consumen, lo que provocaría un efecto altamente negativo y no deseable. Debido a ello ha habido una

progresiva y creciente preocupación por la calidad del producto final deshidratado (Bala, B. K. 2009) también en los países en vías de desarrollo.

Esa mejora en la calidad también está motivada por un intento de conseguir situarse en línea con las normas internacionales, sobre todo cuando en algunos casos se plantea la posibilidad de exportar el producto. De cualquier manera, las mejoras sólo son posibles si el agricultor o las personas que realizan la deshidratación entienden que los costes asociados son reducidos y que la relación entre la mejora y el coste es suficientemente atractivo para ellos.

En países en vías de desarrollo y en zonas pobres del planeta, la introducción de las tecnologías de secado adecuadas sólo será posible si la mejora de calidad del producto final se produce a un precio asumible por los usuarios del sistema de secado. Aunque se utilice energía solar, el equipo necesario lleva asociado un coste, encareciendo por tanto el producto. Este coste es aceptable si los usuarios tienen suficiente poder adquisitivo o pueden recuperar la inversión en un tiempo razonable (Janjai, S. 2012).

De ahí surge la posibilidad de utilizar el secado mediante dispositivos que utilizan la energía solar, sin recurrir a otro tipo de combustibles y/o técnicas. En realidad se trata de un perfeccionamiento de los procesos de secado directo al sol (Bala, B. K. 1997), que utilizan la convección natural para mejorar el proceso, manteniendo las ventajas de la exposición directa, como el coste nulo del combustible, y eliminando inconvenientes como el deterioro de los nutrientes. En la *figura 9* se pueden ver aros de cebolla deshidratados en Burkina en el mes de diciembre de 2016 y con el equipo diseñado. Cinco meses después de su deshidratación se mantienen estables y en buenas condiciones para su consumo.



Figura 9. Cebolla deshidratada en Burkina Faso con el equipo diseñado

3.3. Deshidratador básico.

Existen muchos modelos de deshidratadores que cumplen con el requisito de que el equipo sea de bajo coste y, en la medida de lo posible, de fácil manejo (Belessiotis, V. 2011). El primero en el que nos podemos detener y más simple de todos, se suele denominar deshidratador de gabinete (Imre, L. L. 1987). Su formato básico es el que se puede ver en la *figura 10*. Su característica principal es que la captación de la energía solar se realiza en el mismo lugar en el que se colocan los alimentos que van a ser deshidratados.

Tiene una estructura de caja cerrada, que posee una base horizontal que se puede depositar directamente en el suelo o separarla de él mediante algún tipo de soporte. En la parte superior posee un cristal u otro elemento transparente que deja pasar la radiación solar. Posee un ángulo de inclinación respecto a la horizontal que depende de la zona geográfica en la que se va a aplicar el equipo, de manera que el sol incida lo más perpendicularmente posible sobre dicha superficie inclinada.

Se dispone de esta forma para conseguir que la mayor parte de la radiación entre al dispositivo, minimizando la radiación reflejada. Por ese mismo motivo el equipo se orienta en dirección al sol, es decir, si estamos en el hemisferio norte de la Tierra se orienta hacia el sur, mientras que si estamos en el hemisferio sur se orienta hacia el norte. Si vamos a aplicarlo en una zona situada en el ecuador terrestre, la parte superior se dispone horizontalmente, dado que en esas zonas el sol mantiene una posición perpendicular respecto a la Tierra.

En los laterales se disponen orificios para la entrada y salida del aire. La entrada se sitúa en la parte frontal, es decir en la dirección respecto a la que se orienta respecto al sol, mientras que la salida se coloca en la parte posterior y

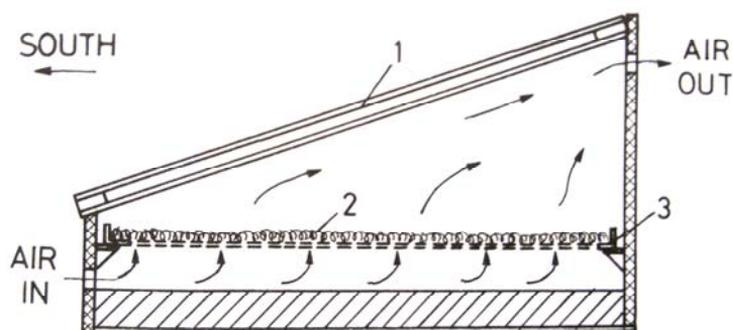


Figura 10. Deshidratador básico de gabinete (Imre, L. L. 1987)

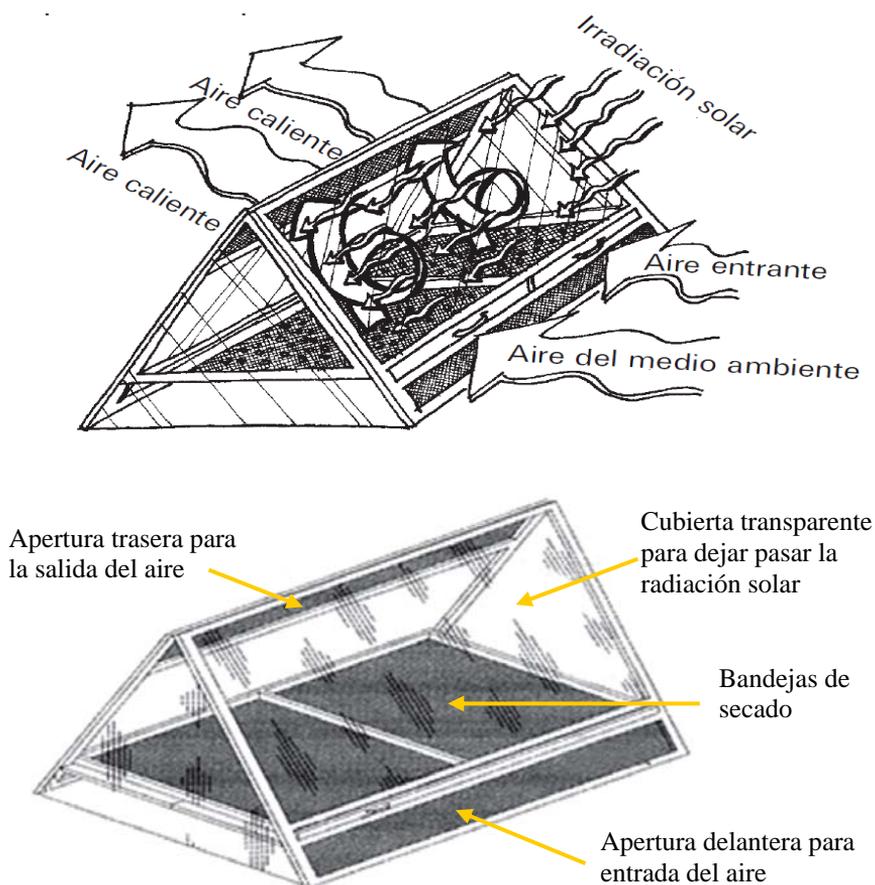


Figura 11. Deshidratador de gabinete de sección triangular (Almada, M. 2005)

en la zona superior del dispositivo. Entre ambos orificios y normalmente en posición horizontal se coloca una bandeja perforada sobre la que se disponen los alimentos. Las paredes interiores del dispositivo conviene que tengan un color oscuro o negro, de manera que retengan el calor del sol que entra por la parte superior.

El aire caliente pesa menos que el aire frío por lo que tiende a elevarse (Velasco, L. 2011) y realiza un trayecto en el interior del equipo que va desde la entrada frontal hasta la salida superior posterior, pasando por las bandejas en las que están depositados los alimentos a deshidratar. Los alimentos se colocan normalmente cortados en rodajas, para facilitar el proceso de secado.

En la figura 11 se puede ver un deshidratador de gabinete de sección triangular, en el que se indican las trayectorias del aire caliente y la situación de los elementos que componen el equipo. También permite entender que se trata de

un equipo muy sencillo, por lo que las posibilidades constructivas de este tipo de deshidratadores es muy amplia. Debido a ello es uno de los que está más difundido en todo el mundo.

La circulación del aire transfiere su calor por convección natural, como explicábamos antes, al atravesar tanto la bandeja como los alimentos que se están tratando, siendo el contacto directo del aire con los alimentos lo que permite extraer su contenido de agua (Pérez-Reyes, M. E. 2013). Estos elementos se convierten en obstáculos entre los que debe moverse el aire caliente. Por ello el flujo de este aire será lento y la eficacia del proceso baja, es decir, se necesita un tiempo de secado alto, por lo que estos deshidratadores se suelen utilizar para secar pequeñas cantidades de alimentos.

A pesar de lo dicho, podemos encontrar en Internet una gran cantidad de equipos que mantienen esta disposición y este principio constructivo. En la *figura 12* vemos uno que utiliza plástico transparente para cubrir la parte superior y los laterales. Tiene menos capacidad de dejar pasar la radiación que el cristal u otros elementos similares, pero es más barato y fácil de aplicar. Contrariamente a lo expresado antes, los laterales y la parte de abajo no se han cerrado con un material oscuro, sino que se ha utilizado el mismo plástico transparente de la parte superior. Este hecho hará menos eficiente el proceso pero, a cambio, el equipo es muy fácil de montar.

También se puede observar cómo tiene dos niveles de bandejas, para poder aprovechar mejor el espacio y colocar mayor cantidad de alimentos. Esta disposición hará que el aire circule más lento y el proceso de secado emplee más tiempo. Como se ve en la fotografía, el equipo está provisto de patas que lo separan del suelo. También se puede observar la zona de entrada del aire y, en la parte trasera, la de salida, cubiertos por una malla fina para evitar el acceso de animales e insectos.



Figura 12. Variante del deshidratador genérico con exposición directa al sol



Figura 13. Variante del deshidratador de gabinete (Navarro, C. 2012)

En la *figura 13* se muestra otro equipo construido con madera, que posee la parte superior cerrada con plástico. Se ha obtenido de una de las numerosas páginas que en Internet explican el proceso de secado y las ventajas de conservar de esta manera los alimentos. En este caso se trata de una web en la que se explica cómo el secado de los alimentos elimina el agua contenida en ellos lo que “impide la proliferación de bacterias y mohos”, siendo un proceso sencillo que “mantiene mejor los nutrientes que las confituras y otras conservas. Además, los alimentos desecados no solo no pierden nutrientes o sabor, sino que los multiplican” (Navarro, C. 2012). Incide también en que la deshidratación potencia el sabor de los alimentos, dado que concentra el sabor de los mismos, tal como nosotros hemos podido comprobar en el trabajo realizado en los últimos cinco años.

También se detiene en algunas ideas importantes para garantizar la durabilidad del equipo y la comodidad en su utilización. Los materiales que se utilicen para su construcción deben ser robustos. Aunque para hacer unas pruebas iniciales se pueden utilizar elementos como el cartón, en general es preferible utilizar madera, que proporcione un buen nivel de consistencia al equipo. Las piezas que lo forman se deben unir mediante tornillería y cola. Es conveniente que tenga una posición elevada, que permita manipular con comodidad las bandejas en las que se depositan los alimentos. Por el contrario, no se hace indicación de la conveniencia de tener las paredes y parte inferior de color negro u oscuro, para mejorar de forma importante la captación de la radiación solar y, por tanto, disminuir el tiempo necesario para el secado.

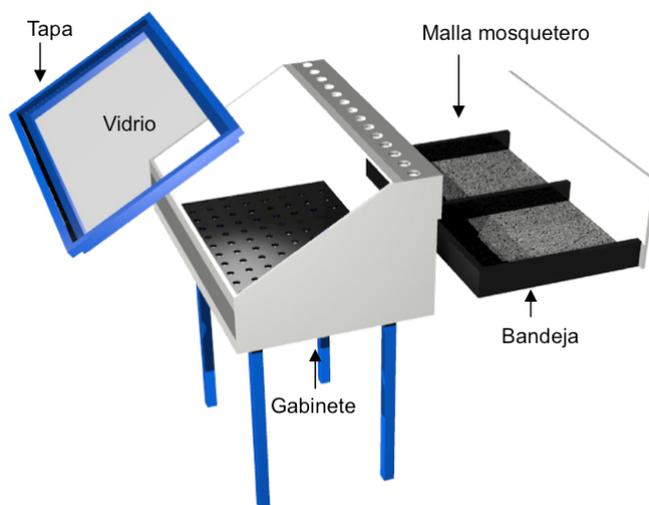


Figura 14. Despiece del deshidratador (Canelo)

En los distintos procesos de secado que hemos llevado a cabo en la universidad, se han acercado hasta el equipo decenas de personas que se han mostrado interesadas en el trabajo que estábamos realizando. Uno de ellos nos comentó que había construido un equipo de estas características, pero que había utilizado como elemento base para su construcción un bidón cortado por la mitad y con una disposición de elementos que seguían pautas similares a las indicadas.

En varias páginas web se describen modelos sencillos y se incluyen planos constructivos de fácil uso. Es lo que ocurre con el que tenemos en la figura 14 (Canelo, sin fecha), que en su apartado de deshidratadores explica el funcionamiento básico e incide en sus ventajas. Destaca el hecho de que secando los alimentos se consigue una reducción de su peso de hasta ocho veces, es decir, el peso final del producto es un octavo del que tenía inicialmente. Esta reducción de peso

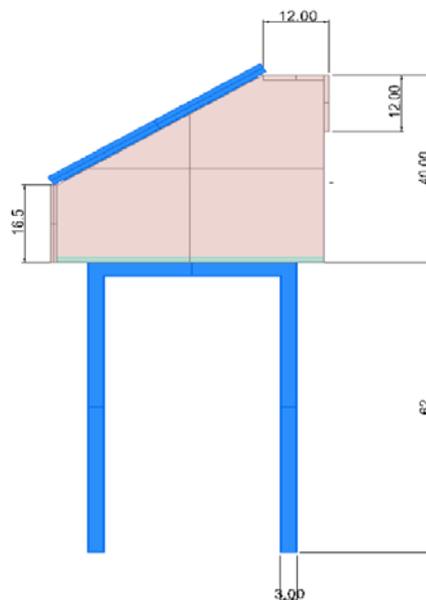


Figura 15. Dimensiones del deshidratador (Canelo)

lleva asociada una reducción del tamaño, lo que facilita la manipulación de los alimentos secos y su almacenamiento. La página ofrece el despiece completo de los elementos que componen el equipo, indicando sus dimensiones, que podemos ver resumidas en la *figura 15*. También ofrecen un documento en pdf con las instrucciones de montaje y dimensiones de cada uno de los elementos que componen el deshidratador.

Aunque se ha comentado que estos son equipos de poco tamaño, inicialmente destinados a deshidratar pequeñas cantidades de alimentos, en realidad son modulares, puesto que su capacidad de secado depende de la cantidad de radiación solar que incide sobre el equipo. Por ello, si se quiere secar más cantidad de alimentos, se puede disponer de varios deshidratadores trabajando simultáneamente o bien hacer equipos de mayor tamaño.

En el documento *Fruit and vegetable processing* (FAO, sin fecha), se muestran equipos como el indicado en la *figura 16*, que pueden tener un tamaño considerablemente mayor y disponer de una gran cantidad de espacio para el secado. A pesar de ello incide en que es “más apropiado construir y operar con varias unidades más pequeñas”. La multiplicidad permite la diversidad, ya que se pueden secar a la vez más de un cultivo sin mezclarlos. Otra ventaja es que “si un secador está fuera de servicio debido a daños, el secado puede continuar con una capacidad reducida usando los demás secadores”.

Otro factor a tener en cuenta, y en el que se incide, es que a veces no se tiene una gran cantidad de alimentos para deshidratar, con lo que un equipo de gran tamaño estaría infrutilizándose, puesto que no se podría cargar completo. Sin embargo, si se tienen varios equipos de pequeño tamaño, se cargan solo los que sean necesarios para la cantidad de producto a tratar.

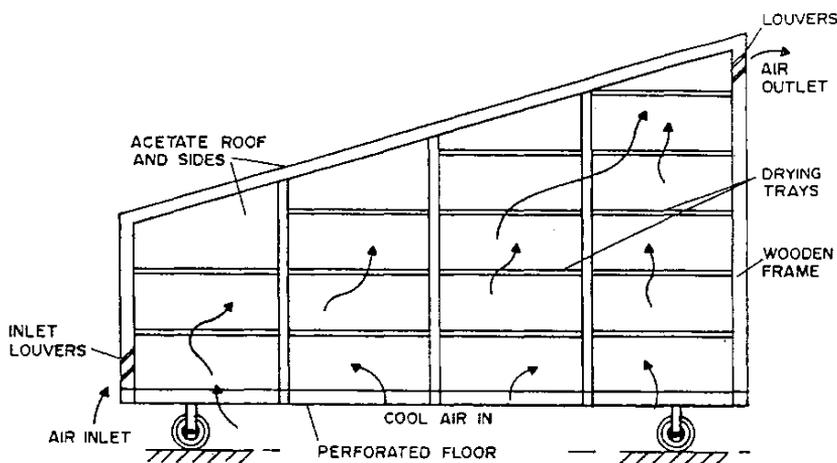


Figura 16. Deshidratador de gabinete de mayor capacidad (FAO)

En este documento de la FAO encontramos además algunas consideraciones adicionales sobre los materiales y la duración en el tiempo de los equipos. Dado que los destinatarios de los mismos suelen ser personas pobres, se suele tener tendencia a utilizar materiales de baja calidad, para conseguir abaratar el coste del deshidratador. Sin embargo, lo que inicialmente parece una ventaja, lleva a que en poco tiempo, a veces una sola temporada de uso, se convierta en un inconveniente, puesto que los equipos se deterioran.

Este factor no entra en contradicción con utilizar materiales que se puedan encontrar en el lugar en el que se va a construir y utilizar el deshidratador. Por ejemplo, la madera puede ser local, buscando un tipo que sea resistente y de calidad, pero obtenido de la zona en la que se esté trabajando. Se consigue así no tener costes adicionales de transporte. A cambio puede que sea más complicado unir el plástico a la madera, si ésta no tiene un tratamiento final suficiente.

En cuanto al material para recubrir la parte superior del equipo, hay que señalar que se suele recurrir al plástico transparente porque es fácil de obtener y barato. Sin embargo, hay que intentar que los plásticos sean de la mejor calidad posible, puesto que de lo contrario habrá que sustituirlos en poco tiempo, debido a la degradación que sufren, al estar expuestos al sol durante muchas horas cada día.

3.4. Deshidratador túnel.

Los equipos de tipo gabinete, que hemos visto hasta aquí, cumplen con la premisa de la que hemos partido: ser baratos y de fácil construcción y manejo. El mantenimiento también es sencillo y requiere de un esfuerzo mínimo, aún en el caso de que haya que sustituir cada cierto tiempo el plástico. Se pueden construir y aplicar en zonas remotas y de acceso complicado, en las que resulta difícil utilizar para la deshidratación otro tipo de combustibles que, además, tienen un coste económico elevado y variable en el tiempo. Por tanto, es un tipo de deshidratador que permite potenciar el desarrollo de zonas rurales económicamente deprimidas (Bano, T., 2015).

Una forma de utilizar este diseño para construir un equipo de mayor tamaño es adosando módulos lateralmente, obteniendo un deshidratador tipo túnel. Se puede diseñar haciendo que el aire entre en la parte frontal por abajo y obtenga su salida por la parte trasera y arriba, o bien haciendo que entre por un lateral y salga por el otro, tal como se puede ver en la *figura 17*.

Construido de esta manera posibilita un trabajo casi industrial, dado que el equipo se puede dimensionar del tamaño que se necesite. Las bandejas en las que se depositan los alimentos se pueden manipular a través de un sistema de cajones, que permiten extraerlas para colocar los alimentos o actuar sobre ellos.

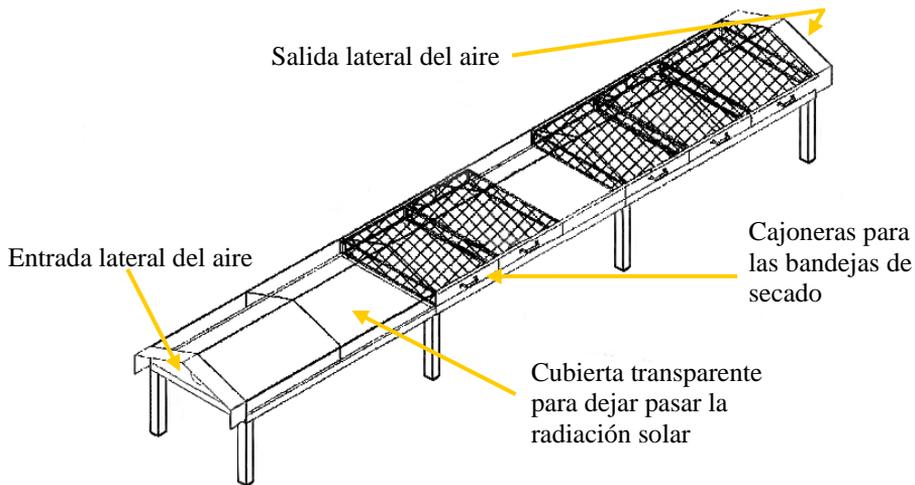


Figura 17. Deshidratador túnel (Almada, M. 2005)

El equipo se puede diseñar con la altura necesaria para que en las bandejas se deposite cualquier tipo de producto, incluidos los que ocupan más volumen, como hierbas o flores.

Se convierte así en un túnel horizontal, que se suele colocar sobre una posición ligeramente elevada sobre el suelo, por ejemplo mediante unos caballetes. Está recubierto de material transparente para que deje pasar la radiación solar, aunque la base sigue siendo conveniente que posea un color oscuro. En la primera zona al lado de la entrada del aire se produce el calentamiento del mismo. Al buscar la zona de salida, el aire pasa por las bandejas en las que están depositados los alimentos y extrae la humedad contenida en ellos. Como en otros equipos, la entrada y la salida del aire se protegen con malla de retícula fina, que impida el acceso de los animales e insectos hasta la zona de secado.

El aire circula de forma horizontal a través de todo el túnel. Entra por un extremo y sale por el otro. Puede ser impulsado incluso por un ventilador eléctrico, si se dispone de energía eléctrica en el lugar en el que se aplica. De no tenerla se puede colocar el equipo con una pequeña inclinación que facilite el movimiento del aire hacia la salida, en la que se puede colocar también una chimenea que ayude al movimiento del aire.

En estas condiciones se consigue que la temperatura del aire que incide sobre los alimentos que se están deshidratando se eleve entre 20 y 25 grados por encima de la temperatura ambiente (Almada, M., 2005). Esto reduce la cantidad de tiempo necesario para obtener la deshidratación de los mismos, respecto al tiempo necesario por exposición directa al sol.



Figura 18. Deshidratadores comerciales de tipo túnel (Sharma, P. D. 2015)

De este modelo incluso se comercializan en países como India distintos tipos de deshidratadores, como los que se pueden ver en la *figura 18*, que tienen acabados finales muy diferentes entre sí. Pueden estar contruidos con una sola vertiente o con dos. Su disposición respecto a la posición del sol es diferente de un caso a otro. El de una sola vertiente se direcciona buscando la posición del sol (hacia el sur en el hemisferio norte y hacia el norte en el hemisferio sur), mientras que el de dos se debería colocar siguiendo la trayectoria solar desde su salida hasta el ocaso, es decir, de este a oeste.

También se pueden ver en la *figura 19* variantes de mayor tamaño, en las que estamos ante equipos que permiten tratar grandes cantidades de alimentos de una sola vez. En la fotografía **A** se pueden ver las aberturas a ras de suelo para la entrada del aire, mientras que la salida del aire se produce a través de varias chimeneas situadas en la parte superior central del equipo. Como se ve, el plástico es translúcido, del tipo utilizado en invernaderos. Tiene un peso pequeño y un grosor suficiente para que no se rompa por la acción de los elementos que puede arrastrar el aire o por la acción de las personas que están trabajando, que pueden situarse de pie en su interior como se ve en la fotografía **B**.

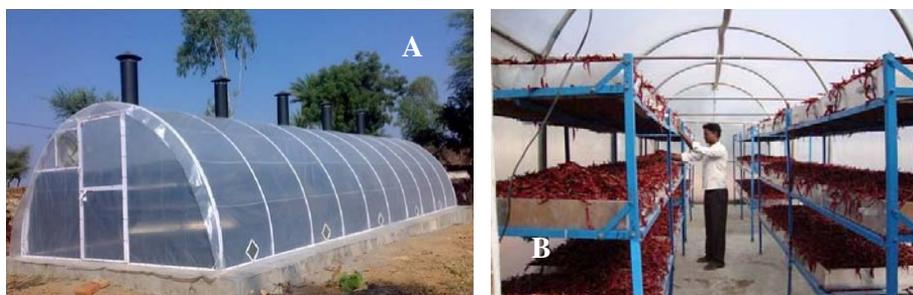


Figura 19. Deshidratadores túnel comerciales de mayor tamaño (tradeindia.com)



Figura 20. Deshidratadores de gabinete construido en Zimbawe (Weiss, W. 2012)

Completando los equipos de tipo gabinete que se están utilizando en distintas partes del mundo llama la atención por su tamaño el que se muestra en la *figura 20*. Construido en Zimbawe, está recogido en la publicación *Solar Drying*, editada en Austria por Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie y el Institute for Sustainable Technologies.

Está construido en metal para que las juntas sean mejores y se pierda la menor cantidad de aire caliente posible, dado que hay que deshidratar una cantidad de producto muy grande. Las propias paredes del equipo actúan como superficie de captación de calor, puesto que el metal aumenta su temperatura al incidir la radiación solar sobre él.

Debido a la cantidad de bandejas de gran tamaño que contiene en su interior, el tiempo de secado será más alto que en otros equipos vistos, por lo que exige un mayor control de la calidad del producto deshidratado. Presenta la ventaja de que al ser sus paredes metálicas, el sol no incide directamente sobre los alimentos. Este es un factor importante, puesto que, como hemos dicho, los secadores de gabinete tienen el inconveniente de dejar que el sol alcance directamente a los alimentos, lo que perjudica a las propiedades nutricionales y a la calidad final del producto deshidratado, e incluso puede producir una degradación del color y de la textura de los alimentos (Goula, A. M., 2005).

3.5. Deshidratadores indirectos.

Los problemas descritos en el párrafo anterior no impiden que durante décadas y también en la actualidad los deshidratadores de gabinete se utilicen de forma generalizada. En estos equipos se trabaja más en optimizar el proceso térmico que en el cuidado de la calidad final del producto. Sin embargo, el aumento de la preocupación por la calidad de los alimentos, es decir, sus propiedades alimenticias, ha llevado a buscar soluciones que eviten la degradación de los nutrientes. Es tan importante preservar el alimento como que mantenga la mayor parte de sus cualidades.

Entre las condiciones que marcan la calidad del producto final deshidratado, el color es uno de los factores fundamentales. El consumidor final del alimento seco acepta mejor el producto deshidratado si mantiene su color original. Sin embargo, el proceso de deshidratación conduce a cambios de color en los alimentos. Es otro de los motivos por los que hay que buscar que no queden expuestos directamente al sol y que el tiempo de secado sea corto, pero sin alcanzar temperaturas demasiado altas que también perjudican a las propiedades nutricionales de los alimentos (Askari, G., 2009).

Surgen así los deshidratadores indirectos. La solución para que el sol no incida directamente sobre los alimentos que se están tratando consiste en separar la zona en la que se depositan los alimentos de la que sirve para elevar la temperatura del aire. El equipo está formado entonces de dos partes completamente diferenciadas (Navale, S. R., 2014):

- **Un colector solar**, en el que el aire procedente del exterior entra a temperatura ambiente y debe elevarla hasta los valores necesarios para el secado. Dicha temperatura no debe superar los sesenta y cinco grados en el punto de contacto con el alimento, para evitar su deterioro (Ochoa-Reyes, E. 2013). Como en el caso de los deshidratadores de gabinete, el colector debe situarse con la inclinación adecuada para que el sol llegue lo más perpendicular posible hasta la superficie superior del mismo, de manera que se refleje la menor cantidad posible de radiación solar. Esa parte superior debe ser lo más transparente posible a la radiación solar. Por el contrario, la parte inferior debe ser capaz de retener dicha radiación, por lo que, independientemente del material, debe tener un acabado en negro o en colores oscuros.

- **Una zona de secado**, en la que se depositan los alimentos, normalmente en bandejas perforadas u otro elemento con formato de rejilla, y a la que accede el aire caliente para extraer su contenido en agua. El desplazamiento del aire se produce por convección natural, dado que el aire caliente pesa menos que el aire frío y tiende a elevarse. La inclinación del colector ayuda al desplazamiento

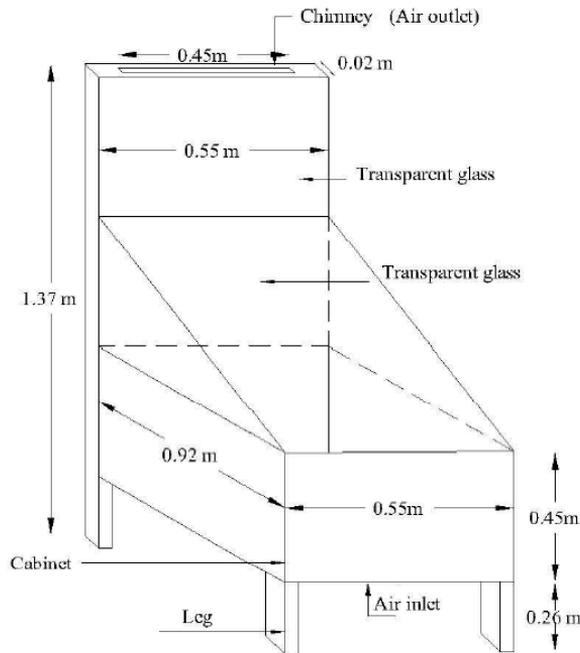


Figura 21. Deshidratador solar indirecto (Navale, S. R. 2014)

del aire caliente, que inicia su ascensión por la zona de secado, poniéndose en contacto con los alimentos y deshidratándolos, dado que, como hemos señalado ya, el aire caliente tiene un contenido en agua menor.

En la figura 21 se puede ver un plano con las dimensiones de uno de estos equipos, realizado básicamente con madera y vidrio (aunque, como ya se ha comentado, también se puede utilizar cualquier otro material transparente a la radiación solar). Sus autores lo utilizaron para deshidratar hojas de alholva (una planta medicinal con poderes antisépticos y antiinflamatorios) y comparar los resultados del secado directo al sol respecto al secado indirecto en el equipo mostrado.

Pudieron verificar que el secado en el deshidratador es más rápido que el secado directo al sol. Para una misma cantidad de producto el contenido de nutrientes en las hojas deshidratadas es mayor que en el producto fresco, un resultado esperable, puesto que al eliminar gran parte del peso del producto, que es agua, lo que queda son los nutrientes, que se encuentran concentrados en mayor proporción por cada 100 gramos de producto.

Finalmente compararon el contenido en nutrientes del producto deshidratado directamente al sol o con el deshidratador. El contenido en carbohidratos,

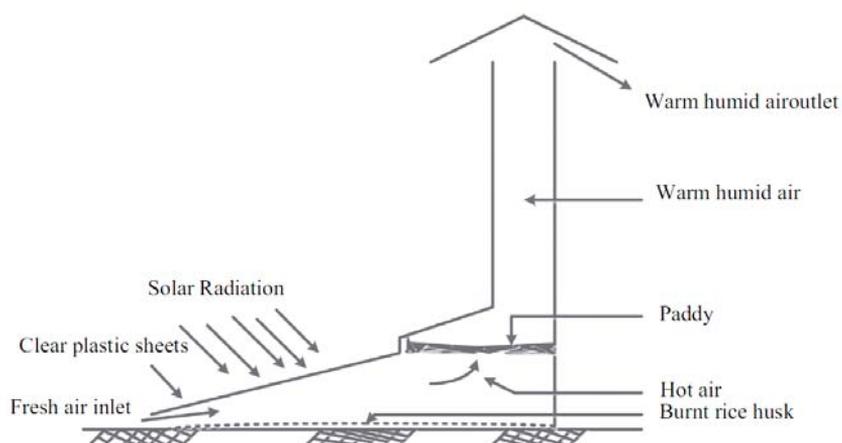


Figura 22. Representación básica del deshidratador indirecto (Mustayen, A. 2014)

sodio y calcio era superior en el producto deshidratado en el deshidratador, siendo también el contenido energético del producto deshidratado al sol inferior al deshidratado en el equipo que habían diseñado. Otros nutrientes como el potasio o el fósforo estaban en una cantidad ligeramente mayor en el producto deshidratado directamente al sol.

El balance final de su trabajo les llevaba a concluir que las hojas de alholva secadas en el deshidratador solar indirecto mostraron una calidad superior a las deshidratadas directamente al sol.

Existen numerosos equipos de deshidratación indirecta, con dimensiones diferentes en función de su autor y del destino que se quiera dar al deshidratador. También existen numerosos artículos en los que se revisan los tipos de deshidratadores y sus formas de funcionamiento. A. Mustayen, S. Mekhilef y R. Saidur hacen en su artículo “Performance study of different solar dryers: A review” (Mustayen, A. 2014) un repaso de distintos modelos y sus características.

En la figura 22 vemos la representación esquemática de uno de tipo indirecto, con las indicaciones de los puntos en los que se produce la entrada del aire, por donde accede ya caliente al producto a deshidratar y por donde sale el aire tras extraer la humedad del alimento. También muestra cómo incide la radiación solar sobre la superficie superior del colector e indica que está montada con plástico transparente.

En el estudio se ofrecen esquemas de otros modelos similares y se indica cómo la superficie inferior de la zona de captación debe ser de color negro para conseguir una mayor eficiencia del equipo. La disminución del tiempo de seca-

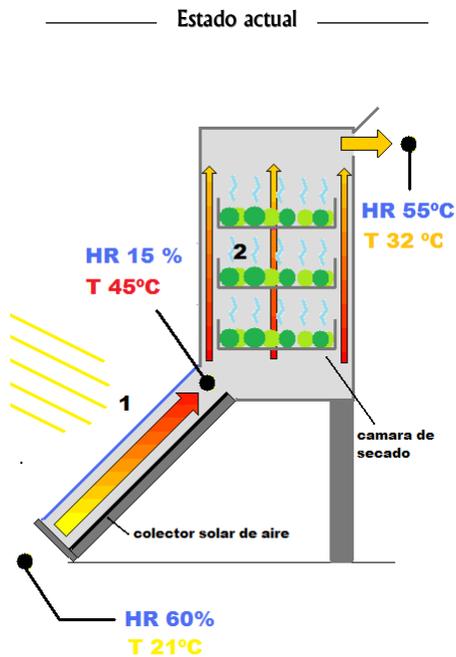


Figura 23. Deshidratador indirecto y rangos de valores de temperatura y humedad (Sitiosolar 2013)

do mantiene mejor las características de los alimentos que se están procesando, proporcionando un producto de mayor calidad. En este sentido hay que tener en cuenta que durante las horas en las que se realiza el secado, la actividad de los microorganismos sigue produciéndose en el alimento. Por ello, cualquier disminución del tiempo en el proceso de secado redunda en un producto final de calidad más alta.

Distintas páginas web recogen artículos con clasificaciones de los deshidratadores, esquemas que explican su funcionamiento y fotografías de equipos construidos. En la *figura 23* podemos ver un esquema incluido en la web de Sitio Solar, que dedica uno de sus artículos a deshidratadores solares. Aporta datos sobre la temperatura y humedad del aire en distintos puntos, aunque hay que tener en cuenta que solo son unos valores orientativos, puesto que depende del momento en el que hagamos la medida, climatología, etc.

Antes de entrar al deshidratador el aire posee una humedad del 60 % y tiene una temperatura de 21 °C. En el colector disminuye la humedad hasta el 15 % mientras que la temperatura se eleva hasta los 45 °C. Este aire caliente y seco tiene mayor capacidad para extraer la humedad de los productos con los que interacciona. Cuando llega a la cámara de secado la temperatura disminuye y la humedad aumenta, debido al propio proceso de extracción del agua de los alimentos. A la salida del equipo la temperatura ha bajado hasta 32 °C, mientras que la humedad ha subido hasta el 52 %.



Figura 24. Dos vistas de un deshidratador indirecto (<https://www.pinterest.se/tuskenbane/dehydrator-plans/>)

Aunque sea una representación esquemática, resulta llamativo que el colector sea de menor tamaño que la zona de secado, un hecho que volvemos a encontrar en equipos ya montados, como el que se muestra en la *figura 24*. Está construido en madera y se puede observar en la vista de la derecha que el fondo del colector es de color oscuro. La cámara de secado es muy amplia, y permite la colocación de doce bandejas con alimentos. Su parte exterior es de color negro, de manera que actúa también como elemento captador de la radiación solar, contribuyendo a aumentar la temperatura de la cámara de secado.

El proceso de secado se producirá debido a los factores que se han comentado antes, pero la capacidad del aire para extraer la humedad de los alimentos irá disminuyendo a medida que pierda temperatura y recupere humedad que extrae de los alimentos. Este hecho lleva a un aumento del tiempo necesario para completar la deshidratación. En cambio, se observa que la cámara de secado es muy compacta y tiene un buen nivel de aislamiento, reduciendo las pérdidas por fugas. Además, aísla completamente los alimentos de la radiación solar, por lo que los problemas de decoloración y pérdida de propiedades nutricionales en los mismos será mínima (Shrivastava, V. 2014).

En abril de 2015 el Instituto para la Producción Popular de Argentina presentó el deshidratador solar que se muestra en la *figura 25*. Fue desarrollado por uno de sus equipos técnicos y está destinado a mejorar la agricultura familiar. En la información que indican en su web el deshidratador incorpora “mejoras y modificaciones constructivas respecto de los equipos tradicionales, funcionando con calor indirecto (esto es por ventilación no forzada). La idea es que estos equipos sirvan para generar trabajo en cooperativas de carpinteros,



Figura 25. Deshidratador indirecto (<http://www.produccionpopular.org.ar/el-ipp-presenta-su-deshidratadora-para-la-agricultura-familiar-en-9-de-julio/>)

agregar valor al excedente de la producción rural y contar con un producto sano para el consumo de la sociedad local”. En la fotografía se puede ver cómo está construido en madera y posee una gran cantidad de bandejas. El exterior del equipo, en la parte que se puede ver, es de color negro, excepto las patas que se han dejado blancas. Llama la atención el ángulo de inclinación del colector, que tiene un valor elevado, lo que hace pensar que está destinado a una zona del sur de Argentina, siempre que el diseño busque una posición relativa óptima del sol respecto a la superficie superior de la zona de captación.

En Youtube existen vídeos con tutoriales para construir deshidratadores sencillos. Uno de ellos es el que se muestra en la *figura 26*. Fue presentado en



Figura 26. Deshidratador indirecto desarrollado en México (Conafor, 2008)

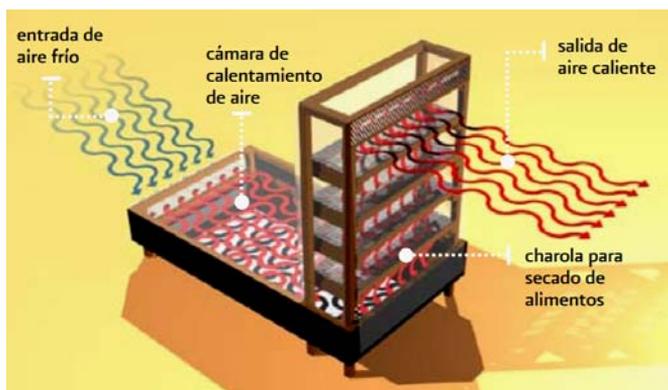


Figura 27. Deshidratador indirecto Conafor, en el que la radiación solar incide directamente sobre las bandejas en las que se depositan los alimentos

2008 por la Comisión Nacional Forestal (Conafor) de Jalisco, en México. Posee una disposición constructiva similar a las que hemos encontrado en casos anteriores, con un ángulo de inclinación de sólo cinco grados respecto a la horizontal. Está montado con listones de madera y plástico. Es fácil de ensamblar y poner en funcionamiento. En el documento de acceso libre que Conafor tiene en su página web se indican las medidas exactas y la forma de montarlo. También en el vídeo disponible en Youtube se ofrece esta información.

Sin embargo, presenta un inconveniente importante, puesto que todo el plástico que cubre la zona de secado es transparente, con lo que no aísla los alimentos de la radiación solar, que sigue incidiendo sobre ellos y degradando sus propiedades. Este es un factor fundamental a la hora de elegir y/o construir el modelo de deshidratador. Por ello, habría que cambiar el plástico transparente frontal y de los laterales de la zona de secado por uno de color negro, como el utilizado en la base de la cámara de calentamiento del aire, para evitar que el sol incida sobre los alimentos.

Tanto en el tutorial escrito como en el vídeo se indica un factor importante a tener en cuenta a la hora de utilizar el equipo. Para optimizar su funcionamiento “es importante mover el deshidratador 3 veces al día, siguiendo la inclinación del sol para captar mejor sus rayos”. Hay que tener en cuenta que aunque orientemos el equipo hacia el sol (el sur en el caso de México) la posición óptima de perpendicularidad solo se produce a mediodía, el resto del tiempo el sol sigue una trayectoria de este a oeste, que no es perpendicular a la posición del deshidratador.

Desde ese punto de vista se puede mover tres o más veces al día, buscando situar el equipo en una posición que esté más cercana a la perpendicularidad

respecto al sol, aunque sabemos que está en constante movimiento y la posición óptima solo se producirá en momentos concretos. Si hacemos esta operación de ir moviendo el deshidratador, la temperatura en el colector aumentará de forma más rápida y se alcanzarán valores más altos que si mantenemos el equipo en una posición fija respecto al sol.

3.6. Deshidratadores híbridos.

Existen numerosos tipos de deshidratadores adicionales a los comentados y que utilizan como fuente primaria de energía el sol (Kumar, M. 2016). En muchos de ellos se utiliza algún tipo de fuente de energía adicional o se introduce un sistema impulsor del aire, para mejorar la velocidad de secado. No son objeto de nuestro estudio, puesto que la aplicación del deshidratador que hemos diseñado es para lugares en los que no suele haber acceso a la electricidad y además buscamos un sistema sencillo, barato y fácil de manejar. Sin embargo, queremos citar en esta revisión de distintos tipos de equipos algunos de ellos.

En la *figura 28* se puede ver el esquema y una vista de los colectores solares, de un deshidratador industrial que permite procesar dos toneladas de alimentos simultáneamente (Durán, G. J. 2010). El aire caliente que se obtiene de los colectores es impulsado por un ventilador hasta la cámara de secado, zona en la que se encuentra el producto a deshidratar. El equipo dispone además de un calentador auxiliar, en este caso un quemador de leña que, cuando es necesario, proporciona energía adicional al aire.

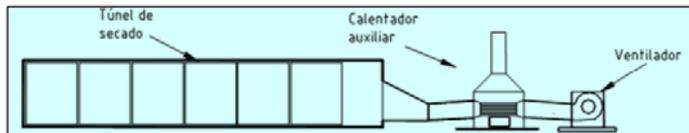


Figura 28. Esquema de un deshidratador híbrido industrial y vista de sus colectores solares (Durán, G. J. 2010)



Figura 29. Deshidratador híbrido compuesto por: Colectores solares (1), quemador de biomasa (2) y secador (3) (Torres Gallo, R. 2017)

En la propia descripción del equipo se indica que su aplicación es industrial, motivo por el cual se introduce una fuente de energía adicional al sol, puesto que si se han de atender encargos no se puede depender solo de la disponibilidad de la energía solar, que es intermitente y puede dejar sin completar un pedido. Podemos encontrar ideas similares en otros deshidratadores de menor tamaño, como el mostrado en la *figura 29*. Es un prototipo y está destinado inicialmente a deshidratar yuca, con una capacidad para 5 kg. Consigue el calentamiento del aire a partir de la radiación solar y de la combustión de biomasa procedente de cascarilla de arroz.

Adicionalmente, incorpora un sistema de almacenamiento térmico que utiliza material de cambio de fase (PCM) que consiste en botes rellenos de parafina. Se colocan en la trayectoria del aire caliente y almacenan energía en la parafina (Torres Gallo, R. 2017). Cuando se producen variaciones de temperatura en el aire calentado por el sol, quedan suavizadas gracias a la energía almacenada en los botes de parafina. Además, prolongan el tiempo de secado, puesto que cuando ya no tenemos energía solar y tampoco aportamos energía quemando biomasa, todavía queda almacenada en la parafina, que sigue entregándola a la zona de secado.

Esta idea de utilizar sistemas de acumulación de calor para intentar minimizar la discontinuidad con la que recibimos la radiación solar ha tenido distintas variantes a lo largo del tiempo. La utilización de materiales de cambio de fase es una de las posibles soluciones y permite también conseguir mayor número de horas diarias de secado (Díaz, G. E. 2010).

La idea de utilizar biomasa para ser quemada y conseguir un aporte extra de calor ha sido aplicada también en Malasia para deshidratar bayas de pimienta.

Consiguieron reducir el tiempo de secado respecto a dejar el producto expuesto directamente al sol. Pasó de ser de varios días, dependiendo de la radiación de sol disponible, a 11 horas diurnas utilizando la radiación solar y 6 horas adicionales durante la noche quemando biomasa (Ragai, A. 2013).

Otros autores han mejorado el deshidratador aportando calor producido mediante energía eléctrica o gas (Acosta, R. 2009), consiguiendo con ello que pueda funcionar las veinticuatro horas del día, en este caso con destino a secar guadua, una variante de bambú. Sin duda la eficacia del sistema mejora, pero hay que disponer de gas y/o energía eléctrica, que no suelen encontrarse disponibles para los destinatarios de nuestro diseño.

Tenemos también sistemas más simples como el indicado en la *figura 30*. Se trata de un deshidratador de tipo indirecto que utiliza un ventilador para impulsar el aire que pasa por el colector solar (El-Sebaili, A. A. 2013). Adicionalmente puede incluir un calefactor eléctrico para aumentar la temperatura del aire, sobre todo en momentos con baja radiación solar. Incluso se han construido equipos que incorporan placas solares fotovoltaicas, que generan energía

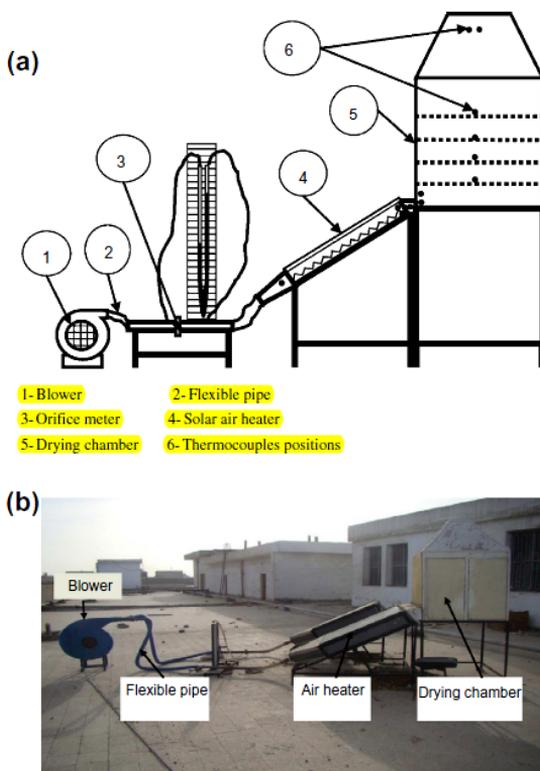


Figura 30. Deshidratador indirecto de aire impulsado (El-Sebaili, A. A. 2013)



Figura 31. Deshidratador híbrido más complejo que incorpora placas solares de calentamiento y fotovoltaicas (Fudholi, A. 2015)

tanto para los sistemas eléctricos que pueda incorporar el equipo como para disiparla en forma de calor y hacer una aportación adicional de energía.

Se han descrito incluso equipos más complejos, como los recogidos en el artículo *Review of solar dryers for agricultural and marine products* (Fudholi, A. 2010). Se revisan todo tipo de deshidratadores, desde los más sencillos de tipo gabinete hasta híbridos de mucha mayor complejidad y con aplicación no solo a agricultura, sino también a productos marinos. En 2015 los mismos autores proponen en *Review of solar drying systems with air based solar collectors in Malaysia* (Fudholi, A. 2015) equipos aún más complejos, como el mostrado en la *figura 31*, que incorpora placas solares de calentamiento de aire y también placas solares fotovoltaicas, de nuevo con destino a la agricultura y a la pesca.

En todos los casos se mejora la eficacia del equipo, aunque también se encarece y además complica su funcionamiento, cuestión ésta importante para nosotros, dado que los usuarios de nuestro equipo van a ser personas sin apenas formación. Recordemos que el destino de nuestro equipo es para zonas rurales muy pobres de Burkina Faso, y otros países que se encuentren en una situación similar. Por ello, estos modelos se salen del ámbito de aplicación de nuestro estudio.

3.7. Equipos comerciales encontrados en Burkina Faso.

En la propia Burkina Faso, lugar al que han ido destinados inicialmente los resultados de este trabajo, hemos encontrado información sobre distintos tipos de deshidratadores. Asociaciones como el Centre Ecologique Albert Schweitzer du Burkina Faso (CEAS Burkina, 2015), intentan mejorar las condiciones de vida de la población, y nos han proporcionado información sobre distintos equipos con los que trabajan y que promocionan para su uso en África.

En la *figura 32* tenemos un deshidratador a gas butano que permite deshidratar hasta cien kilogramos de producto. Tarda entre 16 y 20 horas en realizar el proceso y posee un regulador de temperatura que posibilita adaptarla a cada tipo de alimento. Permite iniciar trabajos de tipo semi industrial y está destinado a asociaciones y grupos de personas que tengan excedentes y quieran conservarlos mediante el secado.

El inconveniente que presenta es que tiene un coste que no está al alcance de todos sus posibles usuarios, fundamentalmente los que tienen menos poder

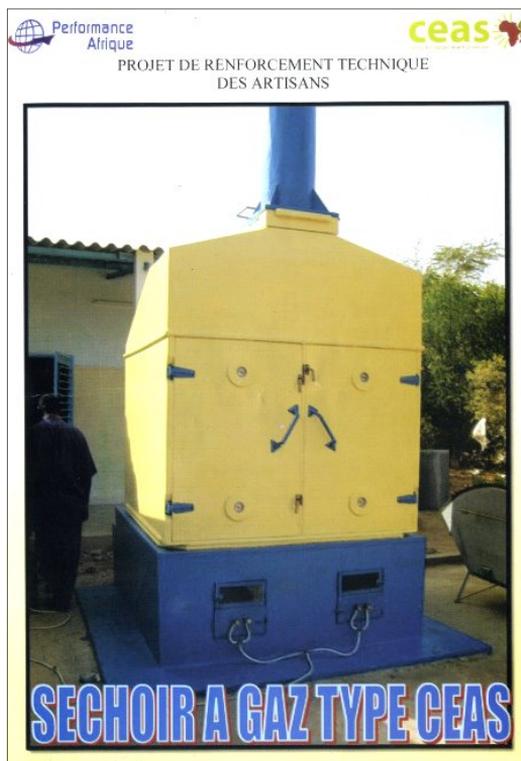


Figura 32. Secador a gas de CEAS

adquisitivo y están en peores condiciones económicas. Además, necesita gas butano para su funcionamiento, lo que supone un coste adicional y también la necesidad de poseer un suministrador de este tipo de combustible.

En la *figura 33* tenemos un segundo deshidratador, que utiliza como fuente de energía el sol. De nuevo es CEAS la entidad que lo proporciona. Tiene una capacidad de veinte kilogramos, que puede llegar a ser mayor dependiendo de cómo se corte el producto y el nivel de carga que queramos ponerle. Alcanza temperaturas de entre 40 y 60 °C, que no se pueden regular. Tarda entre 2 y 3 días en completar el proceso de secado, un tiempo un poco elevado, dado que los alimentos podrían degradarse parcialmente.

Como el anterior, tiene la ventaja de que el producto se coloca en un lugar estanco y poco accesible para animales e insectos, por lo que en ese sentido queda garantizada la higiene del proceso y la calidad del producto final. Posee un funcionamiento sencillo y fácil de entender y es respetuoso con el medio ambiente, al utilizar como fuente de energía el sol. Por su tamaño va destinado a grupos de familias, poblados o pequeñas asociaciones de personas, que pueden deshidratar sus excedentes de alimentos.

Sin embargo, se puede ver en la fotografía que se trata en un deshidratador de gabinete, en el que los alimentos quedan expuestos directamente al sol, por lo que el producto final no va a mantener todas las características nutricionales



Figura 33. Secador solar de CEAS

que poseía antes del secado, y tampoco el color y sabor de los alimentos. El segundo inconveniente es que, como en el primer caso, hay que comprarlo, no se trata de un producto que el usuario pueda hacer por sí mismo o con la ayuda de un técnico.

En la *figura 34* podemos ver un tercer modelo de deshidratador, que también funciona mediante energía solar. Aunque está destinado inicialmente al secado de pescado, en las especificaciones técnicas indica que también está diseñado para secar futas y legumbres. Tiene una capacidad para más de cien kilogramos de alimento en una sola vez, por lo que no está pensado para uso familiar, y trabaja a temperaturas de 40 a 50 °C. Tarda entre 2 y 3 días en completar el proceso, como decíamos antes un tiempo excesivamente alto.

Se trata de un modelo tipo túnel y posee ventajas similares a las ya comentadas para el equipo anterior, en lo que se refiere a higiene, calidad o respeto al medio ambiente, pero también tiene similares inconvenientes, puesto que expone el producto directamente al sol. Tiene una estructura modular, tal como se aprecia en la fotografía, en la que vemos seis unidades puestas unas al lado de las otras, por lo que se podría hacer más pequeño y su tamaño podría adaptarse a las necesidades de cada usuario. Sin embargo y de nuevo, debe adquirirse en CEAS, dado que aunque su estructura es sencilla no está pensado para que cada usuario pueda construirse el suyo.

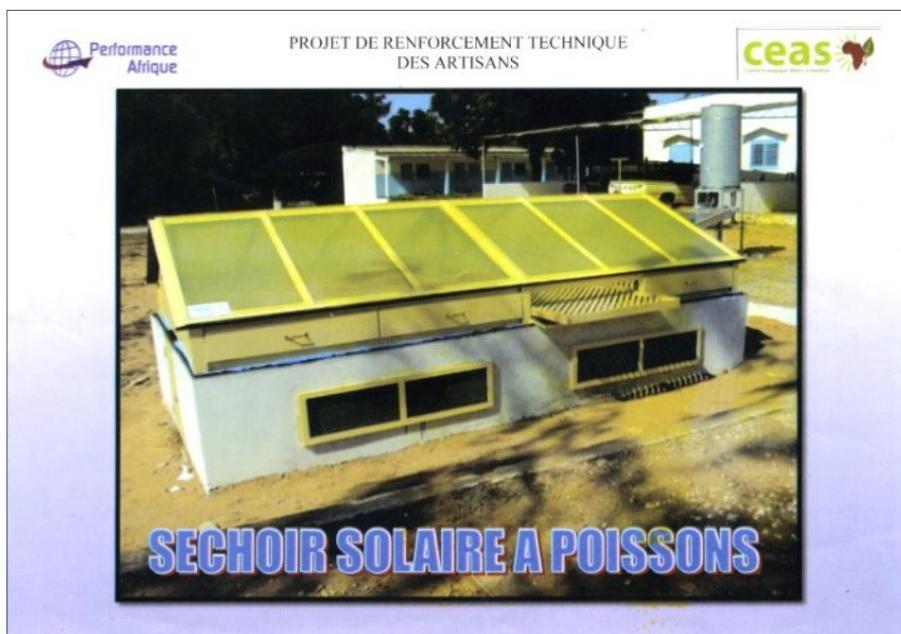


Figura 34. Secador solar para pescado, frutas y legumbres de CEAS

3.8. Radiación solar.

Para saber si tenemos posibilidad de aplicar un deshidratador solar a una zona geográfica concreta, necesitamos conocer los valores de radiación de la misma. Cuanto mayor radiación posea más eficientes serán los procesos de secado y se empleará menos tiempo en el tratamiento de los alimentos. En la actualidad tenemos información fiable incluso para países en vías de desarrollo como Burkina Faso, además del resto de países africanos y asiáticos.

Los datos están disponibles en Internet desde la web Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS, 2017), que ha desarrollado una base de datos de radiación solar a partir de datos climatológicos homogeneizados para Europa, África y Asia, en el Atlas Solar Europeo de Radiación. Utiliza algoritmos para proporcionar en cualquier punto geográfico la radiación solar, tanto en valores medios diarios como a distintas horas del día, en intervalos de un cuarto de hora. Está disponible en inglés, alemán, francés, italiano y castellano y una buena parte de sus aplicaciones son de acceso gratuito.

La *figura 35* muestra una captura de la pantalla que se puede ver cuando se accede a las informaciones de África. Para concretar la localización exacta se puede indicar en el buscador, que podemos ver arriba a la izquierda, el nombre

The screenshot displays the PVGIS web application interface. At the top, there is a navigation bar with logos for JRC and CM SAF, and the title 'Sistema de Información geográfica fotovoltaica - mapa interactivo'. Below this, there are language selection flags and a 'Contacto' link. The main interface is divided into several sections:

- Search and Location:** A search bar with a 'Buscar' button and a 'Va a lat/lon' button. Below it, there are input fields for 'Latitud:' and 'Longitud:'. A map of Africa is shown with a cursor indicating a location.
- Configuration Options:**
 - Estimación FV:** Radio buttons for 'Radiación mensual', 'Radiación diaria', and 'FV autónomo'.
 - Rendimiento del sistema FV conectado a red:**
 - Base de datos de radiación: [dropdown menu]
 - Tecnología FV: Silicio cristalino
 - Potencia FV pico instalada: 1 kWp
 - Pérdidas estimadas del sistema [0;100]: 14 %
 - Opciones de montaje fijo:**
 - Posición de montaje: Posición libre
 - Inclin. [0;90]: 0 grados (with 'Optimizar la inclinación' checkbox)
 - Acimut [-180;180]: 0 grados (with 'Optimizar también el acimut' checkbox)
 - Opciones del sistema de seguimiento:**
 - Eje vertical (Inclin. [0;90]: 0 grados, Optimizar)
 - Eje inclinado (Inclin. [0;90]: 0 grados, Optimizar)
 - Seguidor solar a dos ejes
 - Fichero del horizonte: [Seleccionar archivo] (Ningún archivo seleccionado)
 - Formatos de salida:**
 - Mostrar gráficas
 - Mostrar el horizonte
 - Página web
 - Fichero de texto
 - PDF
- Buttons:** A 'Calcular' button and a '[ayuda]' link.

Figura 35. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS, 2017)

Figura 36. Acceso a los valores de radiación solar en Burkina Faso (PVGIS, 2017)

del país o de una ciudad concreta. También se pueden aportar la latitud y longitud para obtener los valores de radiación del lugar que se está estudiando.

Posee pestañas de radiación mensual y radiación diaria. Si elegimos la radiación mensual e indicamos en el buscador el país, Burkina Faso en nuestro caso, nos lleva hasta la capital, Uagadugú, tal como vemos en la *figura 36*. Podemos aumentar o disminuir el tamaño del mapa que tenemos en pantalla para visualizar mejor la zona o desplazarnos a otro punto cualquiera.

En la parte derecha de la pantalla nos indica los datos que podemos pedir a la página, que hemos señalado en azul para que destaque más. Obtendremos un solo valor, como por ejemplo la radiación para un ángulo determinado, o bien marcamos varios indicadores y conseguimos todos los valores disponibles, entre los que se encuentra el ángulo de inclinación óptimo para cada mes del año.

Al pulsar en calcular se abre una nueva pestaña en la que se nos proporcionan los datos solicitados, que podemos ver en la *figura 37*. Nos dice que el ángulo de inclinación óptimo para obtener la máxima radiación anual es de 15 grados. En la última columna vemos que para cada mes del año el ángulo de inclinación óptimo I_{opt} varía, situándose entre -20 grados de junio y +43 grados de diciembre.

Esto quiere decir que cada mes tiene unas condiciones óptimas de inclinación, por lo que tendremos que determinar la inclinación del colector solar de

Base de datos de radiación solar empleada: PVGIS-CMSAF

El ángulo de inclinación óptimo es: 15 grados

Irradiación anual perdida a causa de las sombras (horizontal): 0.0 %

Mes	H_h	H_{opt}	$H(90)$	I_{opt}
Ene	5800	6620	4940	40
Feb	6260	6830	4130	31
Mar	7050	7250	3130	16
Abr	6290	6130	1390	-1
Mayo	6270	5850	966	-14
Jun	6090	5560	955	-20
Jul	5680	5250	961	-17
Ago	5440	5220	999	-6
Sep	5750	5790	2070	9
Oct	6180	6580	3530	25
Nov	5920	6670	4690	37
Dic	5650	6560	5210	43
Año	6030	6190	2740	15

H_h : Irradiación sobre plano horizontal (Wh/m²/día)

H_{opt} : Irradiación sobre un plano con la inclinación óptima (Wh/m²/día)

$H(90)$: Irradiación sobre plano inclinado:90grados (Wh/m²/día)

I_{opt} : Inclinación óptima (grados)

Figura 37. Valores de radiación solar en Burkina Faso (PVGIS, 2017)

nuestro equipo en función de los meses en los que queremos realizar los procesos de deshidratación. Por otra parte, al ser el valor del ángulo óptimo en unos meses negativo y en otros positivo, nos están diciendo que en unos meses (los que son positivos) habrá que orientar el equipo hacia el sur y en el resto (los que son negativos) hacia el norte. Burkina Faso está en una zona del planeta cercana al ecuador terrestre en la que, debido al movimiento del eje de la tierra, dependiendo del mes del año debemos orientar de forma diferente el equipo para conseguir la perpendicularidad respecto al sol.

Disponemos de tres columnas adicionales en las que vemos datos de radiación en el plano horizontal, en el ángulo óptimo y en el ángulo que hemos elegido, que por defecto es 90 grados:

H_h : Irradiación sobre el plano horizontal (Wh/m² por día)

H_{opt} : Irradiación sobre el plano de inclinación óptima anual (Wh/m² por día)

$H(90)$: Irradiación sobre el plano inclinado 90 grados (Wh/m² por día)

A pesar de que hemos pedido Radiación mensual, esta web nos proporciona valores medios diarios. Si queremos obtener los valores mensuales debemos multiplicar cada valor por el número de días del mes correspondiente. En otro tipo de fuentes en las que se proporciona la radiación mensual, las unidades utilizadas suelen estar en kWh/m² por mes, un valor que se puede identificar como las horas solares pico. Si queremos obtener la radiación en estas unidades solo tenemos que dividir el resultado por 1.000.

Es útil conocer el valor de radiación en Burkina Faso respecto a otros países, para tener una referencia respecto a la posibilidad de deshidratar. Podemos seleccionar los datos de Europa y coger un punto de España para obtener una tabla comparativa. Tomando Valencia como referencia para hacer la comparación, dado que es aquí donde haremos las pruebas con el prototipo que vamos a construir, vemos que al estar más al norte el ángulo de inclinación óptimo anual ha pasado a ser de 36 grados, oscilando entre los 7 de junio y los 65 de diciembre. El valor medio diario de radiación es de 5.840 Wh/m² y día, frente a los

Base de datos de radiación solar empleada: PVGIS-CMSAF

El ángulo de inclinación óptimo es: 36 grados
Irradiación anual perdida a causa de las sombras (horizontal): 0.0 %

Mes	H_h	H_{opr}	$H(90)$	I_{opr}
Ene	2410	4270	4310	64
Feb	3360	5170	4620	56
Mar	4900	6240	4560	43
Abr	5950	6470	3590	29
Mayo	6980	6730	2840	14
Jun	7680	7010	2500	7
Jul	7690	7200	2710	11
Ago	6640	6880	3390	22
Sep	5170	6230	4120	38
Oct	3870	5500	4580	51
Nov	2660	4510	4390	61
Dic	2100	3870	4020	65
Año	4960	5840	3800	36

H_h : Irradiación sobre plano horizontal (Wh/m²/día)
 H_{opr} : Irradiación sobre un plano con la inclinación óptima (Wh/m²/día)
 $H(90)$: Irradiación sobre plano inclinado:90grados (Wh/m²/día)
 I_{opr} : Inclinación óptima (grados)

Figura 38. Valores de radiación solar en Valencia (PVGIS, 2017)

6.190 de Burkina Faso. Si observamos el resto de valores de radiación mensual, vemos que en Valencia se mueven entre los 3.870 Wh/m² y día de diciembre y los 7.200 Wh/m² y día de julio, valores inferiores a los que encontramos en Burkina Faso, que oscilan entre los 5.220 Wh/m² y día de agosto y los 7.250 Wh/m² y día de marzo.

En el conjunto del año los valores de radiación son, por tanto, mejores en Burkina Faso que los que tenemos en Valencia. En el mes de julio en Valencia se tienen valores muy similares a los que tenemos en Burkina Faso en marzo, siendo las inclinaciones necesarias para el colector solar cercanas, 16 grados en Burkina Faso y 11 en Valencia. Por tanto, los ensayos que hagamos en Valencia serán de características similares a los que se van a encontrar los usuarios del equipo en Burkina Faso, aunque allí tendrán mejores niveles de radiación, lo que llevará a que el secado de los alimentos sea más rápido.

3.9. Temperatura de deshidratación.

El proceso de deshidratación y el tiempo necesario para que se realice tiene que ver con la capacidad para transportar la humedad tanto dentro del alimento como desde el interior hacia el exterior. Esta capacidad está determinada por la resistencia interna del tejido del alimento al movimiento del agua y por la resistencia externa que se presenta entre la superficie sólida del alimento y el fluido deshidratante, que en nuestro caso es el aire.

La principal variable que interviene en la velocidad del movimiento del agua dentro del alimento es la temperatura. Conforme se incrementa la temperatura el movimiento aumenta y la deshidratación se acelera, pero si se rebasa un cierto límite, que depende de cada producto, los atributos del alimento pueden cambiar de forma significativa (Muratore, G. 2008).

Bajar la temperatura del proceso de deshidratación lleva a mejorar la calidad del producto final seco (Nindo, C. I. 2003; Beaudry, C. 2004). Sin embargo, la disminución de la temperatura lleva consigo un aumento del tiempo necesario para el proceso de secado, lo que repercute también en un aumento del coste del proceso. Debido a ello se debe encontrar una temperatura de secado que sea lo más alta posible pero sin dañar las características nutricionales de los alimentos.

La temperatura máxima admisible durante el proceso de secado, nos indica el límite de temperatura al que podemos deshidratar para que el alimento no pierda sus propiedades nutricionales, de color y sabor (Almada, M. 2005). En la tesis doctoral “Obtención de Frutos Deshidratados de Calidad Diferenciada Mediante la Aplicación de Técnicas Combinadas” (Rodríguez, M. M. 2014), dedicada a la deshidratación por métodos combinados de frutos de nectarinas

Caldesi, carozo y ciruelas D'ente, se señala que los posibles daños en la estructura del alimento, la disminución de valores de los parámetros de calidad, como el color, sabor y textura, y la pérdida de valor nutritivo, aumentan con la temperatura.

Otros estudios inciden también en estas mismas ideas, señalando cómo la temperatura elevada produce un cambio en la textura, en el sabor y en las características de los nutrientes (Mayor, L. 2004). Hay que tener en cuenta que elementos como el sabor del alimento deshidratado es uno de los factores más importantes a la hora de que se produzca una buena aceptación por parte del que lo ha de consumir (Ochoa-Reyes, E. 2013).

La temperatura máxima admisible depende del tipo de alimento e incluso de la variedad y de la cosecha de cada año, siendo algunos valores orientativos los que se indican en la *tabla 1*. No se deben superar estos valores límite en la zona en la que se sitúan las bandejas con los alimentos, para que el aire que incide sobre ellos tenga una temperatura inferior a los de la tabla.

En el caso de deshidratadores indirectos, como el que es objeto de nuestro trabajo, la temperatura en el colector solar puede ser superior. De hecho, debe serlo, dado que al subir el aire hasta la zona de secado pierde parte de esta temperatura.

Fruta u hortaliza	Temperatura máxima admisible °C
Acelga	50
Banana	70
Cebolla	55
Mango	65
Manzana	50
Melocotón	60
Patata	55
Pimiento	55
Tomate	65
Uva	55
Zanahoria	60

Tabla 1. Valores de temperatura máxima admisible en el proceso de deshidratación para algunos alimentos (Almada, M. 2005)

3.10. Contenido en agua de los alimentos.

La mayor parte de frutas y hortalizas poseen un alto contenido en agua, superior al 90 % (Ochoa-Reyes, E. 2013). Algunos valores habituales de contenido en agua, antes y después de la deshidratación de distintas frutas y hortalizas, se muestran en la *tabla 2*, obtenida del estudio “Deshidratación y desecado de frutas y hortalizas y hongos, Procedimientos hogareños y comerciales de pequeña escala” realizado por el Dr. Antonio De Michelis y la Dra. Elizabeth Ohaco.

Hortalizas y frutas	% de agua en producto fresco	% de agua en producto seco
Acelga	90	12
Berenjena	93	11
Brócoli	90	11
Cebolla	89	12
Coliflor	92	11
Garbanzos	68	14
Habas enteras	82	14
Hongos	90 - 95	10
Lentejas	65	14
Pimiento	92	12
Repollo	92	12
Tomate	95	14
Albaricoque	84	20
Cereza y guinda	85	18
Ciruela	82	20
Higo	78	14
Manzana	84	20
Melocotón	90	20
Pera	83	20
Uva	78	13

Tabla 2. Contenido en agua de algunas frutas y hortalizas (De Michelis, A. 2008)

El contenido en agua inicial es muy alto, situándose en muchos de los alimentos por encima del 80 % mientras que una vez secado el alimento, el contenido es muy bajo, inferior al 20 %. Hay que tener en cuenta que estos datos son orientativos, puesto que cambian dependiendo de la variedad del producto, del momento en que se cosecha o del grado de madurez que posea. Si consultamos con otras fuentes esta misma información observamos que los resultados que

Alimentos	% de agua en producto fresco	% de agua en producto seco
Arroz	24	14
Maíz	35	15
Maní	40	9
Café	50	11
Papa	75	13
Mandioca	62	13
Batata	80	13
Cebolla	80	4
Hortalizas en hoja	80	10
Tomate	95	8
Repollo	94	4
Zanahoria	70	5
Ajo	80	8 a 10
Manzana	84	14
Banana	80	15
Guayaba	80	7
Uva	80	15 a 20
Mango	85	12 a 15

Tabla 3. Contenido en agua de distintos tipos de alimentos, antes y después del proceso de secado (Almada, M. 2005)

nos proponen son diferentes. Deben servir, por tanto, solo como referencia para tener una idea inicial del contenido en agua de los alimentos.

El valor final de contenido en agua es importante, puesto que nos indica cuándo ha acabado el proceso de secado, es decir, cuándo tenemos el alimento estabilizado y dispuesto para mantenerse en perfecto estado de conservación y consumo. De nuevo vemos que dependiendo de la fuente estos valores son diferentes, tal como se aprecia en la *tabla 3*. Por otra parte no es tan importante el contenido final de agua del alimento como la cantidad de agua libre que está presente en él. De ahí surge el parámetro adicional que ya hemos comentado y se denomina actividad del agua.

3.11. Actividad del agua.

Durante mucho tiempo se pensó que el crecimiento bacteriano tenía relación con el contenido de agua de los alimentos. Los trabajos de Scott en la década de los cincuenta del siglo XX, determinaron que era la actividad del agua y no el contenido en agua lo que determina el crecimiento bacteriano (Abbas. K. A., 2009; Scott, W. J. 1956).

El concepto de “Actividad del agua” **A_w** (Activity Water) expresa la cantidad de agua disponible en el alimento. Dicho de otra manera, la cantidad de agua libre que no está ligada químicamente a ninguna sustancia o molécula del mismo. El valor de **A_w** nos permite saber si los alimentos van a mantener su calidad y estabilidad, sin necesidad de ningún proceso de conservación adicional (Ríos, E. 2007).

Actividad del agua	Crecimiento de los microorganismos
0,91	Mayoría de bacterias dañinas
0,88	Mayoría de levaduras dañinas
0,80	Mayoría de hongos dañinos
0,75	Bacterias halófilas
0,65	Mohos xerófilos
0,60	Levaduras osmófilas

Tabla 4. Niveles de actividad del agua y posibilidades de crecimiento de distintos microorganismos (Gascón, A. 2013)

Situando A_w por debajo de determinados valores se frena el crecimiento de microorganismos y se detienen las reacciones enzimáticas. La *tabla 4* recoge los niveles de actividad del agua a partir de los cuales cada tipo de microorganismo no tiene capacidad para desarrollar su actividad.

En función de estos datos, podemos decir que estando la actividad de agua por debajo del 60 %, el alimento se conservará en buenas condiciones. Esto no quiere decir que hayan desaparecido o muerto todos los organismos que pueden hacer que se deteriore, sino que su actividad queda restringida debido a que no encuentran agua libre que permita su proliferación (Fuselli, S. R. 2004).

Por ello, es fundamental que el almacenamiento de los productos deshidratados se realice en envases herméticos o bolsas herméticamente cerradas o selladas. De esta forma se impide la rehidratación de los alimentos a partir de la humedad ambiente que, dependiendo de zonas y épocas del año, podría devolver la actividad del agua a niveles superiores al 60 %.

Matemáticamente la actividad del agua se define como la relación entre la presión parcial de vapor de agua de un alimento o producto y la presión parcial de vapor del agua pura a la misma temperatura (Gascón, A. 2013).

$$A_w = P_w/P^{\circ}w$$

Donde:

P_w = Presión parcial de vapor de agua del alimento o de sus soluciones en el equilibrio.

$P^{\circ}w$ = Presión parcial de vapor del agua pura a igual temperatura y condiciones.

A nivel práctico la medida del nivel de actividad del agua se puede realizar metiendo la muestra en un recipiente sellado. La humedad relativa del alimento del que queremos medir A_w buscará el equilibrio con la del aire que contiene el recipiente. Cuando los dos valores son iguales podemos medir la humedad relativa en el recipiente, que coincide con la actividad de agua de la muestra. Hay que señalar que la medida no es inmediata, hay que dejar el recipiente cerrado y observar la evolución del higrómetro, hasta comprobar que la medida se mantiene estable y no cambia en un intervalo de tiempo amplio.

No se trata de un método que nos proporcione una exactitud total. Sin embargo, a efectos de las medidas que se hayan de realizar en las comunidades rurales de Burkina Faso, o de otros lugares en los que se aplique el deshidratador, nos ofrece una forma fácil y sencilla para saber si el alimento secado permanecerá estable. En los siguientes apartados se incidirá más en la solución adoptada para realizar esta medida.

3.12. Burkina Faso.

El equipo diseñado tenía como destino inicial Burkina Faso, un país situado en el centro de la altiplanicie de África Occidental. Su capital es Uagadugú, tiene una superficie de 274.500 km² y no tiene salida al mar. El idioma oficial es el francés, aunque en torno al noventa por ciento de la población habla distintas lenguas y dialectos locales, como el hausa, mosi, diula, bobo... Dependiendo de la etnia a la que pertenecen.

La economía del país mantiene un crecimiento que se mantiene desde hace más de diez años entre el 3 % y 5 % anual, es decir, un valor alto, aunque se trata de uno de los países más pobres del planeta y ese crecimiento de la economía está lejos de repercutir en una mejora de las condiciones de vida de la población, sobre todo la que vive en zonas rurales.

En el índice de desarrollo humano de las Naciones Unidas, que recoge indicadores como tener una vida larga y saludable, posibilidad de adquirir conocimientos y cultura o disfrutar de un nivel de vida digno, siempre se encuentra en una de las última posiciones del planeta, tal como se puede ver en la tabla de la *figura 39*.

Ha mejorado un poco en los últimos años, pero desde 2010 a 2015 su valor no ha conseguido superar los 0,402 puntos, muy lejos de los 0,949 que tenía

Clasificación según el IDH	Índice de Desarrollo Humano	IDH ajustado por la Desigualdad		Diferencia respecto a la clasificación en el IDH ^a
	Valor	Valor	Pérdida total (%)	
	2015	2015	2015	2015
177 Liberia	0,427	0,284	33,4	1
178 Guinea-Bissau	0,424	0,257	39,3	-5
179 Eritrea	0,420
179 Sierra Leona	0,420	0,262	37,8	-3
181 Mozambique	0,418	0,280	33,0	3
181 Sudán del Sur	0,418
183 Guinea	0,414	0,270	34,8	2
184 Burundi	0,404	0,276	31,5	4
185 Burkina Faso	0,402	0,267	33,6	2
186 Chad	0,396	0,238	39,9	-1
187 Níger	0,353	0,253	28,3	1
188 República Centroafricana	0,352	0,199	43,5	0

Figura 39. Países del mundo con el índice de Desarrollo Humano más bajo (Jahan, S. 2016)

Noruega en 2015, ocupando el primer lugar del mundo. De los 187 países del mundo en los que se estudia este índice, estaba en el puesto 185 en el año 2015 (Jahan, S. 2016).

Burkina Faso no ha sido un país con el que España haya mantenido una política de cooperación de forma habitual en los últimos años, de hecho ni siquiera tenemos embajada en el país, por lo que no parecía un destino inmediato para la aplicación de este proyecto. La elección de Burkina Faso como destino del equipo diseñado se debe a la petición directa que me hicieron un grupo de profesores y técnicos de la Universidad Politécnica de Valencia (UPV), que llevaban años colaborando con entidades de Burkina Faso y que querían iniciar una nueva fase de trabajo.

En 2013 iban a solicitar un programa de investigación ADSIDEO Cooperación de la UPV. Se destina a fomentar el desarrollo de proyectos de I+D+i en el ámbito de los Estudios sobre el Desarrollo, la Cooperación Internacional y la aplicación de la Tecnología para el Desarrollo Humano y tenía como objetivo la obtención de una mejora en la lucha contra la pobreza y el desarrollo humano en las regiones más desfavorecidas.

El proyecto en concreto se pidió con el nombre de “Seguridad alimentaria en la Región del Suroeste de Burkina Faso. Capacitación en manipulación, transformación y conservación de alimentos locales y contra la malnutrición infantil (BONALIMENT 2013)”. Además del equipo de la UPV, se incorporaron profesores de la Universidad de Valencia y el Instituto de Investigación Sanitaria La Fe.

La situación de inseguridad alimentaria en Burkina Faso se debe en buena medida a la falta de alimentos de calidad que posibiliten que la población tenga una alimentación variada (Olney, D, 2016). El poco poder adquisitivo de la mayor parte de las personas de Burkina Faso, que en más de un 46 % se sitúa por debajo del límite de la pobreza, hace que la alimentación tenga unos niveles de carencias importantes. Los cereales suponen entre el 67 % y el 70 % del aporte de calorías, lo que repercute de forma importante en carencias en la alimentación de los niños menores de cinco años, desde el momento en que dejan de depender de la lactancia materna.

Es en este contexto en el que se desarrolla la idea de diseñar un deshidratador de alimentos de bajo coste. Permite a las poblaciones rurales de Burkina Faso poder almacenar deshidratadas las frutas y verduras que no consumen en las épocas de la cosecha, como por ejemplo ocurre con el mango. Al no consumirlas en el momento en que se recogen, se deterioran y se pierden o, en algunos casos, se deshidratan por exposición directa al sol, lo que provoca una pérdida de parte de sus propiedades nutricionales. Además, en determinados momentos del año, cuando haya cosechas abundantes, pueden obtenerlas a bajo



Figura 40. Actividades de la Association pour la Promotion Féminine de Gaoua (APFG, 2017)

precio lo que les permitiría deshidratarlas y guardarlas para consumirlas en los momentos en que su precio es más caro.

En Burkina Faso se ha contado con la Association pour la Promotion Féminine de Gaoua, creada en 1992 (APFG, 2017) y que desarrolla su actividad en la zona de Gaoua. Cuenta con más de dos mil personas en activo y miles de seguidores adicionales, repartidos por las poblaciones y aldeas de la región del Suroeste.

Es una asociación sin ánimo de lucro que está abierta a cualquier persona, independientemente de su sexo, raza o religión. En el tiempo que lleva en funcionamiento ha trabajado en la integración de las mujeres en el tejido económico, social y cultural del país, tal como se ve en la *figura 40*, intentando y consiguiendo mejorar sus condiciones de vida, y proporcionándoles información sobre los derechos humanos, el sida, la ablación o el matrimonio forzado.

A priori es, por tanto, una contraparte perfecta para poder aplicar el deshidratador en Burkina Faso y comprobar el grado de aceptación del equipo y los problemas que se puedan presentar a la hora de utilizarlo.

4. Diseño del deshidratador.

4.1. Primeros pasos y primeros modelos.

En octubre de 2012 el profesor Daniel José Vidal Brotons, investigador del Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo (IIAD) de la UPV me pidió que tuviésemos una reunión. Quería hacerme una propuesta de colaboración en el ámbito de la energía solar y de la cooperación para el desarrollo, al haber visto que yo estaba trabajando en el campo de las energías renovables y en particular en el de la energía solar fotovoltaica.

Me explicó que llevaba varios años trabajando en un proyecto de cooperación con Burkina Faso para mejorar las condiciones de alimentación de la población, sobre todo de la que vive en zonas rurales. En el equipo se encontraban Lucila Aragón Carrión y Amparo Sepulcre Cirujeda, especialistas informáticas del Área de Sistemas de la Información y Comunicaciones de la UPV, con una larga experiencia de cooperación en África. También estaban varios profesores del IIAD, a los que había que sumar profesores de la Universidad de Valencia (UV) coordinados por Jesús Blesa, del Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública y miembro del Instituto de Investigación Sanitaria La Fe.

Estaban trabajando en la preparación de papillas para mejorar la alimentación de los niños. En ese momento querían hacer una petición de ayudas públicas en la que una parte importante del proyecto consistía en el secado de productos agroalimentarios, con el fin de conseguir su preservación sin utilizar elementos de conservación adicionales. Era en ese campo en el que pedían que me incorporase, para diseñar y desarrollar un equipo de deshidratación que, en ese momento, me indicaron que querían que estuviese asociado a la utilización de placas solares fotovoltaicas.

En un primer momento la propuesta me sorprendió, por mi desconocimiento del campo de la deshidratación y secado de alimentos. Acostumbrado a conseguir productos frescos sin problema y conservarlos en la nevera hasta su consumo, no había pensado en la necesidad de tener alguna forma de conservación para preservarlos. De hecho, mi primera reacción fue preguntar para qué se realizaba el secado de los mismos, sin pensar que se trata de un medio de conservación básico, sencillo y barato y que venimos utilizando también en nuestro país de forma habitual.

Actualmente es posible conseguir en España muchos productos deshidratados, que en algunos casos se están utilizando incluso en cocina de diseño. En los supermercados se pueden encontrar a la venta productos secos envasados,



Figura 41. Alimentos deshidratados comercializados en nuestro país (fuente Carrefour)

como tomate, plátano, frutas del bosque... Pero me habían pasado inadvertidos a pesar de haber estado frente a ellos en muchas ocasiones e incluso habiendo consumido de forma habitual algunos, como las pasas.

En unos momentos entendí que en muchas zonas rurales de África y en particular de Burkina Faso, nos encontramos con una situación muy diferente. Una parte importante de la población no tiene acceso a la energía eléctrica y, aunque tuviese acceso, es un recurso demasiado caro para la mayor parte de sus posibles usuarios. Los niveles de pobreza y de falta de poder adquisitivo de la población hacen que una de las pocas formas de conservación de alimentos a la que tienen acceso es el secado de los mismos. Era en ese apartado del trabajo de cooperación al que me pedían que me incorporase.

Por supuesto, dije inmediatamente que sí y comencé a trabajar en un primer prototipo de deshidratador con destino a familias, es decir, que pudiese procesar unos pocos kilos de alimento en cada tanda de deshidratación. Me habían pedido que diseñase un equipo que funcionase con placas solares fotovoltaicas, para que se incluyese en una petición de ayudas que se iba a realizar. El primer paso fue entonces buscar documentación sobre deshidratadores eléctricos que estuviesen disponibles y comercializados.

No fue difícil encontrarlos. Poniendo en un buscador de Internet “deshidratadores familiares” tuve acceso a numerosos modelos de distintos tamaños. Estaban pensados para el ámbito familiar e incluso para procesado semi industrial, dado que había equipos que admitían cargas que van desde uno o dos kilos hasta diez o más. Su funcionamiento es sencillo. Se basa en inyectar aire caliente sobre los alimentos, que van perdiendo su contenido en agua hasta quedar completamente deshidratados.



Figura 42. Deshidratadores comercializados en nuestro país (fuente ebay.es)

A nivel constructivo poseen un sistema de bandejas en las que se depositan los alimentos. Normalmente están cortados en rodajas, tal como se aprecia en la *figura 42*, aunque en el caso de frutas como cerezas o uvas, se pueden dejar sin cortar. El aire caliente se produce por medio de una resistencia eléctrica, sobre la que incide el aire impulsado por un pequeño ventilador. El aire se calienta al entrar en contacto con la resistencia, que está transformando la energía eléctrica en calor. El flujo de aire caliente está dirigido hacia las bandejas, circulando entre los alimentos y extrayendo su contenido en agua. Una vez ha pasado por las bandejas el aire sale del equipo.

Como se observa, el funcionamiento es muy básico y se puede trasladar con facilidad a un equipo que funcione con la energía eléctrica generada por placas solares fotovoltaicas. El primer diseño realizado está representado de forma esquemática en la *figura 43* de la página siguiente. Está formado por:

A) Una estructura de forma prismática rectangular de madera, que estaría cerrada por un material fácil de manejar, como puede ser plástico.

B) Una o varias placas solares fotovoltaicas, que transforman la energía solar en energía eléctrica con la que hacer funcionar al equipo.

C) Una o varias resistencias para producir calor a partir de la energía eléctrica generada por las placas.

D) Uno o varios ventiladores para impulsar el aire hacia la zona en la que están las bandejas con los alimentos.

E) Una zona en la que sitúan las bandejas con los alimentos, apoyadas en unos soportes fijados en los laterales del equipo.

El funcionamiento del deshidratador es sencillo. Las placas solares producen energía eléctrica que se utiliza para alimentar la resistencia eléctrica y también los ventiladores que impulsan el aire. El aire caliente se dirige hacia arriba, llegando a la zona en la que están las bandejas con los alimentos cortados en rodajas. Al pasar por los alimentos extraen, como en el caso de los equipos comerciales de la *figura 42*, su contenido en agua, que es evacuado del equipo

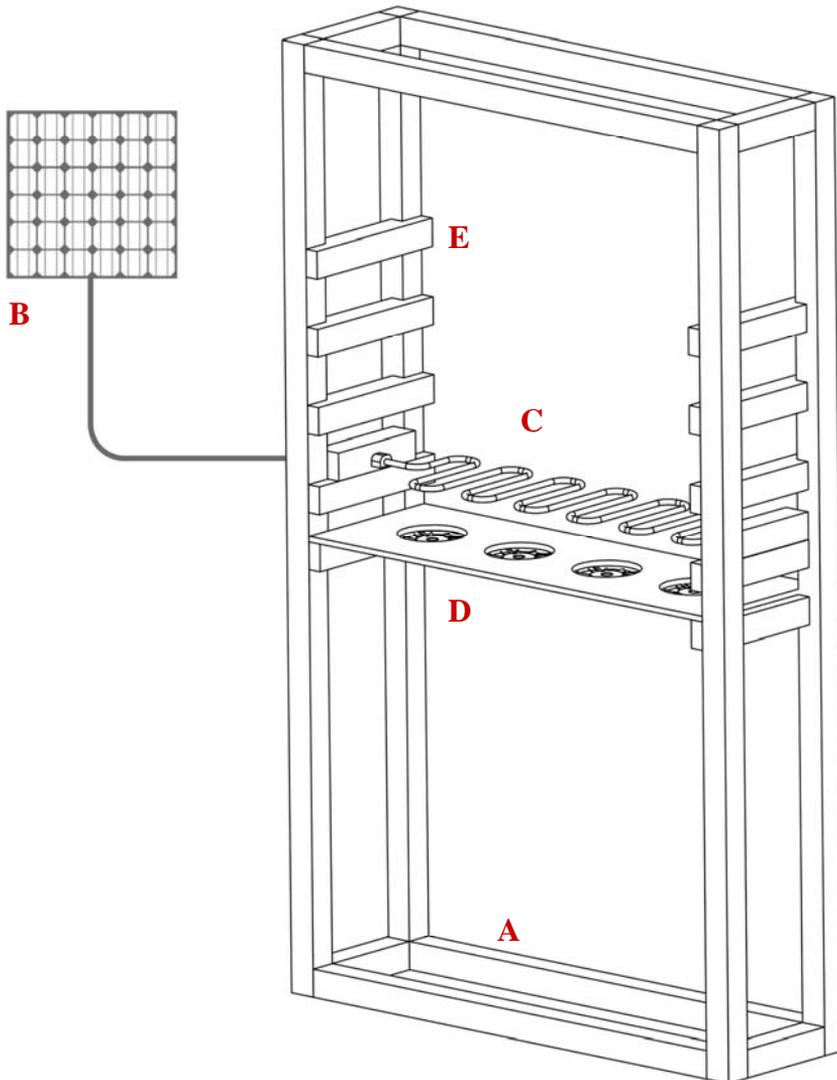


Figura 43. Primer boceto del deshidratador solar de alimentos

haciendo salir el aire ya utilizado por la parte superior del deshidratador, manteniendo un flujo permanente de aire caliente.

Recordemos que todo el equipo estaría cerrado lo más herméticamente posible, para evitar que escape el aire caliente por los laterales. Como se ha comentado el material para realizar el cierre del equipo puede ser plástico, si se quiere utilizar un elemento barato, pero también puede ser madera. Independientemente del material elegido, debe ser opaco, para impedir que los alimentos queden expuestos a la radiación solar, dado que el equipo es probable que se utilice fuera de la vivienda.

En la parte posterior del equipo, o en la parte frontal se debe disponer de una puerta, que permita abrirlo para introducir y sacar las bandejas en las que se depositen los alimentos. Inicialmente se pensó incluso en utilizar el propio plástico fijado con velcro, para no encarecer el coste del equipo. De hecho el prototipo posterior montado en la UPV se cierra en la parte posterior con este sistema.

Se planteaba el equipo funcionando en corriente continua, de manera que no hubiese que utilizar inversor para generar corriente alterna. No se utilizan baterías para el almacenamiento de la energía eléctrica, de manera que toda la energía generada se emplea directamente para deshidratar los alimentos. Se tiene así un equipo sencillo y barato, dentro de los niveles de coste que supone utilizar placas fotovoltaicas, que actualmente tienen un precio bajo, en general inferior a los 0,5 euros/W_{pico}.

La tensión de trabajo en corriente continua se situaría en los 24 voltios nominales en una placa tipo con 250-280 W_{pico} y alrededor de 30 V_{pico} en el punto de máxima potencia, dependiendo de las que se hubieran podido encontrar en la propia Burkina Faso en el momento de construir el equipo. En los ensayos que se hubiesen hecho en la UPV hubiésemos decidido el número de placas a utilizar para conseguir optimizar el proceso de secado. En cuanto a condiciones de seguridad, no se hubiesen necesitado adoptar medidas importantes, dado que la tensión de trabajo es inferior a los 50 V límite para zonas secas.

Respecto al propio equipo, se podría construir con la forma que se observa en la *figura 43* o se le podría dar una forma con una base más ancha, de manera que tuviese más estabilidad. En cualquier caso se podría anclar en el suelo, colocarlo cerca de una pared y fijarlo a ella o bien ponerle contrapesos en la parte de abajo, para que tuviese más solidez.

El hecho de diseñarlo inicialmente con esas dimensiones de un ancho pequeño se debe a que también pensé en otra posibilidad que incorporaba una segunda fuente de aire caliente, producida mediante un colector pasivo expuesto directamente al sol. Al aire caliente que se genera con la energía eléctrica que

producen las placas se un aire caliente producido de forma pasiva por el colector solar, montado en el equipo tal como se observa en la *figura 44*. Se sitúa con una inclinación adecuada para recibir la radiación solar con la mayor perpendicularidad posible, de forma que el aprovechamiento de la misma para calentar el aire sea máximo.

El colector solar debe estar cerrado por los laterales y por la parte superior e inferior. La parte frontal debe permitir la entrada del aire y la parte posterior debe dejar que salga para que suba hasta la zona de secado. El recubrimiento de la parte inferior y los laterales debe hacerse con un material oscuro, por ejemplo plástico negro. La parte superior del colector solar debe ser transparente, pudiendo ser también plástico.

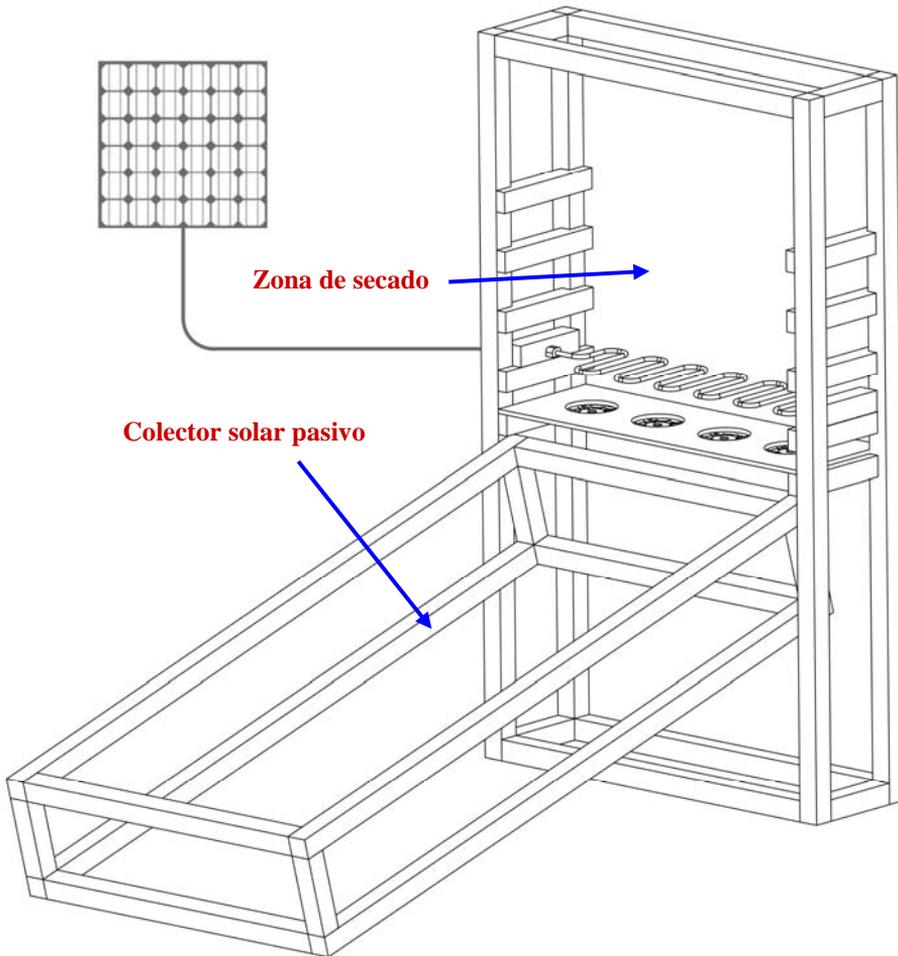


Figura 44. Mejora en el primer diseño del deshidratador solar de alimentos

4.2. Inconvenientes del primer diseño y continuación del proyecto.

Se ha podido observar en los párrafos precedentes que se hablaba de cómo se debía montar el equipo, porque en realidad este primer diseño no llegó a realizarse y se quedó en un boceto inicial. Las ayudas que se querían pedir no llegaron a obtenerse y el desarrollo de este primer planteamiento quedó paralizado. De hecho, en las reuniones que mantuvimos para hablar del deshidratador expresé mi opinión sobre las dificultades de su implantación en comunidades rurales de Burkina Faso o de cualquier otro país similar.

Hay que pensar que estamos hablando de proporcionar un equipo que funciona a partir de placas solares fotovoltaicas y energía eléctrica a personas que no poseen apenas formación. No cabe duda que tienen capacidad para aprender y asimilar los conceptos básicos de funcionamiento del deshidratador, pero también es cierto que cuando puedan surgir problemas técnicos, aunque sean pequeños, nosotros no vamos a poder estar allí para resolverlos.

Por eso descarté este primer diseño y comencé a trabajar en un deshidratador solar de tipo indirecto, que funcionase por convección natural. Esto ocurría a la vez que se planteaba pedir en 2013 un proyecto de cooperación e investigación dentro del programa ADSIDEO de la UPV. En el apartado 3.12 se ha hecho referencia a él. Se llamó “Seguridad alimentaria en la Región del Suroeste de Burkina Faso. Capacitación en manipulación, transformación y conservación de alimentos locales y contra la malnutrición infantil (BONALIMENT 2013)” y su objetivo fundamental era:

“Mejorar la seguridad alimentaria en la Región Suroeste de Burkina Faso, colaborando con la Association pour la Promotion Féminine de Gaoua (APFG), una agrupación local de mujeres consolidada de reconocido prestigio, creada en 1990”.

Entre los objetivos que se marcaban en este proyecto el primero de ellos hacía referencia directa al diseño de un deshidratador de alimentos que funcionase a partir de energía solar:

“Objetivo específico nº 1: Dotar a un grupo de mujeres de la APFG de los conocimientos y recursos materiales necesarios para aplicar técnicas sencillas de manipulación, transformación y conservación de algunos de los productos agroalimentarios disponibles en la región. En concreto, se trata de conseguir que estas mujeres sean capaces de elaborar alimentos deshidratados y conservas caseras, para la alimentación de sus propias familias y para incrementar sus ingresos, mejorando así su calidad de vida.

Para ello, se ha proyectado un secador por aire caliente, de convección natural, basado en el uso de energía solar, con un coste de la energía utilizada

prácticamente nulo (Motaveli, A., 2011), unas características y unas prestaciones adaptadas a las necesidades de una familia, utilizando materiales que hagan posible su fabricación a un coste asequible, con los medios disponibles en esa región de Burkina Faso. Este secador será utilizado por los investigadores de la UPV para realizar experiencias de secado con productos agroalimentarios de todo tipo (frutas y hortalizas, entre otros), lo más similares posible a los productos disponibles en Burkina Faso, investigando las condiciones en que han de ser procesados para obtener alimentos con una vida útil lo suficientemente larga como para permitir su aprovechamiento por las familias, teniendo muy presentes los condicionantes socioeconómicos de la región”.

Se hacía también hincapié en el hecho de que el uso de la energía solar directa es especialmente importante en países como Burkina Faso, lugar en el que existen problemas de abastecimiento de otro tipo de fuentes de energía. Hay que tener en cuenta que en las zonas rurales la energía primaria que se utiliza de forma principal es la quema de leña, con los problemas de deforestación que ello conlleva (Marchand, S. 2012).

El deshidratador solar objeto de nuestro trabajo, así como el proyecto de cooperación del que surgió, están en línea con los Objetivos del Desarrollo del Milenio que periódicamente publica Naciones Unidas. El primero de ellos es erradicar la pobreza extrema y el hambre, y entra de lleno en la dirección de trabajo planteada en este trabajo. También se enmarca en otros objetivos, como garantizar la sostenibilidad del medio ambiente o la producción y consumo responsable. Entre sus metas busca que en el año 2030 se reduzca a la mitad el desperdicio mundial de alimentos, que en la parte de países en vías de desarrollo tiene que ver con las pérdidas posteriores a la cosecha. Cuando no se pueden consumir todos los alimentos cosechados, se acaban perdiendo si no se pueden conservar y una de las formas más baratas y fáciles de hacerlo es por medio de la deshidratación. Nuestro equipo sirve para ello.



Figura 45. Objetivos del Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas

4.3. Deshidratador diseñado.

El equipo diseñado sigue las pautas indicadas en los apartados anteriores, manteniendo el formato que se puede observar en la *figura 44*, pero eliminado los elementos eléctricos (placa solar fotovoltaica, resistencia y ventiladores), dejando solo la parte del colector solar pasivo y la zona destinada a las bandejas para depositar los alimentos.

El boceto del equipo se puede ver en la *figura 46*, en la que se observan los dos prismas rectangulares que lo componen:

- El colector solar, donde se eleva la temperatura del aire, que entra a temperatura ambiente por la parte frontal del mismo.
- La cámara o zona de secado, dispuesta verticalmente.

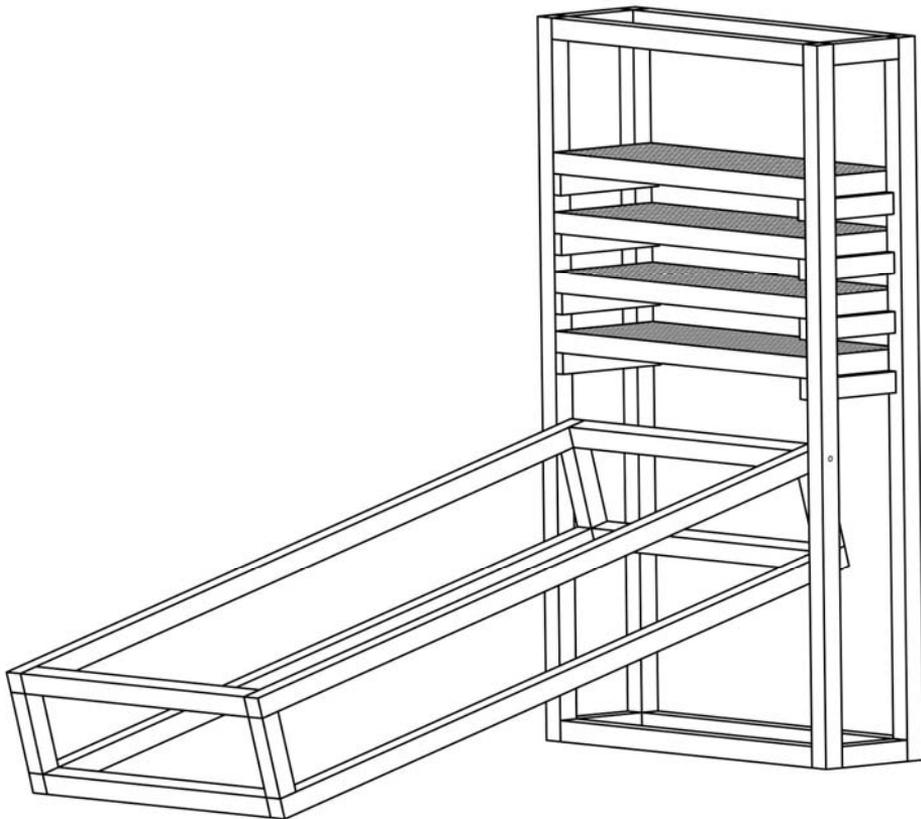


Figura 46. Vista general del diseño final del deshidratador

Se barajaron otras posibilidades para el colector, buscando mejores posibilidades de realizar la captación solar. De ellas, acabamos considerando como posible la indicada en la *figura 47*, que posee un colector más ancho en la parte frontal y que se va encogiendo hasta llegar a la anchura de 90 cm en su ensamblaje con la cámara de secado. De esta manera aumenta de forma considerable la cantidad de aire que se calienta. Si el frontal tuviese 180 cm sería un volumen doble del que tenemos en el modelo de la *figura 46*.

La forma del colector hace que se produzca un efecto Venturi, dado que al ir estrechándose la sección, el aire de las secciones traseras iría empujando al de delante, potenciando su movimiento ascendente. A pesar de estas posibles ventajas se prefirió el modelo de la *figura 46*, por su mayor facilidad constructiva y también por su mayor facilidad de manejo, puesto que un colector de 180 cm por 180 cm sería más difícil de mover y ocuparía más espacio al ser almacenado cuando el equipo no se usa.

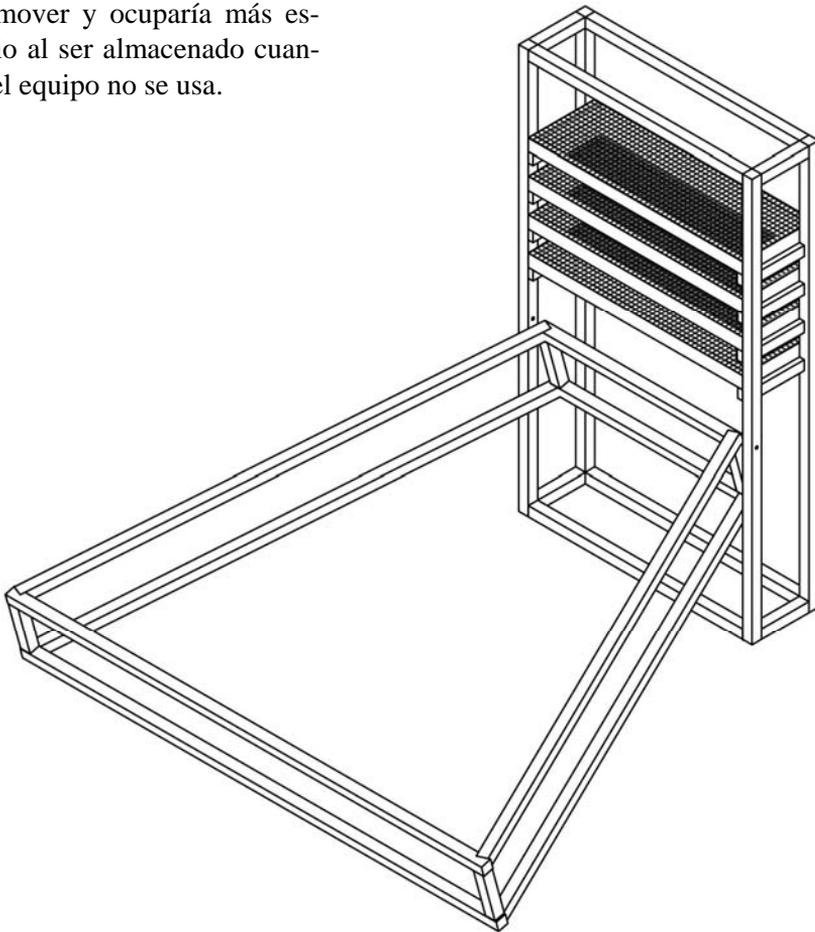


Figura 47. Modelo alternativo de colector solar para el deshidratador

De hecho, estas dificultades para su manejo pudimos comprobarlas en 2016 con un equipo similar al que se ve en la *figura 47*, que se construyó a partir de un trabajo final de grado en la ETSID de Valencia, en el que nos detendremos cuando más adelante dediquemos un apartado a las aplicaciones docentes del deshidratador.

4.4. Estructura del equipo.

Los deshidratadores vistos en el apartado 3.4 están contruidos, en general, con un cuerpo único, que incluye tanto la cámara para el secado como el colector solar. En Burkina Faso hay cuatro meses al año en los que se encuentran en temporada de lluvias, en la que, en general, se dan pocos días con las condiciones necesarias para poder utilizar el deshidratador. Debe entonces poder guardarse ocupando el menor espacio posible, puesto que en las viviendas no suelen disponer de mucho espacio libre.

Pensando en esta situación, el equipo se ha diseñado para poder ser desmontado con facilidad en dos partes independientes, de forma que se puedan guardar verticalmente ocupando el menor espacio posible. Además, cada una de las partes debe poder ser movida por una sola persona, para facilitar la manipulación del equipo.

En función de estas ideas, fijé un tamaño máximo de 180 cm de largo para el colector y una anchura de 90 cm, mientras que la cámara de secado es de 170 cm de alto y una anchura de 98 cm, un poco más ancha que el colector, para que ambas partes encajen una en la otra. Con estas medidas, dos personas pueden montar o desmontar el equipo con facilidad, pero incluso una sola puede hacerlo sin demasiadas complicaciones.

Estas dimensiones se eligieron para facilitar la manejabilidad del deshidratador, aunque también se buscó una proporción entre el volumen de la zona de secado y el de la zona del colector, haciendo que se caliente más cantidad de aire en el colector del que cabe en la zona de secado.

Teniendo en cuenta que el alto del colector es de 30 cm, disponemos de un tamaño del colector solar que encierra un volumen de 0,486 metros cúbicos. La cámara de secado donde se colocan las bandejas es mucho más pequeña, ocupando un volumen de 0,287 metros cúbicos.

De esta manera, al estar calentando más aire del que cabe en la zona de secado, tenemos cubiertas las posibles pérdidas que se puedan producir por fugas, dado que la forma de unir las dos partes del deshidratador y los plásticos con el armazón de madera no va a poseer un sellado perfecto entre las piezas, tal como se verá más adelante.

En la *figura 48* tenemos una vista lateral del equipo, en la que se han incluido las dimensiones principales de las partes que lo componen. Se han indicado los dos puntos, A y B, en los que se sitúan los orificios para los pasadores que unen la cámara de secado y el colector solar, y que atraviesan completamente los dos armazones de madera de la zona del colector y de secado.

El orificio superior A está perforado a 80 cm del suelo, mientras que el inferior B está aproximadamente a 58 cm. Para hacer el B conviene montar el equipo con el pasador superior puesto y perforar con un taladro desde la parte exterior hacia la interior, de manera que los dos agujeros realizados tengan continuidad. Una vez hechos los agujeros hay que comprobar que el pasador entra y sale con facilidad pero sin holgura.

Se dispone de varios puntos de anclaje entre las dos partes del deshidratador, de manera que se pueda decidir qué inclinación dar al colector respecto a la horizontal, buscando optimizar la incidencia de la radiación del sol sobre el equipo.

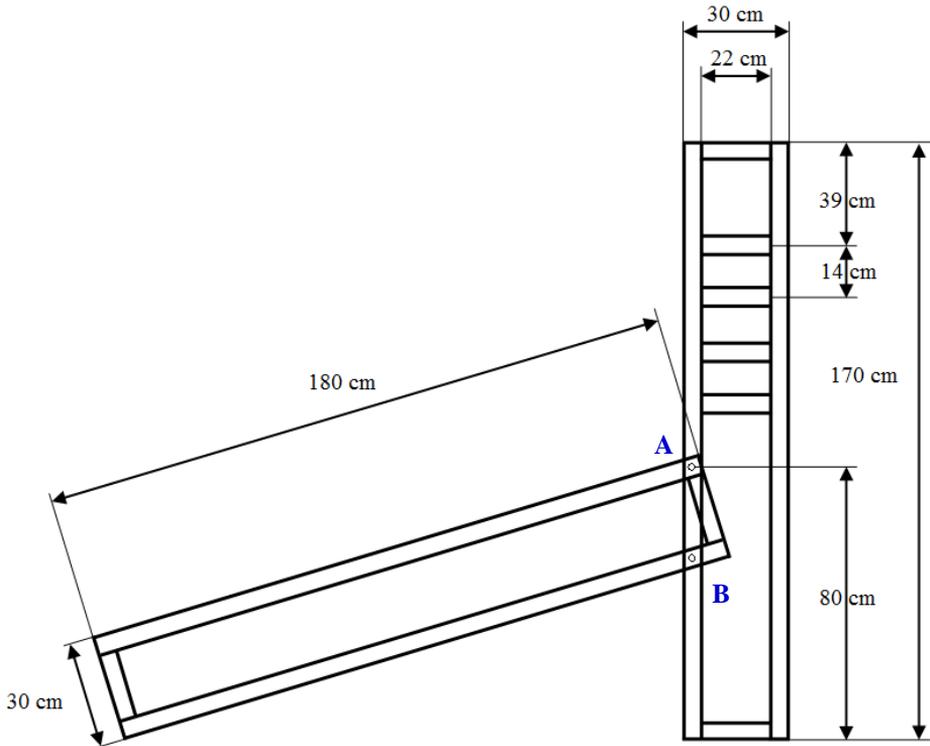


Figura 48. Vista lateral del equipo y sus dimensiones

4.5. Disposiciones constructivas.

En la fase inicial de diseño se tuvieron que tomar decisiones en torno al tamaño y las dimensiones del deshidratador, pero también sobre la forma en que se debía construir, los materiales a utilizar y el acabado final que debería tener. Hay que recordar que está destinado a un uso familiar y se busca que su montaje y utilización sean sencillos y que el precio sea lo más barato posible.

A partir de estas premisas tomé la decisión de utilizar listones de madera para preparar el doble esqueleto prismático del deshidratador, minimizando la utilización de material. El grosor de los listones se situó en 5 cm, con perfil cuadrado, de manera que los listones se pudiesen atornillar unos a otros de forma simple y directa. Con posterioridad y tras hablar con un carpintero, nos sugirió que la madera fuese de pino rojo y que con un grosor de 4 cm era suficiente para dar consistencia al deshidratador. Las uniones sugirió que se hiciesen encoladas con el formato caja y espiga, tal como se muestra en la *figura 49*.



Figura 49. Uniones entre listones, tipo caja y espiga

Hicimos caso de sus sugerencias, aunque en 2016 y debido al uso continuado del equipo tuvimos que reforzar con tornillos y escuadras las uniones de la estructura de la zona de secado, tal como se ve en la *figura 50*.



Figura 50. Refuerzos incorporados al equipo en 2016



Figura 51. Deshidratador solar indirecto

Las dos partes del equipo están construidas a partir de sendos armazones de madera de pino. En la *figura 51* se ve el equipo ya construido y montado. El colector está cubierto con plástico transparente en la parte superior y con plástico negro en la parte inferior y los laterales. La parte frontal posee plástico transparente que debe cubrir al menos la mitad de la superficie y una rejilla que deja pasar el aire, pero impide que puedan acceder animales o insectos, tal como se ve en la *figura 52*.



Figura 52. Frontal del colector, cerrado con rejilla y plástico transparente



Figura 53. Zona de salida del aire calentado en el colector

La parte posterior está abierta, tal como se ve en la *figura 53*, y deja que el aire caliente ascienda de forma natural hasta la zona de secado en la que se colocan los alimentos a deshidratar. Tal como se aprecia en la parte superior posee un excedente de plástico transparente de medio metro, adicional al que se encuentra sobre la superficie del colector. Este sobrante sirve para cerrar, de forma sencilla y lo más herméticamente posible, la unión superior entre el colector y la zona de secado. En la parte inferior del colector también tenemos medio metro adicional de plástico negro, destinado a facilitar el cierre del ensamblaje entre las dos partes del equipo.

En la primera etapa de trabajo con el deshidratador las cantidades de plástico sobrante eran más pequeñas, de veinte centímetros, y se unían mediante cinta adhesiva, cerrando lo más herméticamente posible las juntas. A partir de las sugerencias de la profesora de la ETSID, Begoña Saiz, se cambió la forma de unirlos enrollando los plásticos sobrantes uno sobre otro, fijando la unión con pinzas, una vez terminado de enrollar, tal como se ve en la *figura 54*.



Figura 54. Detalle de la unión de los plásticos de la cámara de secado y del colector



Figura 55. Vista frontal de la cámara de secado con el excedente de plástico negro

La cámara de secado tiene una disposición vertical. Como se ha comentado, está montada sobre un armazón prismático rectangular, tal como se aprecia en la *figura 55*. La parte frontal se cierra con plástico negro, de manera que el sol no incida directamente sobre los alimentos. Como en el colector, se ha dispuesto en ella de un sobrante de medio metro del plástico que la cierra, tal como se puede ver en la *figura 55*, cogido con cinta adhesiva al plástico frontal. Sirve para enrollarlo con el del colector, tal como se ha indicado en el párrafo anterior. La parte inferior queda libre para apoyar en el suelo y para situar contrapesos, si se considera necesario.

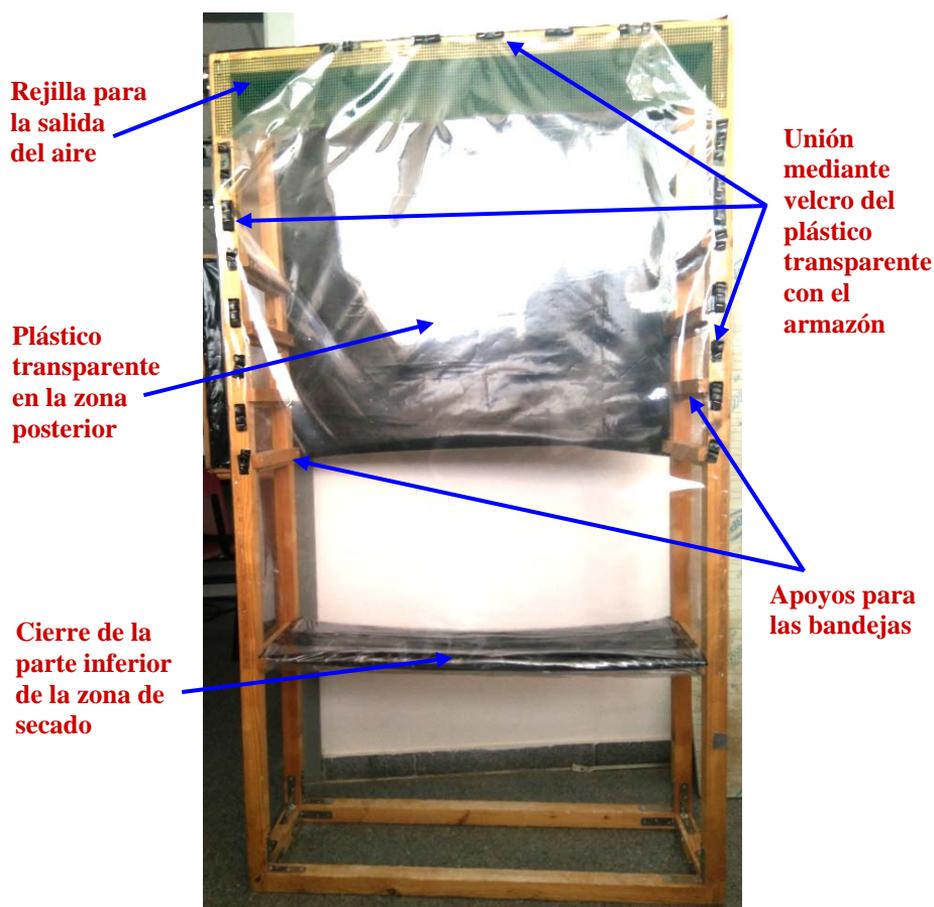


Figura 56. Parte posterior de la cámara de secado

La parte trasera de la zona de secado se cierra con plástico transparente, tal como se aprecia en la *figura 56*, de forma que se pueda ver el interior del equipo y, en especial, los alimentos depositados en las bandejas, así como los equipos de medida que se puedan disponer en su interior. En la parte inferior este cierre se realiza grapando directamente el plástico al armazón, mientras que en la zona en la que tenemos los alimentos en las bandejas se dispone de velcro, para cerrar el plástico con el armazón y poder abrirlo cuando queramos introducir o sacar las bandejas.

Los laterales de la zona de secado conviene que se cierren también con plástico negro para aislar lo máximo posible los alimentos de la radiación solar. Nosotros utilizamos plástico transparente para poder observar mejor lo que ocurre en el interior y también para facilitar la introducción por el lateral de sondas o equipos de medida. En la parte superior trasera se coloca rejilla de



Figura 57. Cierre superior con rejilla de la zona de secado

plástico que permite la salida del aire una vez ha pasado por los alimentos, tal como se ve en la *figura 57*. El plástico que cierra la parte posterior se fija sobre el listón superior con velcro, teniendo varios puntos de fijación, lo que permite dejar una salida mayor o menor para el aire que ha pasado por los alimentos y regular de forma sencilla la velocidad de paso del aire por los alimentos.

La parte inferior se cierra con plástico negro, mediante una doble capa que aísla mejor el equipo del exterior, tal como se ve en la *figura 58*. Para conseguir que el sellado sea más efectivo, se dispone de dos listones atornillados al lateral, sobre los que se fija el plástico. A su vez, el plástico utilizado para cerrar los laterales posee un sobrante de treinta centímetros que se une a la parte inferior de este cierre.



Figura 58. Cierre inferior de la zona de secado

4.6. Bandejas.

Los alimentos se colocan sobre bandejas, que están situadas dentro del armazón vertical del deshidratador, apoyadas sobre listones de madera, atornillados a la estructura prismática, tal como se puede ver en la *figura 59*. Inicialmente se diseñó para que se colocasen cinco bandejas, pero cuando fuimos a montar los soportes preferimos dejar más espacio del previsto inicialmente entre cada bandeja y la inmediatamente posterior. Finalmente montamos el equipo para utilizar cuatro bandejas, en las que caben entre 2 y 4 kg de alimentos, dependiendo del tipo de frutas y verduras y de cómo sea el grosor de las láminas en las que se trocean.

Decidí adoptar una solución más conservadora que la vista en equipos descritos por distintos autores y mostrados en el apartado 3, desde la idea de tener menos cantidad de alimento a deshidratar en cada procesado y conseguir así que el tiempo de secado fuese menor. Recordemos que durante el proceso de secado la actividad del agua sigue siendo alta, sobre todo al principio, cuando estamos comenzando a extraerla. Son varias horas en las que los microorganismos tienen capacidad para seguir desarrollándose, deteriorando los alimentos, sobre todo si están en una fase avanzada de maduración, por lo que es preferible que el tiempo de secado sea lo más pequeño posible.

Las bandejas están formadas por listones de madera de sección rectangular de 4 cm por 2,5 cm, formando un rectángulo de madera de 90 cm por 30 cm.



Figura 59. Bandejas en las que se depositan los alimentos



Figura 60. Vista frontal de una bandeja

Sobre él se dispone una rejilla fina, tal como se puede ver en la *figura 60*, que deja pasar el aire caliente que procede del colector. Este aire caliente tiende a ascender al tener menor densidad y peso que el aire frío, buscando la salida de la parte superior del deshidratador. En su ascensión, la rejilla permite el paso del aire caliente, que circula así alrededor de los alimentos, extrayendo su contenido en agua y provocando el efecto de secado que se busca.

4.7. Modificación de la inclinación del equipo.

Como se comentaba en el apartado 4.4, el ensamblaje entre las dos partes del equipo, se realiza mediante pasadores, tal como se puede ver en la *figura 61*. Esto permite dar solidez al conjunto y permitir su desmontaje para separar fácilmente el colector solar de la cámara de secado.

Inicialmente colocamos un pasador a cada uno de los lados del equipo. Disponíamos de varias posiciones posibles para situarlos, tal como se ve en la *figura 61*, de manera que se pudiese decidir la altura con la que se fija el colector solar al armazón de la zona de secado. En función de la posición elegida para el pasador se modifica el ángulo de inclinación que posee el colector respecto a la superficie horizontal y su capacidad para recoger la radiación incidente sobre la parte superior del colector, perdiéndose reflejada una cantidad menor.



Figura 61. Disposición del pasador

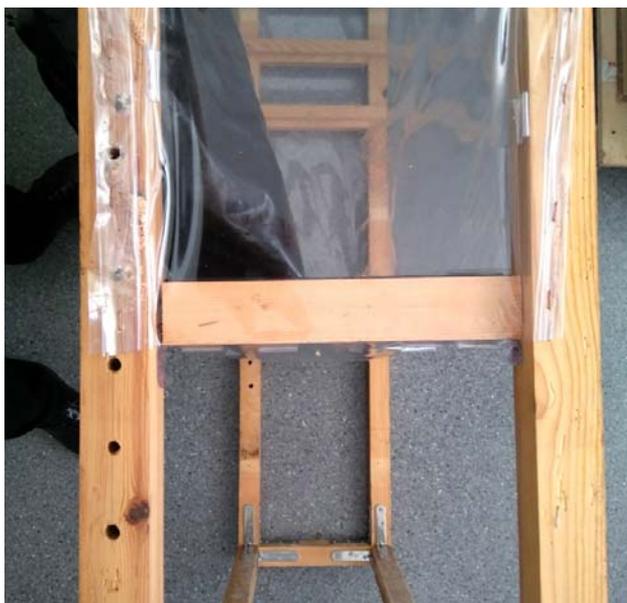


Figura 62. Orificios para el pasador que une las dos partes del deshidratador

Recordemos que tal como se vio en el apartado 3.8 la inclinación óptima anual para Burkina Faso es de 15° , pero si trabajamos en el mes de marzo es de 16° , mientras que en febrero es de 31° y en enero de 40° . De igual manera, en España la inclinación óptima anual es de 36° , pero si trabajamos en julio, buscando niveles de radiación similares a las de Burkina Faso, la inclinación debe ser de 11° , siendo 7° para junio, 14° para mayo o 22° en agosto.

Inicialmente sólo se utilizó un pasador a cada lado, pero se vio que cuando había ráfagas de aire fuertes la estabilidad del equipo no era buena y tenía tendencia a volcar, tal como nos ocurrió en alguna ocasión, en la que al ir a realizar la siguiente medida nos encontramos la cámara de secado volcada sobre el colector. Para evitarlo poníamos contrapesos -pequeños bloques de hormigón- en la base del armazón de la zona de secado, tal como se aprecia en la *figura 61*, pero aún así con ráfagas fuertes de viento tenía tendencia al vuelco.

Aumentamos la cantidad de contrapesos y mantuvimos esta disposición durante los tres primeros años, pero finalmente preparamos el colector para que tuviese dos pasadores a cada lado, confiriendo mucha mayor estabilidad al equipo. Debido a ello, aumentó el número de orificios disponibles para los pasadores en el listón vertical de la cámara de secado, tal como se puede ver en la *figura 62*.

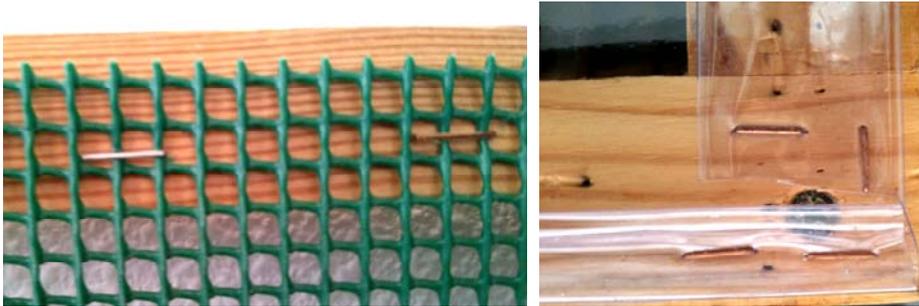


Figura 63. Unión de los plásticos a los armazones

4.8. Plásticos utilizados y unión al resto del equipo.

Los plásticos utilizados en el equipo se adquirieron en Valencia en la empresa Tovsi. Son:

- Plástico negro: Politeno en lamina G-800 negro DI8400N galga 300
- Plástico transparente: Cristal Flex PVC UV-St XO16020 0,20 mm
- Rejilla de plástico verde: IS1004 Plástico PVC con hueco de 5 mm

Se eligieron en función de que tuviesen un grosor suficiente, el más grande posible, y mantuviesen su flexibilidad y facilidad de manejo. El de color negro se buscó de color completamente negro, dado que inicialmente nos ofrecieron variantes en colores grises oscuros. Del transparente se eligió el que presentaba mayor transparencia, dado que también tuvimos ocasión de ver distintos plásticos con niveles de transparencia que iban desde los casi opacos hasta el que elegimos, que presenta una transparencia prácticamente total.

La unión de los plásticos con el armazón se pensó desde el primer momento en realizarla con grapas, buscando de nuevo un sistema sencillo, barato y fácil de aplicar. Es cierto que hecha así la unión no es perfecta y permite pequeñas fugas del aire caliente, pero queríamos comprobar si aún con estas fugas el resultado proporcionado por el equipo era aceptable. También las rejillas de las bandejas y la rejilla utilizada en la entrada y en la salida del aire se unieron a los armazones mediante grapas.

En una primera etapa se fijó directamente el plástico al armazón mediante las grapas, tal como se puede ver en la *figura 63*. Para la rejilla ha funcionado bien, pero para la unión del plástico a la madera, tanto el negro como el transparente, comprobamos que a veces se producían desgarramientos. Para evitarlo, cuando se cambió el plástico en 2015, se realizó un doblado múltiple en la zona de grapado, dejando tres capas superpuestas para que quedase mejor sellado, tal como se ve en la fotografía de la derecha de la misma *figura 63*.

4.9. Despiece del deshidratador.

Se ha visto en los apartados precedentes la disposición física de los elementos, sus formas y buena parte de sus dimensiones. Para tener todos los detalles constructivos del deshidratador vamos a dedicar este apartado a detallar las dimensiones de todas las partes y piezas que componen el equipo.

Comenzamos con la zona de secado, cuyo explosionado se puede ver en la *figura 64*.

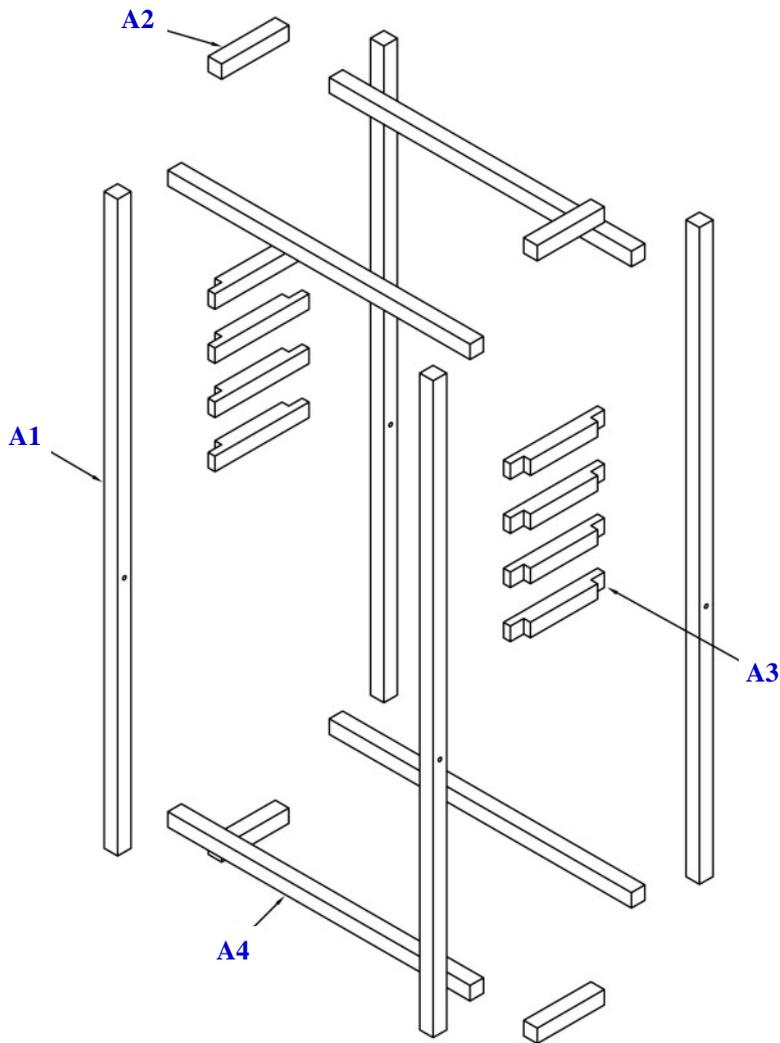


Figura 64. Explosionado de la cámara de secado

Está construida con cuatro tipos de listones diferentes, cuyas dimensiones en milímetros recogemos en las *figuras 65, 66, 67 y 68*.

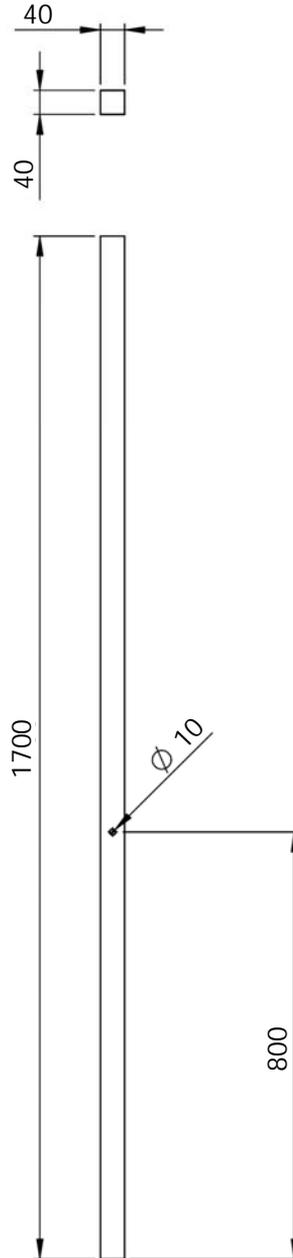


Figura 65. Dimensiones en milímetros de la pieza A1

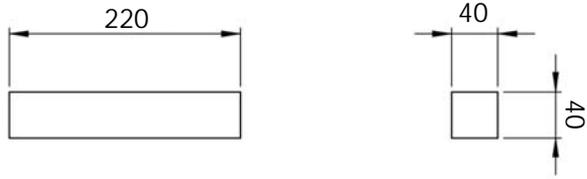


Figura 66. Dimensiones en milímetros de la pieza A2

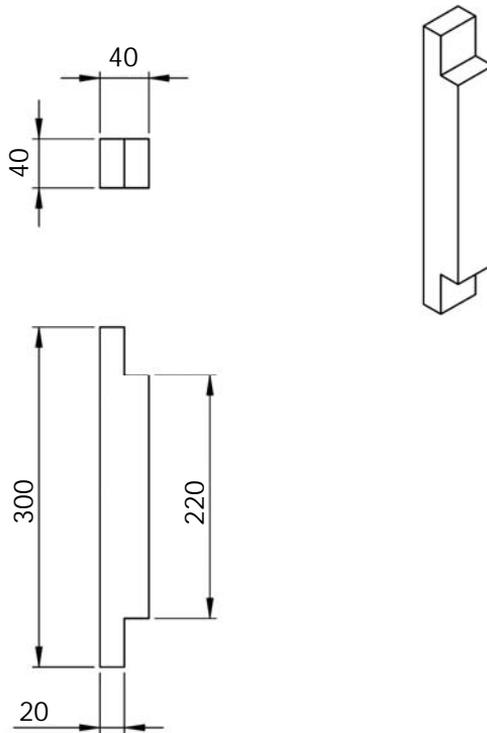


Figura 67. Dimensiones en milímetros de la pieza A3

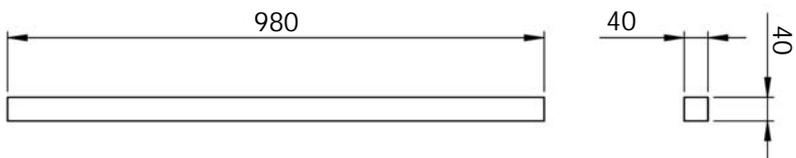


Figura 68. Dimensiones en milímetros de la pieza A4

Continuamos con el colector solar, cuyo explosionado se puede ver en la *figura 69*. Está construido con tres tipos de listones diferentes, cuyas dimensiones se pueden ver en las *figuras 70, 71 y 72*.

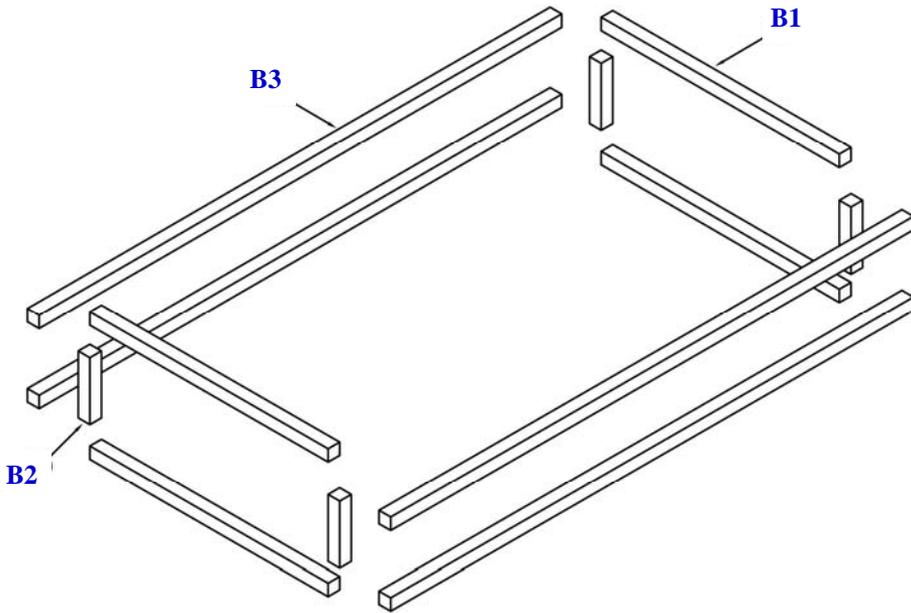


Figura 69. Explosionado del colector solar

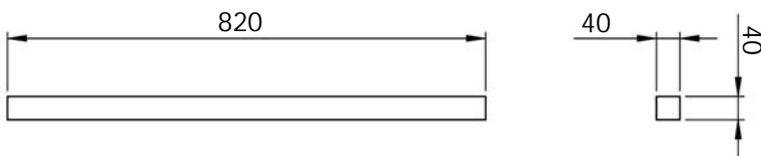


Figura 70. Dimensiones en milímetros de la pieza B1

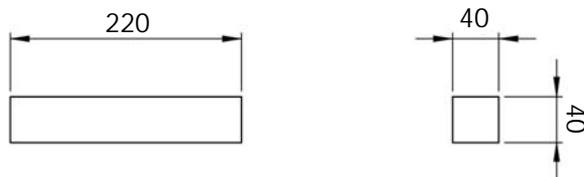


Figura 71. Dimensiones en milímetros de la pieza B2

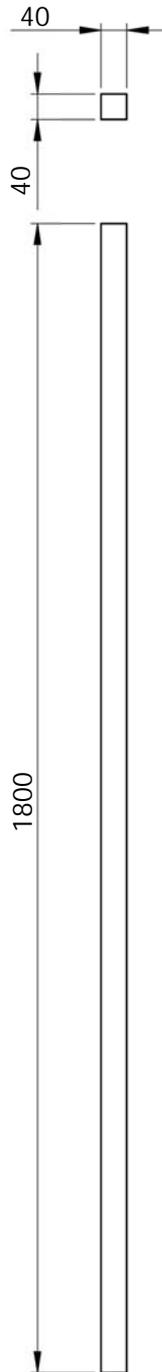


Figura 72. Dimensiones en milímetros de la pieza B3

Finalmente tenemos el explosionado de la bandeja que, como se puede ver en la *figura 73*, está formada por dos únicos listones.

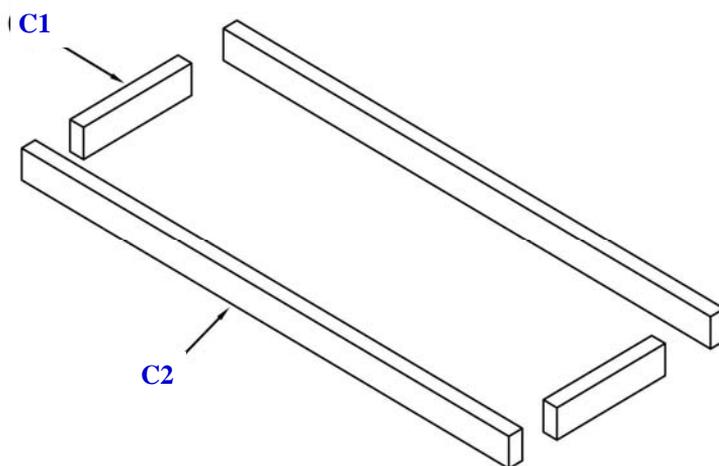


Figura 73. Explosionado de la bandeja

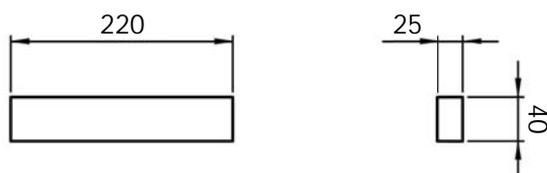


Figura 74. Dimensiones en milímetros de la pieza C1

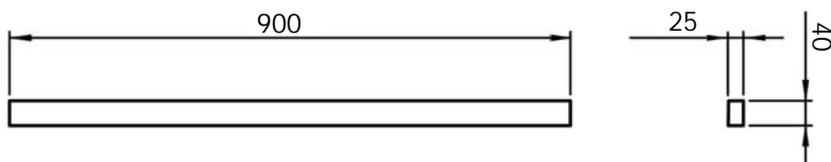


Figura 75. Dimensiones en milímetros de la pieza C2

Sus dimensiones son las que se indican en las *figuras 74* y *75*. En ellas se puede ver que frente al resto del deshidratador la sección de los listones es diferente, puesto que tiene 25 por 40 mm, frente a los 40 por 40 mm utilizados en el resto de listones del equipo.

Por otra parte, tenemos las tres rejillas del equipo. Son rectangulares y se utilizan, como ya se ha comentado en otros apartados para:

- Cubrir las bandejas y depositar en ellas los alimentos,
- La entrada del aire en la parte frontal del colector solar
- La salida del mismo en la parte superior trasera de la cámara de secado.

Sus dimensiones son las que se pueden ver en las *figuras 76, 77 y 78*.

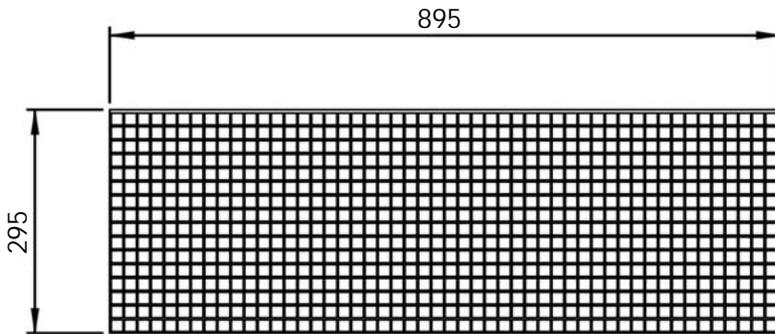


Figura 76. Dimensiones en milímetros de la rejilla de la bandeja

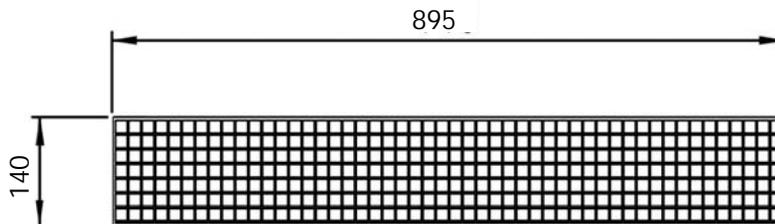


Figura 77. Dimensiones en milímetros de la rejilla del colector

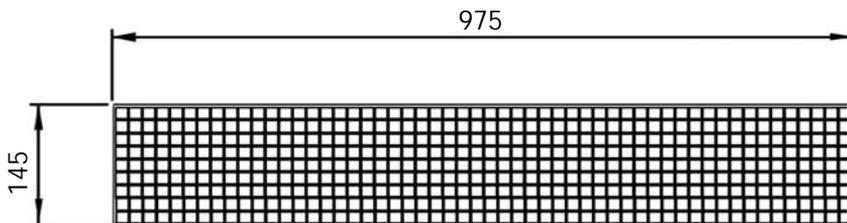


Figura 78. Dimensiones en milímetros de la rejilla de la cámara de secado

No se incluyen planos de los plásticos utilizados para cerrar el colector solar y la cámara de secado. Son rectángulos que se adaptan directamente a cada una de las zonas del deshidratador, que han de sellarse lo más herméticamente posible para evitar fugas de aire caliente.

Se van cortando a medida que se van poniendo, a partir de las piezas de plástico adquiridas, que tienen un tamaño mucho mayor -entre 1,40 y 8 metros de ancho- que las zonas a cubrir. En la primera ocasión en que montamos el deshidratador se cortaban directamente del tamaño de la zona a cerrar, dejando los excedentes necesarios de unos veinte centímetros para el sellado en la unión de las dos partes del equipo.

Con posterioridad se ha tenido que utilizar una cantidad mayor de plástico para hacer el doblado en tres capas que permitiese grapar de forma más resistente el plástico a la madera, tal como se ha descrito en el apartado 4.8 y se puede ver en la *figura 63* y también en la *figura 62*.

4.10. Coste del equipo.

El montaje del colector solar y de la zona de secado se encargó directamente a un carpintero, que nos proporcionó los dos armazones con un coste de 150 euros. A ellos hay que sumar el coste de los plásticos y las grapas, que tienen un valor de 20 euros, y la mano de obra para situarlos sobre los armazones, que hemos valorado a 10 euros la hora y al ser dos horas se sitúa en 20 euros, haciendo un total de 190 euros.

En Burkina Faso el coste de los armazones fue de 65 euros, a los que hemos de añadir el coste de los plásticos y la mano de obra para situarlos sobre los armazones. El coste de esta mano de obra en Burkina Faso es inferior a España, lo podemos situar en 5 euros la hora. Si para los plásticos y grapas mantenemos el mismo valor de 20 euros, el coste final del equipo es de 90 euros.

Se cumple pues el objetivo de tener un deshidratador de bajo coste, que podría ser más barato si se fabricasen varios equipos, puesto que éste es el coste para el primer deshidratador montado.

5. Puesta en marcha del equipo y mediciones.

El diseño del deshidratador estuvo acabado en enero de 2013. Durante algunos días estuvimos pensando en la posibilidad de comprar los listones y montarlo en la universidad. Finalmente pedimos a un profesional que lo montase, proporcionándonos algunas aportaciones interesantes ya comentadas, como el hecho de utilizar el tipo de junta de caja y espiga.

El equipo estuvo listo a finales de febrero. Fue en ese momento cuando se adquirieron los plásticos y comenzamos a trabajar en el revestimiento de las distintas partes del deshidratador, que estuvo preparado para empezar a hacer pruebas a comienzos de marzo de 2013.

5.1. Primeras medidas.

Las primeras medidas con el deshidratador se realizaron el día 11 de marzo de 2013. Se montó en la cubierta del edificio del Departamento de Ingeniería Eléctrica (DIE) de la UPV. El equipo no se cargó con alimentos para realizar un proceso de deshidratado, sólo se quería hacer una primera comprobación de su capacidad para aumentar la temperatura en el colector y en la cámara de secado. Para hacer las medidas se utilizó un multímetro ISO-TECH IDM 62T que se puede ver en la *figura 79* y un anemómetro Airflow TA5.

Nos permitieron registrar la temperatura en distintos puntos y la velocidad del aire en el interior del equipo. Las primeras medidas se realizaron a las nueve de la mañana, aunque no se hizo un registro continuo de las mismas. El colector solar se colocó con una inclinación muy baja, de sólo ocho grados respecto a la horizontal. La temperatura ambiente era de 9 °C, que en el centro del



Figura 79. Medidas de temperatura y radiación solar

Temperatura Ambiente en °C	Temperatura en el colector solar en °C	Temperatura en la cámara de secado en °C
20	46	33
28	54	38
33	61	50

Tabla 5. Primeras mediciones de temperatura en °C

colector fueron subiendo de forma rápida hasta los 23 °C. A medida que el sol se iba elevando registramos combinaciones de temperaturas más altas, como las que se ven en la *tabla 5*. El anemómetro se situó en la parte central de la zona de secado, haciendo entrar su captador por uno de los laterales, situándolo a 45 cm del extremo izquierdo y 15 cm de la parte frontal. La sonda de temperatura del multímetro se colocó a 15 cm de la parte superior del colector y a 40 cm de la zona de salida del aire hacia la cámara de secado.

Esta primera experiencia nos permitió comprobar que el equipo elevaba de forma importante la temperatura en el interior del colector y de la cámara de secado. De hecho, siendo marzo se alcanzaron temperaturas en la zona de secado de 50 °C, con una inclinación del colector poco adecuada para la época, dado que se hubiera necesitado un valor de 43°C para estar en la posición óptima respecto al sol para ese mes, tal como nos indican los datos de la *figura 38* (PVGIS, 2017).

Pudimos comprobar también cómo la variación de las condiciones externas afecta al funcionamiento del equipo. Las ráfagas de viento, que se producían de forma intermitente en la cubierta del edificio, hacían que bajase de forma importante la temperatura del aire en el interior. Registramos cambios de hasta cinco grados en solo unos segundos, a pesar de la pequeña inercia térmica que posee el equipo.

Sobre este campo hemos trabajado en los años posteriores, para conseguir aislar mejor el deshidratador, manteniendo su sencillez y coste reducido. Utilizamos un doble revestimiento de plástico, con una cámara de aire estático en su interior, aprovechando el grosor de 4 cm del listón de madera al que va acoplado. Dicho de otra manera, se cerró la parte inferior y los laterales del colector solar mediante dos plásticos, uno en la parte baja del listón y otro en la parte alta del mismo. Al contener aire que no se mueve, se convierte esa pequeña cámara en un buen aislante térmico. Además, si hay ráfagas de aire solo afectan al plástico de la parte de exterior y alcanza en menor medida al interior del colector solar.

También medimos la velocidad del aire en la zona de secado, que sin carga de alimentos llegó hasta los 0,35 m/s. Tal como nos comentó el profesor Daniel Vidal, que se acercó para ver el funcionamiento del deshidratador en esta primera prueba, con el equipo cargado de alimentos las condiciones de funcionamiento cambian drásticamente. La velocidad de circulación del aire disminuyó en sesiones posteriores y con alimentos en las bandejas, situándose entre 0,15 y 0,19 m/s. La temperatura interior de la cámara de secado también se redujo de forma variable en función de la temperatura del colector, del tipo de alimento y la forma en que se hubiera cortado.

Realizamos varios experimentos con fruta en los meses siguientes, manteniendo la misma inclinación del colector y situando el equipo en la calle que está situada junto al edificio del DIE, en su cara este, buscando una zona resguardada del viento. Seguimos la metodología de ir cambiando la orientación del deshidratador varias veces al día, haciendo un pequeño pero mejor seguimiento de la trayectoria del sol.

Colocamos varios medidores de temperatura y uno de radiación solar, obtenida mediante una célula calibrada Solarworld, en la que medimos los miliamperios que produce y luego convertimos en W/m^2 a partir de las tablas de conversión que nos proporciona el fabricante de la célula. En la *figura 79* se pueden ver los equipos y dos de dichas medidas: 59 °C en el colector solar con una radiación incidiendo sobre el equipo de 738,5 W/m^2 .

La primera fruta que secamos fue manzana, cortada a mano con un cuchillo de cocina en láminas de entre 2 a 4 mm. Luego fuimos incorporando otros alimentos, como tomate, pepino, ciruela, plátano o kiwi. Inicialmente tomábamos nota del peso de cada alimento al comienzo del proceso y al final de un día de secado, y comprobamos después su estabilidad con el paso de las semanas.

Pudimos verificar que en días soleados bastaba con un solo día para completar el proceso de deshidratado y que los alimentos permaneciesen estables a partir de ese momento. En general, aún sacando las bandejas con los alimentos, para hacer medidas de la pérdida de peso, en un máximo de un día y medio hemos completado los procesos de secado que hemos realizado. Lo hemos podido corroborar en alimentos como los citados y también en mango, papaya, piña, cebolla, pimienta, pera, jengibre, patata, boniato, etc.

Para comprobar cómo se produce el proceso de secado, comenzamos a tomar datos del peso de los alimentos en intervalos de una hora y media o dos horas, dependiendo de la meteorología de cada día de trabajo. Se observa que en la fase inicial la pérdida de peso es rápida, mientras que a medida que avanza el tiempo la pérdida de peso es menor, algo esperable puesto que el alimento cada vez contiene menos agua y además está situada más en el interior del alimento, con lo que debe atravesarlo antes de ser arrastrada por el aire caliente.



Figura 80. Primeros experimentos de secado en marzo de 2013

En la *figura 80* se puede ver el equipo situado en la calle del ala este del edificio de DIE, a primeras horas de la mañana. Se aprecia cómo el plástico negro del lateral tiene un faldón que llega hasta el suelo. Se intentó de esta manera, y en esa primera época, que no pudiesen pasar ráfagas de aire por la parte de abajo del colector, para que no afectasen al plástico negro que lo cubre. Este plástico inferior tiene una temperatura elevada y sensible a las ráfagas de aire, que hacen que baje su temperatura y, por tanto, la del colector solar, afectando a la temperatura final del aire que sale de él hacia la cámara de secado.

También se puede ver que el plástico con el que se cierra el colector sobre la cámara de secado se sitúa en el suelo. La poca inclinación del colector y la falta de experiencia en ese momento no nos hizo buscar otra solución más favorable, como la que se ha comentado en el apartado 4.5 y se puede ver en la *figura 58*. Quedaba así una cámara de secado mucho más grande que la actual. No tenía utilidad y, en principio, no afectaba al proceso de deshidratación, puesto que el aire caliente tiene tendencia a ascender y, por tanto, no se veía afectado por esa zona de la parte baja del equipo.

El resto de puntos de cierre del colector solar con la cámara de secado se realiza aprovechando los excedentes de plástico que se habían dejado tanto de una zona como de otra. Estos plásticos se superponían y se cerraban mediante cinta adhesiva, intentando que quedase lo más hermético posible, para evitar que el aire caliente encontrase vías de escape. Con todo, y como se entiende con lo que se ha dicho hasta aquí, no estábamos buscando una unión perfecta



Figura 81. Cámara de secado cerrada con velcro en el deshidratador de 2013

de los elementos, puesto que se quería comprobar que aún no cerrando de forma completamente hermética el equipo funcionaba correctamente y realizaba el proceso de secado en un tiempo razonablemente corto, como así era.

Respecto al cierre de la parte trasera, se puede apreciar en la *figura 81* que en los laterales está hecho con velcro blanco, puesto a intervalos amplios, lo que dejaba unas zonas grandes por las que podía escapar una pequeña cantidad de aire. Estaba pegado tanto a la madera como al plástico y proporcionaba una forma fácil de abrir y cerrar la zona de secado.

En la zona superior se puede ver la rejilla por la que escapa el aire con la humedad extraída de los alimentos. Se cierra una parte con el propio plástico transparente que cubre la zona trasera de la cámara de secado, que está unido a la parte superior del equipo mediante cinta adhesiva. Cerrando más o menos esa unión con la parte superior, se consigue que quede más o menos espacio abierto para el escape del aire y regular así su salida.

Se puede ver también en la *figura 81* que los laterales de la zona de secado están cubiertos con plástico transparente. Si se va moviendo el equipo siguiendo la trayectoria del sol no afecta al proceso, los alimentos nunca reciben la radiación del sol de forma directa. Si el deshidratador se deja con una orientación sur fija (norte para el hemisferio sur), por la mañana y por la tarde entrará el sol hasta los alimentos durante algunas horas, produciendo un efecto de deterioro de sus propiedades que no es deseable. En cualquier caso, se trata de horas en las que la inclinación del sol no es óptima respecto a la posición vertical del plástico y el efecto perjudicial es mínimo, aunque si sólo se utiliza para

deshidratar y no se van a hacer medidas es conveniente cerrarlo con plástico negro, como el que se utiliza también para cerrar la parte superior de esta zona.

En esta primera etapa estuvimos haciendo comprobaciones generales. Entre ellas comimos alimentos deshidratados para comprobar cómo quedaba en boca su sabor y textura. Comprobamos que las frutas y hortalizas que estaban muy maduras proporcionaban una sensación muy agradable, con el sabor del alimento potenciado. El tacto en el paladar era satisfactorio, sobre todo en frutas con alto contenido en azúcares, como el kiwi, melocotón, cereza, mango... Por contra, cuando los alimentos no estaban maduros la sensación final una vez secado era ácida. Lo pudimos comprobar particularmente en el kiwi.

También dejamos guardados los alimentos deshidratados durante varias semanas y fuimos observando su evolución, comprobando que se mantenían estables y en buen estado de conservación, incluso durante un año. Los fuimos consumiendo, particularmente yo, a lo largo de esas mismas semanas, comprobando que mantenían el sabor y la textura.

5.2. Metodología de trabajo.

Tras los primeros procesados de alimentos, se hacía necesario definir una metodología de trabajo, que permitiese realizar el procedimiento de deshidratado siguiendo las mismas pautas. Queríamos obtener además curvas de secado de los alimentos tratados de una forma sencilla, que permitiese saber cuándo se ha completado el secado y que fuese fácil de reproducir en Burkina Faso o cualquier otro país en el que se trabajase con el equipo.

En general, cada tanda de secado ha contado con la participación de dos personas, dado que el proceso de preparación y la toma de medidas exige tiempo y con dos personas se realiza de forma más rápida. El sistema de trabajo quedó definido siguiendo los siguientes pasos:

1.- Compra de las frutas y hortalizas en la tarde anterior a su tratamiento para deshidratarlas. Se mantienen guardadas en una nevera hasta la mañana siguiente, en que las llevamos hasta la universidad.

2.- Comienzo de la jornada de trabajo a las 8:00 llevando el equipo hasta el lateral del edificio del DIE, en donde se realiza el montaje del mismo sin las bandejas. Se requiere un tiempo de entre 15 y 25 minutos para dejarlo montado. El sol está todavía bajo a esa hora, pero dejamos el equipo orientado hacia el sol, para que vaya cogiendo temperatura mientras preparamos las bandejas con los alimentos.

3.- Preparación de los alimentos, cortándolos en láminas que sean lo más uniformes posibles y con un grosor que esté entre 2 y 4 mm. El corte se realiza



Figura 82. Bandejas con manzana (1), kiwi y pepino (2) y tomate (3) dispuestas para su procesado

a mano con cuchillo y se van depositando los alimentos en las bandejas. En el año 2016 compramos una maquina de cortar que nos ha permitido desde entonces hacer los cortes más uniformes y de un grosor fijo. En general, los alimentos se han pelado previamente a cortarlos en láminas, excepto los que son de piel fina como el tomate o el pimiento que no se han pelado.

Cada bandeja se llena con uno o dos alimentos. La densidad de alimento por bandeja se puede ver para distintos casos en la *figura 82*. Se puede decidir hacerla más o menos grande en cada proceso, sabiendo que cuanto más densa esté la bandeja mayor será el tiempo necesario para el secado.

Este proceso de preparación inicial de los alimentos emplea un tiempo variable que puede ir desde media hora hasta más de una hora, dependiendo de si lo hace una sola persona o lo hacen dos.

4.- Una vez llena la bandeja o la mitad de la misma, se hace un primer peso del alimento y se anota el peso inicial antes de la deshidratación. Después se vuelve a depositar el alimento distribuyéndolo en la bandeja correspondiente.

Cuando están completas todas las bandejas se llevan hasta el deshidratador. Para obtener el peso se ha empleado una balanza digital de la marca Scalix, modelo de 1 kg, que se puede ver en la *figura 83*.

5.- En general, se fotografían las bandejas completas y el detalle de algunas rodajas de cada uno de los alimentos, para hacer un seguimiento de la evolución de su aspecto exterior a medida que avanza el proceso de secado.

6.- Se colocan los aparatos de medida de temperatura en distintas partes del equipo, normalmente uno o dos en el colector solar y otro o dos en la zona de secado. Dependiendo de cada procesado se han colocado todos los medidores o solo una parte de ellos.

7.- Se dejan pasar dos horas para que el proceso avance. Una vez transcurridas, se abre la parte trasera del equipo y se van extrayendo las bandejas. Se pesa cada alimento y se vuelve a depositar en la bandeja que, en muchos casos, es fotografiada de nuevo e introducida en el equipo. En las horas centrales del día se han realizado medidas con intervalos de tiempo más cortos, dado que el proceso de secado avanza de forma más rápida. También se pueden coger intervalos de tiempo más amplios, anotando siempre el tiempo transcurrido entre cada medida y la anterior.

8.- Se trasladan los datos recogidos hasta el ordenador, viendo cómo va evolucionando la gráfica de pérdida de peso del alimento en función del tiempo, que no será uniforme para todos los alimentos procesados en cada tanda. Cuando se observa que no hay evolución en la pérdida de peso, o ésta es muy pequeña, el alimento está seco y se puede retirar del deshidratador, para que los demás alimentos reciban mayor flujo de aire caliente.

Al realizar el proceso de sacar y volver a colocar las bandejas se interrumpe el propio proceso de secado, ralentizándolo. Durante un tiempo de entre 20 y 25 minutos las bandejas y los alimentos están fuera del equipo y pierden la inercia térmica que tenían. Lo mismo ocurre con el propio deshidratador, que al abrirse y cerrarse pierde una parte importante de su inercia térmica. Esto hace que el proceso de tomar las medidas aumente el tiempo necesario para completar el secado. Cuantas más medidas tomemos más tiempo adicional se va a requerir, lo que nos ha llevado con días soleados a utilizar de forma habitual un día y medio, aunque a veces hemos completado el segundo día tomando más medidas, para comprobar cómo evolucionaba el peso de los alimentos cuando están prácticamente secos.



Figura 83. Pesado de los alimentos

5.3. Datos de pérdida de peso de los alimentos.

Al utilizar dos días para el proceso de secado tenemos fuera del equipo los alimentos entre las 19:00 o 20:00 h en que acabamos el primer día, dependiendo de la época del año y de las horas de sol, y las 9:00 h del día siguiente en que lo reanudamos. En este intervalo el alimento suele perder un poco de su peso, aunque no a la misma velocidad que cuando está en el deshidratador. Vamos a comprobar cómo afecta a los datos que estamos tomando.

Para ello vamos a coger los datos del proceso de secado realizado el 12 de junio de 2013, fecha en la que realizamos el deshidratado de manzana, que se cortó en laminas de entre 2 y 4 mm, ocupando una bandeja completa del equipo, tal como se ve en la *figura 82*. Los dos primeros intervalos de medida fueron de una hora, queríamos comprobar cómo era la pérdida de peso en la fase inicial del proceso. Los pesos obtenidos y los tiempos transcurridos en el secado de la manzana fueron los que se pueden ver en la *tabla 6*.

Tiempo transcurrido en horas	Peso del alimento en gramos
0	489,4
1	410,5
2	320,7
3,5	277,9
5,7	184,0
6,7	151,2
8	124,9
9,3	105,0
22,6	90,7
24,9	85,9
26,9	81,4
28,4	79,4
29,4	78,2
30,4	77,9

Tabla 6. Datos de deshidratación de manzana en junio de 2013

Medidas realizadas

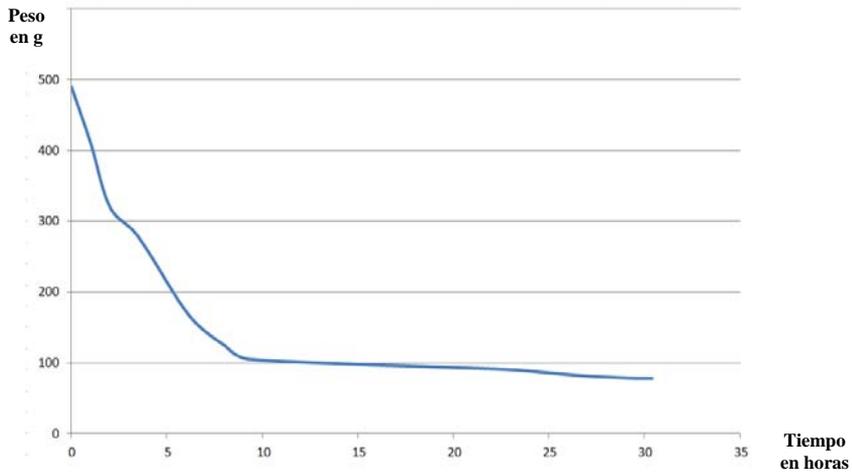


Figura 84. Gráfica de deshidratación en junio de 2013 de manzana

Con estos datos obtenemos la gráfica de la *figura 84*, en la que podemos observar que a partir de las 9,3 horas se produce una linealización de la gráfica que luego cambia de pendiente a partir de las 22,6 horas. Es el intervalo de tiempo que corresponde a las horas en las que no ha estado trabajando el deshidratador. La manzana ha pasado de 105 a 90,7 gramos una cantidad apreciable, pero pequeña si se tiene en cuenta que han transcurrido 13,3 horas.

Esta situación debe hacernos recordar que estamos buscando una gráfica que represente la pérdida de peso frente al tiempo, pero que también nos de

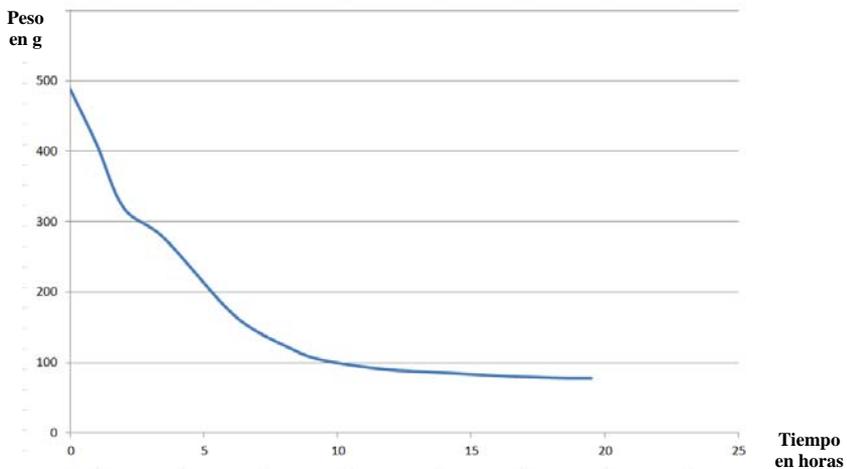


Figura 85. Gráfica de deshidratación en junio de 2013 de manzana, modificando el intervalo nocturno a 2,4 horas

Tiempo transcurrido en horas	Peso del alimento en gramos
0,0	489,4
1,0	410,5
2,0	320,7
3,5	277,9
5,7	184,0
6,7	151,2
8,0	124,9
9,3	105,0
11,7	90,7
14,0	85,9
16,0	81,4
17,5	79,4
18,5	78,2
19,5	77,9

Tabla 7. Datos de deshidratación de manzana en junio de 2013 modificando las horas transcurridas durante la noche

información sobre cuándo se ha producido la finalización del proceso de secado. En este último aspecto nos da una referencia equivocada, puesto que el alimento estará suficientemente deshidratado cuando su peso apenas sufra variación con el tiempo, y puede parecer que esto se ha producido ya cuando han transcurrido 10 horas.

En la *figura 85* tenemos la misma gráfica pero eliminando parte de las horas nocturnas, modificando los valores de la *tabla 6* a los valores que se muestran en la *tabla 7*. Hemos reducido las 13,3 horas en las que el equipo estuvo sin funcionar durante la noche, hasta un intervalo de tiempo mucho menor, de 2,4 horas, similar al que utilizamos en la toma de datos de primera hora de la mañana del segundo día.

El cambio es importante, porque ahora la gráfica sí mantiene su continuidad y no crea una línea asintótica falsa cuando el proceso de secado todavía debe continuar. Al contrario, nos dice con claridad que a las 10 horas continuaba el proceso de pérdida de peso la manzana, puesto que el alimento se estabiliza

cuando llegamos a las 19,5 horas, dado que en la última hora sólo ha perdido 0,3 gramos, tal como nos indica también la *tabla 7*.

En esta etapa inicial tuvimos que tomar decisiones sobre cómo procesar los datos. Haciendo la gráfica con los intervalos de tiempo exactos transcurridos se desvirtúa el objetivo que perseguimos, mientras que si hacemos la corrección propuesta, nos da una información visual mucho más útil para saber en qué situación está el proceso de deshidratado.

Tengamos en cuenta también que estamos hablando de procesar datos en nuestro ámbito de la universidad, puesto que en Burkina Faso no se harán estas gráficas, excepto cuando enviamos a nuestros alumnos y les pedimos que tomen datos similares a los que utilizamos en la UPV. A los usuarios del equipo en Burkina Faso hemos de proporcionarles un método sencillo con el que puedan verificar que el alimento está completamente deshidratado.

La pregunta a hacer es cuál es el intervalo de tiempo correcto que debemos dejar para ese tiempo nocturno. El criterio establecido es que debe tener un valor proporcionado a la pérdida de peso que se haya producido en los intervalos anterior y posterior, en relación al tiempo transcurrido en dichos intervalos. En cualquier caso podemos hacer una prueba obteniendo las gráficas con valores de tiempo un poco superiores y un poco inferiores. En concreto vamos a restar 1,4 horas a ese intervalo modificado, dejándolo sólo en una hora, es decir, comprimimos las 13,3 horas transcurridas durante la noche a una sola hora. El resultado en la gráfica de la *figura 86*, muy similar a la de la *figura 85*.

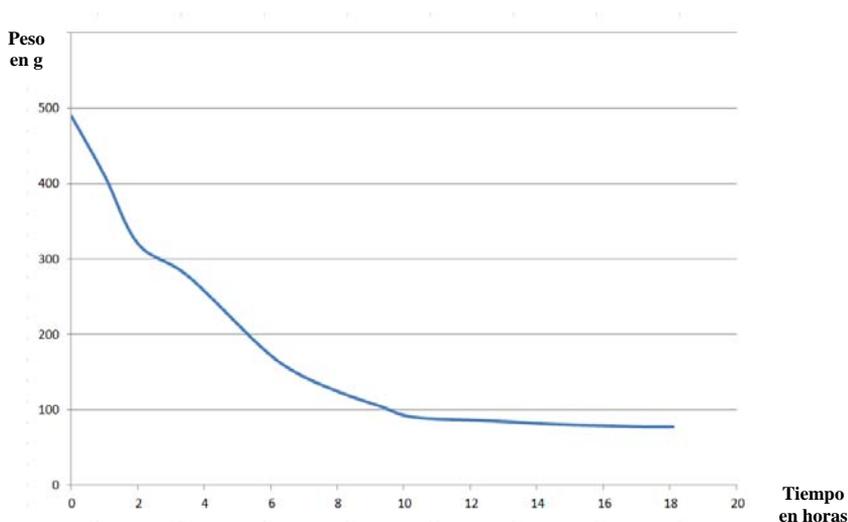


Figura 86. Gráfica de deshidratación en junio de 2013 de manzana, dejando el intervalo nocturno en una hora

Medidas realizadas

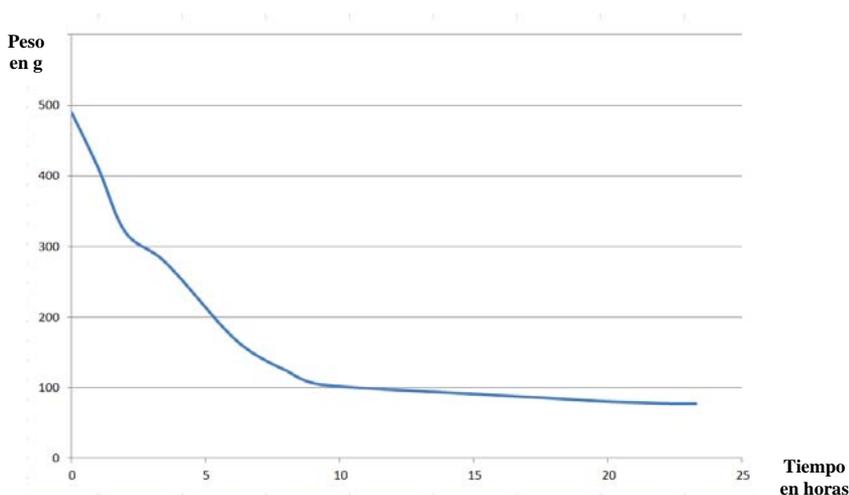


Figura 87. Gráfica de deshidratación en junio de 2013 de manzana, aumentando el intervalo de tiempo nocturno a 3,8 horas

Podemos repetir el proceso pero haciéndolo en sentido contrario, es decir, sumando ahora 1,4 horas y dejando ese tiempo en 3,8 horas. La gráfica se puede ver ahora en la *figura 87*, similar de nuevo a la que teníamos en la *figura 85*.

Tengamos en cuenta también que los intervalos de tiempo que estamos anotando para cada toma de datos no son completamente precisos, puesto que tendríamos que considerar el tiempo variable que empleamos en hacer el peso de cada uno de los alimentos. En ese sentido estamos redondeando a valores exactos con un decimal, dado que lo que realmente buscamos es la tendencia en la línea de pérdida de peso y, sobre todo, ver cuándo alcanzamos una estabilidad en el peso como para considerar concluido el proceso.

Podemos obtener la ecuación que marca la línea de tendencia, aunque sabemos que es difícil que se ajuste exactamente a los valores que tenemos en la *tabla 7* u otras similares. Elegimos una ecuación polinómica de grado 4 y obtenemos como resultado:

$$P = 0,0025.t^4 - 0,2146.t^3 + 6,4502.t^2 - 83,937.t + 485,45$$

En donde:

- P es el peso esperable
- t es el tiempo transcurrido

Hemos elegido un formato polinómico de grado 4 porque es el que más se ajusta a los datos reales medidos. Si cogemos otros de grado 2, 3, 5 o 6, los

Medidas realizadas

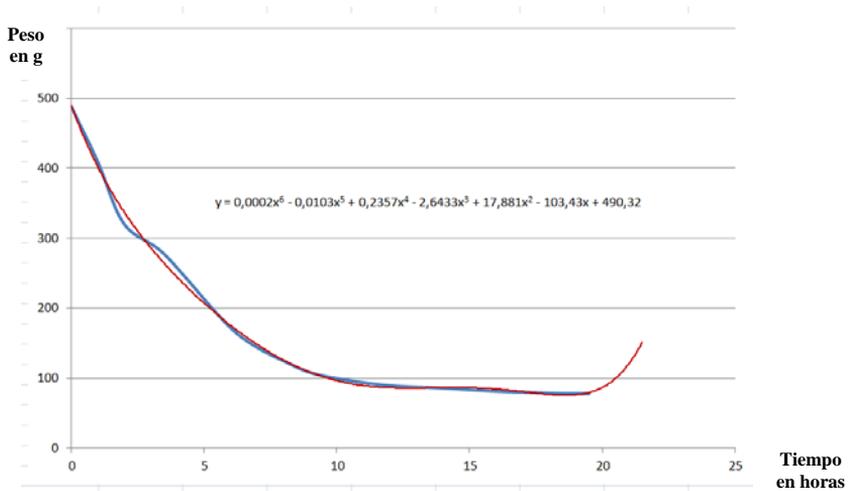


Figura 88. Gráfica de deshidratación en junio de 2013 de manzana, con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 6

resultados están menos ajustados. En la figura 88, se puede ver la ecuación y en rojo la curva obtenida de grado 6, con dos puntos adicionales de la evolución del peso para intervalos de tiempo sucesivos. Muestran un resultado ascendente, la manzana aumentaría de peso y no mantiene la tendencia que se hubiese producido en la realidad, dado que lo que hubiese ocurrido es que el peso hubiese seguido bajando. Si lo hacemos con la de grado 4, obtenemos la gráfica de la figura 89, que mantiene el descenso de peso, aunque probablemente en un

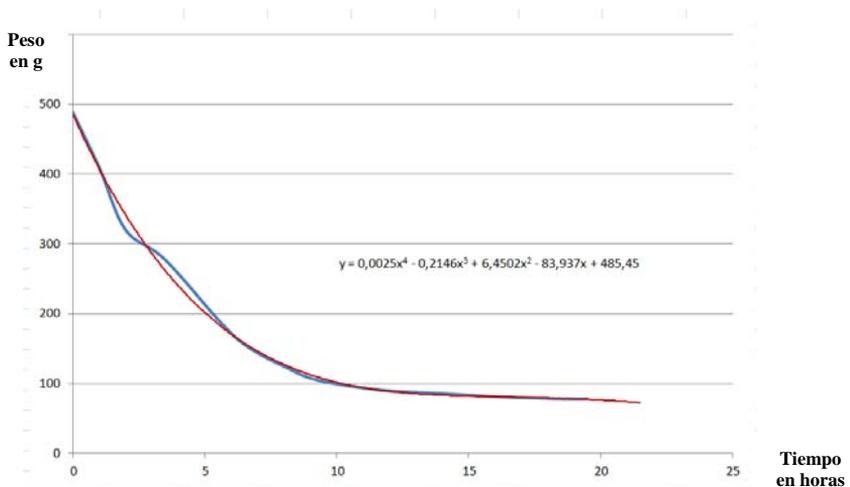


Figura 89. Gráfica de deshidratación en junio de 2013 de manzana, con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 4

grado mayor al que cabría esperar si hubiésemos seguido midiendo durante unas horas más, dada la forma asintótica de la curva real.

Revisando los datos y la evolución del peso, podemos decir que al comienzo del proceso de secado la pérdida de peso es muy rápida, pero a medida que avanza se va ralentizando. En la etapa inicial el agua libre contenida en el alimento está cerca de su superficie, con lo que encuentra facilidad para salir y ser arrastrada por el aire caliente que incide sobre él. Cuando se va secando el alimento le queda menos agua y debe atravesar más sección del alimento antes de llegar a su superficie, por lo que el proceso se ralentiza. Lo muestran los datos medidos y las gráficas que hemos visto en las páginas anteriores.

También podemos obtener el porcentaje de peso que se ha perdido en cada intervalo de tiempo respecto al peso inicial de la muestra, y el porcentaje de peso que queda en el alimento, también respecto al peso inicial. Los valores que se obtienen son los que se muestran en la *tabla 8*. Reflejan la tendencia expresada en el párrafo anterior.

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	489,4	0,00	100,00	0,00
1,0	410,5	16,12	83,88	16,12
2,0	320,7	34,47	65,53	18,35
3,5	277,9	43,22	56,78	8,75
5,7	184,0	62,40	37,60	19,19
6,7	151,2	69,11	30,89	6,70
8,0	124,9	74,48	25,52	5,37
9,3	105,0	78,55	21,45	4,07
11,7	90,7	81,47	18,53	2,92
14,0	85,9	82,45	17,55	0,98
16,0	81,4	83,37	16,63	0,92
17,5	79,4	83,78	16,22	0,41
18,5	78,2	84,02	15,98	0,25
19,5	77,9	84,08	15,92	0,06

*Tabla 8. Deshidratación de manzana en junio de 2013
porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento*

Medidas realizadas

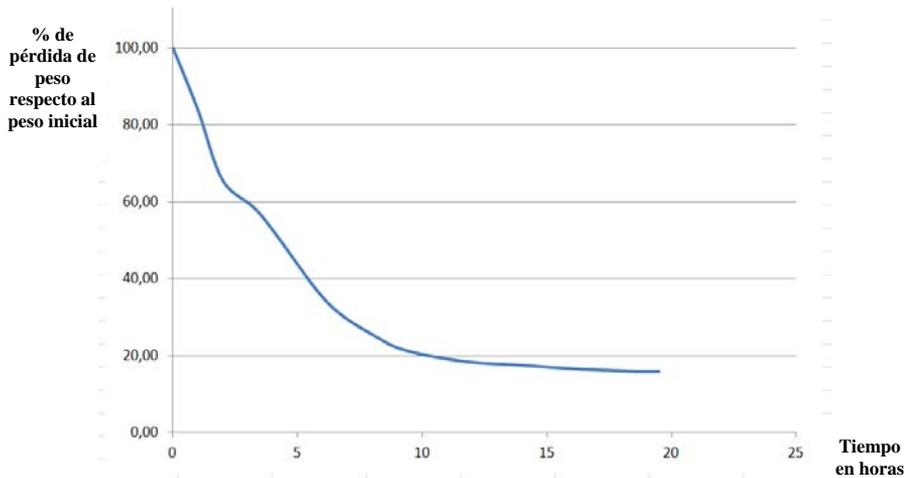


Figura 90. Deshidratación en junio de 2013 de manzana, gráfica del porcentaje de pérdida de peso respecto al peso inicial

Podemos obtener las gráficas de estos valores. La del valor porcentual de pérdida de peso respecto al peso inicial se puede ver en la *figura 90*. Tiene una forma similar a la de la gráfica de pérdida de peso que hemos visto en la *figura 85*. Por el contrario, si representamos el porcentaje de pérdida de peso que se produce en cada intervalo de tiempo medido, la gráfica que se obtiene es la de la *figura 91*. Como ya veíamos en la última columna de la *tabla 8*, la tendencia no es uniforme y tiene cambios bruscos.

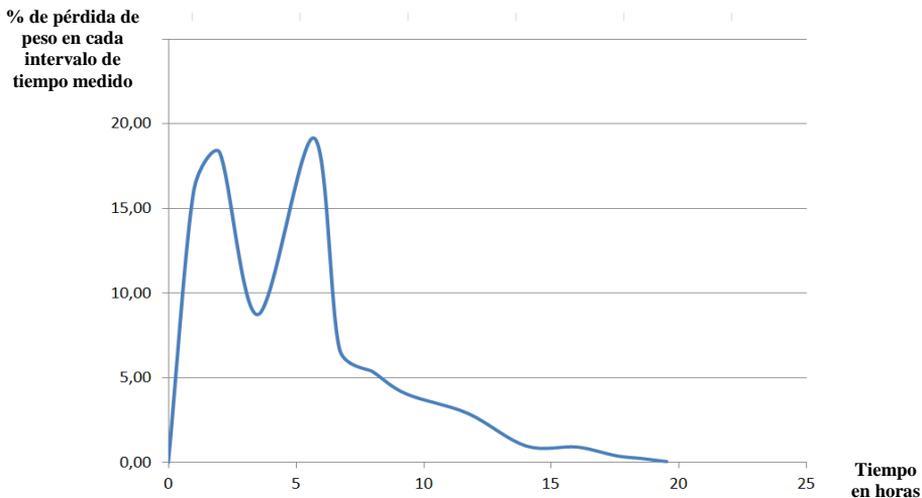


Figura 91. Deshidratación en junio de 2013 de manzana, gráfica del porcentaje de pérdida de peso en cada intervalo de tiempo medido

En la primera hora la manzana pierde un 16,12 % de su peso, aún estando a primera hora de la mañana y con el sol muy bajo, es decir aprovechando el deshidratador poca de la radiación solar que incide sobre él, puesto que el ángulo con el que la recibe es el peor de todos los posibles. En la segunda hora el sol ha ido elevándose y el porcentaje de pérdida de peso es mayor, un 18,35 %, acumulando un 34,47 %, aún cuando la dificultad para extraer agua del alimento va siendo mayor, pues hay que extraerla de más adentro.

Con posterioridad el proceso de disminución de peso se ralentiza. En la tercera medida ha pasado una hora y media desde la medida anterior, pero sólo se han perdido 42,8 gramos, un 8,75 %, aunque el sol ha ido mejorando su posición respecto al equipo. Podríamos pensar que cada vez cuesta más extraer el agua del alimento, pero vemos en el siguiente dato, tomado 2,2 horas después, que el porcentaje sube al 19,19 %. Son las horas de mediodía, con el sol en su mejor posición en relación al equipo, lo que proporciona las mejores condiciones de trabajo de todo el día, y además hemos dejado más tiempo. Entre la hora 8 y la 9,3 pierde el 4,07 % de su peso, mientras que en la última hora solo pierde el 0,06 % del peso respecto al peso inicial del alimento.

La discontinuidad en estas medidas y otras contenidas en distintas tandas de secado, es debida al clima de ese día. Aunque estaba despejado y con sol, aparecieron nubes en el tercer intervalo, afectando a la temperatura del aire que produce el equipo y a la cantidad de agua que es capaz de extraer. Las últimas medidas marcan un % progresivamente menor, a pesar de que es el segundo día de secado y el sol va ascendiendo, proporcionándonos mejores condiciones, pero hay menos agua y es más difícil de extraer.

Este caso debe servir como referencia de que los datos que vamos a presentar corresponden a medidas que son las de un día concreto y que difícilmente van a ser similares a las de cualquier otro día estudiado. Es decir, no se trata de experimentos realizados en laboratorio y que se puedan reproducir con idénticas circunstancias en otro día y otro laboratorio, puesto que la climatología es particular de cada día de trabajo. Tampoco coincidirán con las condiciones que se van a presentar en Burkina Faso, por lo que nuestro objetivo va a ser conocer cuándo el alimento ha perdido suficiente peso respecto al peso inicial para que lo tengamos deshidratado y estable.

Por todas las consideraciones comentadas, los datos y gráficas que se presentan a partir de aquí se construyen reduciendo el intervalo de tiempo de la noche tal como se ha explicado. Se adopta esta decisión frente a otra posible que consistiría en meter en bolsas separadas cada uno de los alimentos y cerrarlas tan herméticamente como se pueda, dejándolos durante toda la noche sin que cambie su contenido en agua. A la mañana siguiente se sacarían de las bolsas, se colocarían de nuevo en las bandejas y se reanudaría el procedimiento.

De esa manera no habría discontinuidad en el proceso de secado. Sin embargo, no se correspondería con la forma en que va a trabajar el deshidratador cuando estén secando en Burkina Faso. Allí los alimentos seguirán en el equipo durante la noche y perderán una parte de su contenido en agua, de forma similar a como se va a producir en los experimentos realizados en nuestro país a partir de la solución adoptada.

5.4. Deshidratación de pepino.

En el mismo día 12 de junio de 2013 deshidratamos cinco alimentos más: pepino, kiwi, tomate, ciruela y plátano. Llenamos media bandeja con pepino pelado y cortado en laminas transversales, con un peso inicial de 328,8 gramos, que quedó reducido a 18,9 gramos al final de la deshidratación, habiendo perdido el 94,25 % de la masa inicial. En la *tabla 9* se encuentran los datos medidos durante el proceso, así como los valores de disminución de peso calculados, siguiendo las pautas definidas en el apartado 4.3.

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	328,8	0,00	100,00	0,00
1,0	269,5	18,04	81,96	18,04
2,0	219,9	33,12	66,88	15,09
3,5	184,5	43,89	56,11	10,77
5,7	116,0	64,72	35,28	20,83
6,7	87,2	73,48	26,52	8,76
8,0	65,0	80,23	19,77	6,75
9,3	52,1	84,15	15,85	3,92
11,7	28,3	91,39	8,61	7,24
14,0	23,6	92,82	7,18	1,43
16,0	21,0	93,61	6,39	0,79
17,5	19,6	94,04	5,96	0,43
18,5	19,1	94,19	5,81	0,15
19,5	18,9	94,25	5,75	0,06

*Tabla 9. Datos de la deshidratación de pepino en junio de 2013
porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento*

Medidas realizadas

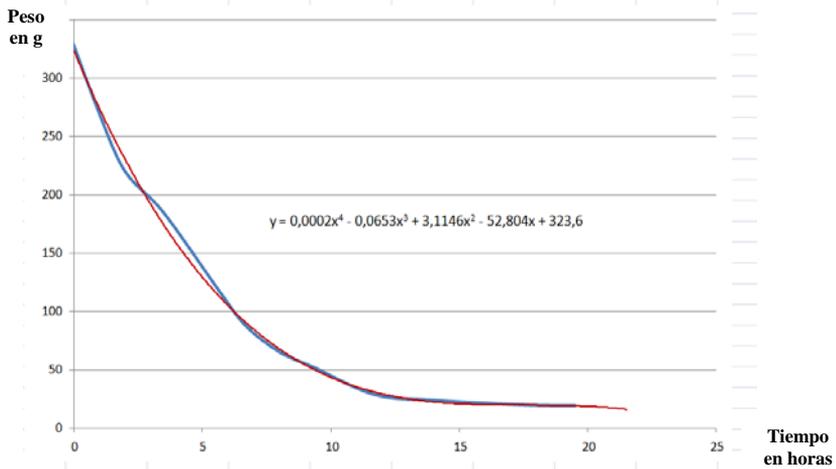


Figura 92. Gráfica de deshidratación de pepino en junio de 2013 con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 4

La gráfica de la *figura 92* recoge las medidas de peso realizadas. Sobre ella se ha superpuesto en rojo la línea de tendencia de tipo polinómico y grado 4, cuya ecuación también se incluye en la figura. Se le han añadido dos intervalos de tiempo adicionales, en los que se puede ver que, como ocurría con la manzana, la previsión de la ecuación excedería las posibilidades de secado adicional que podríamos haber obtenido. En la *figura 93* se incluye la gráfica del porcentaje de pérdida de peso en cada intervalo, que posee una forma similar a la que veíamos para la manzana. Es un resultado esperable, puesto que la incidencia

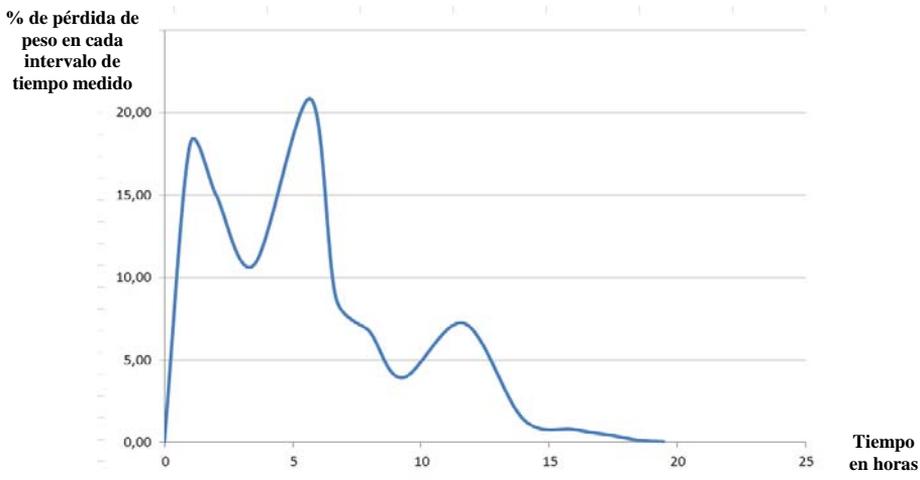


Figura 93. Deshidratación en junio de 2013 de pepino, gráfica del porcentaje de pérdida de peso en cada intervalo de tiempo medido

de los cambios meteorológicos debe afectar de forma similar a todos los alimentos que tratemos en la misma tanda de deshidratación.

En los datos de la *tabla 9* y en la gráfica de la *figura 92* se puede ver cómo el pepino ha llegado a perder el 94,25 % de su masa inicial. La curva de pérdida de peso muestra una forma asintótica horizontal en su parte final. Indica que podríamos haber detenido el proceso 5,5 horas antes de lo que lo hemos hecho, dado que para entonces ya había perdido el 92,82 % de su masa inicial y que en esas últimas horas sólo perdió un 1,43 % adicional.

5.5. Deshidratación de kiwi.

Continuamos con los datos de secado del kiwi, del que también llenamos media bandeja, compartida con el pepino, pelándolo y cortándolo en láminas transversales tal como se podía ver en la *figura 82*. En la *tabla 10* se encuentran los datos medidos, así como los valores de disminución de peso calculados. El

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	299,1	0,00	100,00	0,00
1,0	252,1	15,71	84,29	15,71
2,0	221,3	26,01	73,99	10,30
3,5	196,9	34,17	65,83	8,16
5,7	151,2	49,45	50,55	15,28
6,7	131,5	56,03	43,97	6,59
8,0	116,2	61,15	38,85	5,12
9,3	106,4	64,43	35,57	3,28
11,7	85,7	71,35	28,65	6,92
14,0	77,7	74,02	25,98	2,67
16,0	72,0	75,93	24,07	1,91
17,5	66,9	77,63	22,37	1,71
18,5	65,0	78,27	21,73	0,64
19,5	63,9	78,64	21,36	0,37

Tabla 10. Datos de la deshidratación de kiwi en junio de 2013 porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento

Medidas realizadas

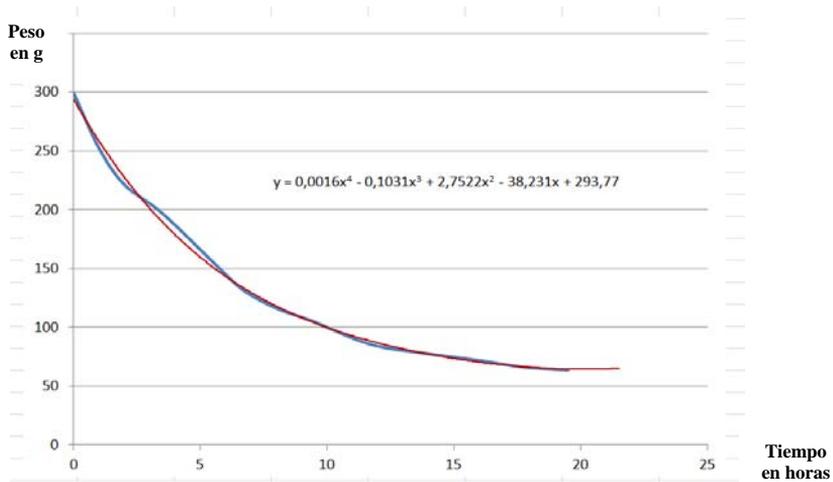


Figura 94. Gráfica de deshidratación de kiwi en junio de 2013 con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 4

peso inicial era de 299,1 gramos, que quedó reducido a 63,9 gramos al final del proceso. En ese momento había perdido el 78,64 % de la masa inicial. La figura 94 recoge la gráfica de la evolución del peso con el tiempo, incluyendo la línea de tendencia de tipo polinómico y grado 4.

Respecto a las gráficas anteriores se puede ver cómo no llega a ser asintótica en su parte final, lo que nos indica que podíamos haber continuado con el proceso de deshidratado durante algunas horas adicionales, para extraer más

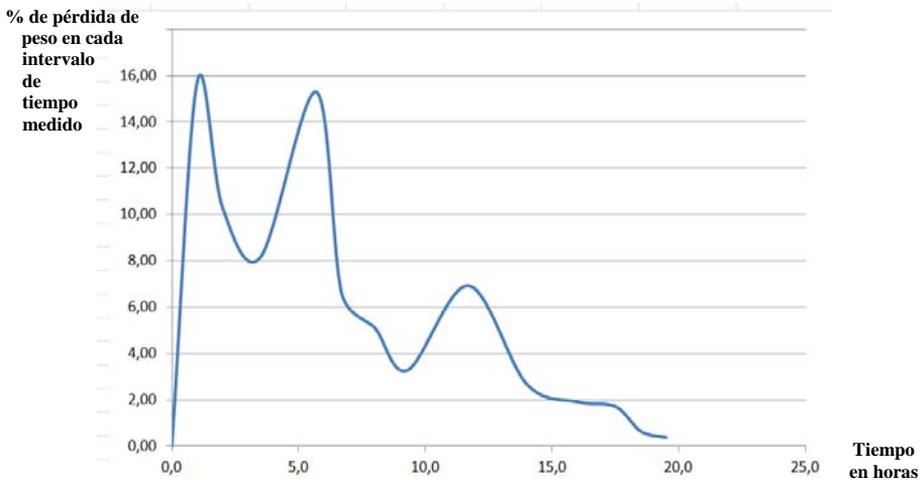


Figura 95. Deshidratación en junio de 2013 de kiwi, gráfica del porcentaje de pérdida de peso en cada intervalo de tiempo medido

agua libre del kiwi y dejarlo en una posición de mayor estabilidad. A pesar de ello mantuvimos la observación sobre las muestras deshidratadas durante seis semanas y el kiwi permaneció estable y con un sabor agradable en el paladar.

En la *figura 95* tenemos la gráfica del porcentaje de pérdida de peso en cada intervalo. De nuevo, y como era previsible, posee una forma similar a la que veíamos para la manzana y el pepino.

5.6. Deshidratación de tomate.

Continuamos con el tomate, otro de los alimentos sobre el que trabajamos en esta sesión de junio de 2013. Lo colocamos sobre una única bandeja, cortado en cuñas, para mantener la pulpa en el alimento, como se ve en la *figura 82*. La cantidad inicial es de 840,4 gramos, muy superior a la que cogimos del resto de productos. Al final del proceso teníamos 156,7 gramos y se había perdido un 81,35 % del peso inicial, tal como se ve en los datos de la *tabla 11*.

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	840,4	0,00	100,00	0,00
1,0	762,1	9,32	90,68	9,32
2,0	706,2	15,97	84,03	6,65
3,5	644,9	23,26	76,74	7,29
5,7	522,6	37,82	62,18	14,55
6,7	476,0	43,36	56,64	5,54
8,0	424,5	49,49	50,51	6,13
9,3	400,5	52,34	47,66	2,86
11,7	315,5	62,46	37,54	10,11
14,0	285,5	66,03	33,97	3,57
16,0	241,8	71,23	28,77	5,20
17,5	195,5	76,74	23,26	5,51
18,5	172,6	79,46	20,54	2,72
19,5	156,7	81,35	18,65	1,89

Tabla 11. Datos de la deshidratación de tomate en junio de 2013 porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento

Medidas realizadas

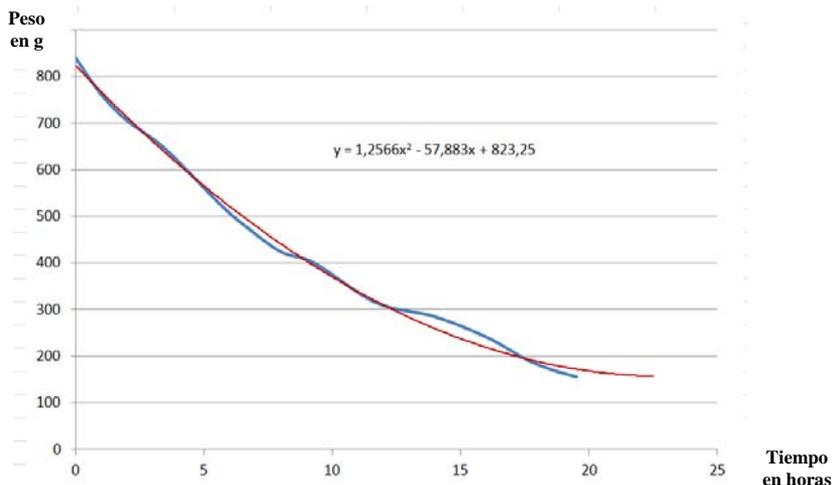


Figura 96. Gráfica de deshidratación de tomate en junio de 2013 con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 2

La figura 96 muestra la gráfica de la pérdida de peso, que no llega a ser asintótica respecto a la horizontal. Esto nos indica que el proceso de secado no se completó. Debido a ello la línea de tendencia escogida es polinómica de segundo grado. La de cuarto grado se ajustaba mejor, pero proporciona dos puntos adicionales de continuidad con un descenso del peso muy pronunciado, que no es real. La figura 97 muestra la gráfica de pérdida de peso porcentual, que tiene tendencias similares a las anteriores, aunque la pérdida de peso en el primer intervalo es notablemente inferior a las de la manzana, el kiwi y el pepino.

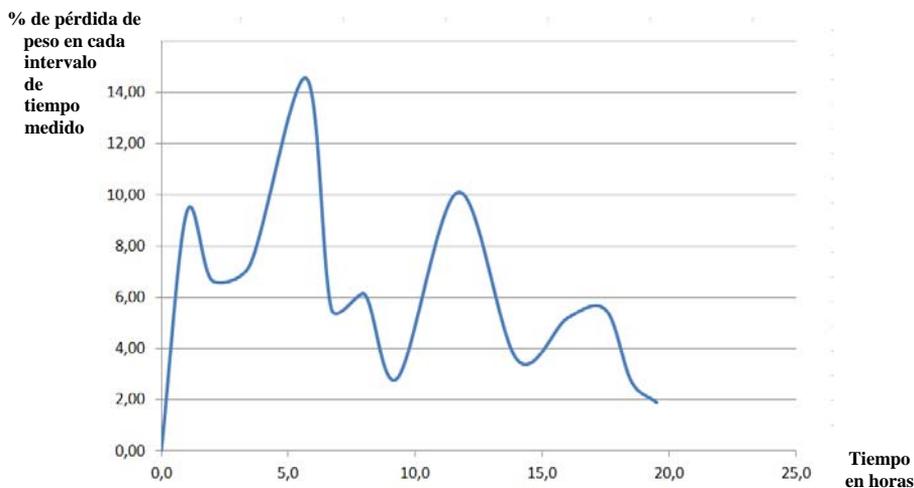


Figura 97. Deshidratación en junio de 2013 de tomate, gráfica del porcentaje de pérdida de peso en cada intervalo de tiempo medido

El proceso de secado de tomate no se llegó a completar, tal como nos dice la gráfica de la *figura 96*. Los últimos datos no llegan a ser asintóticos con la horizontal. Esto fue debido a que el tomate tiene un gran contenido en agua y lo mantuvimos con su piel, que dificulta la transferencia de la misma. También el hecho de cortarlo en cuñas hizo que fuese más difícil la transmisión desde la parte interna del tomate hacia el exterior, por lo que hubiera necesitado más horas de secado. En experiencias de secado posteriores se cortó transversalmente, lo que permitió reducir el tiempo de secado necesario.

5.7. Deshidratación de ciruela.

La siguiente fruta de la que vamos a ofrecer los datos es la ciruela. Debido al formato de la fruta, se troceó en láminas pequeñas, con un grosor variable de entre 2 y 4 mm, y se depositó en media bandeja, compartida con plátano. Los datos de peso medidos son los que tenemos en la *tabla 12*, mientras que la

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	99,7	0,00	100,00	0,00
1,0	80,3	19,46	80,54	19,46
2,0	63,3	36,51	63,49	17,05
3,5	52,7	47,14	52,86	10,63
5,7	32,8	67,10	32,90	19,96
6,7	23,6	76,33	23,67	9,23
8,0	18,7	81,24	18,76	4,91
9,3	16,2	83,75	16,25	2,51
11,7	13,4	86,56	13,44	2,81
14,0	11,7	88,26	11,74	1,71
16,0	11,1	88,87	11,13	0,60
17,5	10,7	89,27	10,73	0,40
18,5	10,7	89,27	10,73	0,00
19,5	10,7	89,27	10,73	0,00

Tabla 12. Datos de la deshidratación de ciruela en junio de 2013 porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento

Medidas realizadas

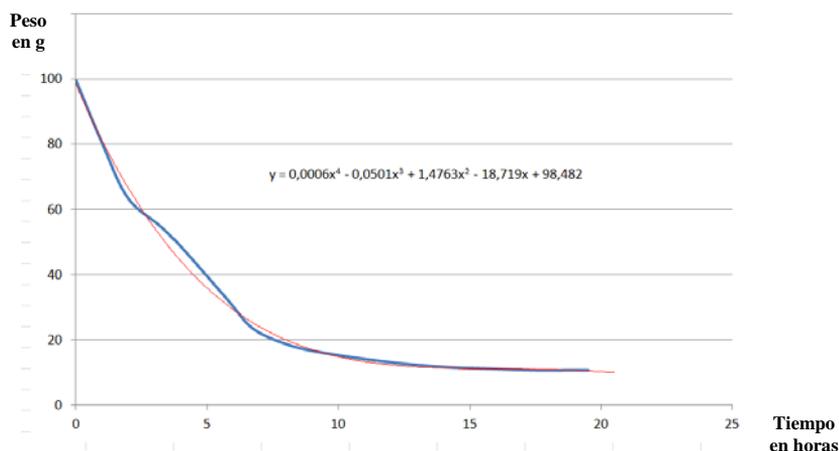


Figura 98. Gráfica de deshidratación de ciruela en junio de 2013 con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 4

gráfica se muestra en la figura 98. En ambas, tabla y gráfica, se puede ver que el secado fue total, dado que las tres últimas medidas son idénticas, es decir, una vez se ha extraído toda el agua del alimento el proceso de secado no continúa aunque sigamos teniéndolo más tiempo en el deshidratador. La línea de tendencia escogida es polinómica de cuarto grado, que se ajusta bien a la parte final, pero que indica en los dos puntos adicionales que aún podría disminuir el peso, aunque sabemos que no es cierto.

La figura 99 muestra la gráfica de pérdida de peso porcentual, que tiene tendencias similares a las anteriores, siguiendo las pautas que mantenían las de la

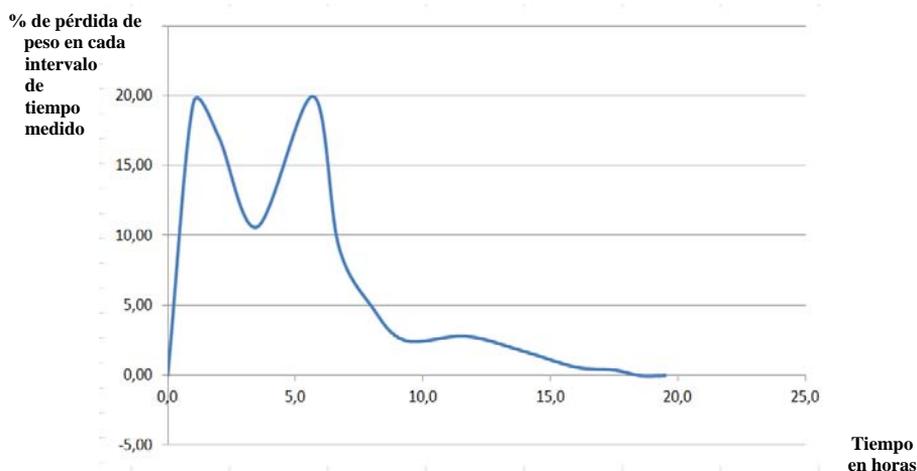


Figura 99. Deshidratación en junio de 2013 de ciruela, gráfica del porcentaje de pérdida de peso en cada intervalo de tiempo medido

manzana, el kiwi y el pepino y alejándose, como veíamos antes, de la que hemos visto para el tomate. En este sentido la forma vista para el tomate en la *figura 97*, nos indica que las variaciones climatológicas afectan más al resultado cuando estamos al comienzo o en medio del proceso de deshidratado, tal como se ve en la variación brusca que las curvas que todos los alimentos sufren al comienzo de la sesión. El tomate vuelve a sufrirlo al final del proceso, mientras que en la ciruela no se ve reflejado apenas. Cabe pensar que esto es debido al punto en el que el alimento se encuentra dentro de su proceso de secado, y a la cantidad de agua libre que todavía contiene.

5.8. Evolución del aspecto de los alimentos durante el secado.

En esta tanda de deshidratado se hizo el secado de plátano. Se cortó longitudinalmente en láminas de entre 2 y 4 mm y se colocó ocupando media bandeja junto a la ciruela, tal como se ve en las fotografías de la *figura 100*. Sin embargo, la toma de datos no se hizo correctamente, por lo que no se pueden ofrecer aquí sus tablas y gráficas.

Sí disponemos de las fotografías del proceso de secado. En las que se muestran en la *figura 100* se puede ver el aspecto de la bandeja que contiene el plátano y la ciruela al comienzo y al final del proceso. El plátano, de color amarillo al comienzo, se oscureció y perdió buena parte de su tamaño. Lo mismo ocurrió con la ciruela, incluso de forma más acusada. Se quedó reducida a



Figura 100. Bandeja con plátano y ciruela, al comienzo y al final del secado



Figura 101. Bandeja con pepino y kiwi, al comienzo y al final del secado

un tamaño mínimo y también sufrió cambios en su color, oscureciéndose de forma apreciable a la vista.

En la *figura 101* tenemos la bandeja que contenía el pepino y el kiwi, también al comienzo y al final del proceso. La disminución del tamaño de las muestras se observa a simple vista, sobre todo en el pepino. También los cambios de color son visibles. El pepino cambia su color claro, casi blanco hacia un color pardo oscuro, con el borde blanquecino. El kiwi cambia su color verde inicial a un verde muy oscuro e incluso su parte central blanquecina también se oscurece.

En la *figura 102* de la página siguiente tenemos la bandeja de la manzana. De nuevo podemos observar la disminución del tamaño de las muestras y el ligero oscurecimiento de las mismas. Cabe resaltar que no han sufrido el proceso de oxidación habitual en la manzana cuando se corta y se deja expuesta al aire, que se hubiese traducido en un tono marrón oscuro mucho más acusado. La rápida pérdida inicial del agua superficial y en las primeras capas internas de la manzana propicia que mantenga bien el color.

En la *figura 103*, también en la página siguiente, tenemos la bandeja con el tomate. Aunque el proceso de secado no concluyó satisfactoriamente, tal como hemos podido ver en los datos y en su curva, se aprecia con claridad la disminución de tamaño en las muestras. También el color se puede observar que es



Figura 102. Bandeja con manzana, al comienzo y al final del secado

un poco más oscuro al final. En otros procesos de deshidratación de tomate, que sí se han completado correctamente, pudimos observar un cambio mucho más acusado en el color.



Figura 103. Bandeja con tomate, al comienzo y al final del secado

En las *figuras 104, 105, 106, 107, 108 y 109* se ofrecen seis imágenes por alimento, con una vista más en detalle de la evolución del proceso de secado de los alimentos estudiados. El proceso comienza por la primera imagen de arriba a la izquierda, siguiendo por la que tiene a su derecha y bajando sucesivamente hasta la última de abajo a la derecha.

En la *figura 104* se ofrece la evolución del proceso de secado de la manzana. Al comienzo del proceso se puede apreciar como posee el color amarillo claro y las láminas mantienen su corte recto. Cuando va avanzando el proceso la manzana se oscurece un poco y muchos fragmentos comienzan a adquirir formas retorcidas en su parte exterior. Esto es debido a que la velocidad de secado no se produce de forma completamente uniforme y produce tensiones en la estructura de la manzana, creando las formas que se pueden ver en las fotografías.

En la *figura 105* vemos las imágenes de la evolución del proceso de secado del pepino. Como se ha apuntado con anterioridad, al comienzo del proceso posee un color muy claro, que se va oscureciendo a medida que avanza el secado. En la fotografía final se puede apreciar que ha perdido buena parte de su tamaño y que las secciones del pepino han adoptado formas muy retorcidas.

En la *figura 106* tenemos la evolución más detallada del kiwi. Sigue pautas similares a las citadas en lo que se refiere al color, oscureciéndose de forma acusada. Las muestras mantienen bien su forma original, aunque reduciendo su tamaño.

La evolución del tomate se puede ver en la *figura 107*. Se aprecia en las primeras fotografías que el alimento posee un alto contenido en agua, que no se ha eliminado completamente al final del proceso, tal como se observa en la última fotografía y habíamos comentado anteriormente sobre los datos y gráficas del proceso.

Justo lo contrario ocurre con la ciruela, cuya evolución en el proceso de secado se ve en la *figura 108*. Los cambios de tamaño y color son visibles en las fotografías y quedan más evidenciados cuando se mira la primera y la última. Para poder ver mejor los fragmentos ha habido que aumentar el tamaño de la fotografía, tal como se puede apreciar en el tamaño de la malla de la bandeja, que se ve más grande que en las fotografías de la misma página.

Finalmente tenemos las fotografías de la evolución del plátano en la *figura 109*, en la que de nuevo observamos con más detalle el proceso de cambio de color en las muestras. Como en los casos anteriores se va oscureciendo y el tamaño del alimento disminuye, cuestión que de nuevo podemos apreciar por cómo se visualiza la rejilla de la bandeja, al haber aumentado el tamaño de la fotografía para que se observe mejor el alimento.



Figura 104. Evolución del aspecto de la manzana desde el comienzo hasta el final del proceso de secado

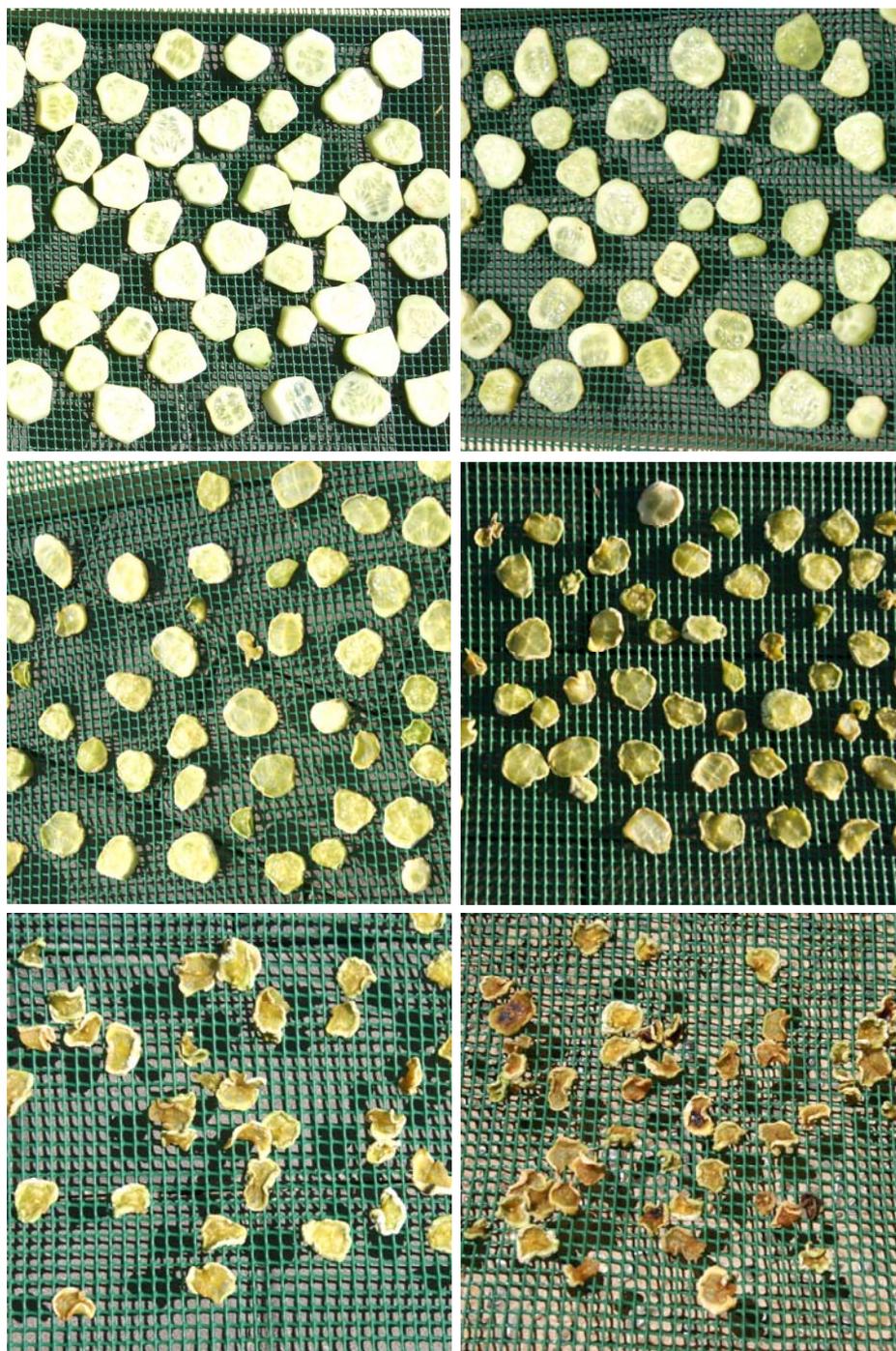


Figura 105. Evolución del aspecto del pepino desde el comienzo hasta el final del proceso de secado



Figura 106. Evolución del aspecto del kiwi desde el comienzo hasta el final del proceso de secado



Figura 107. Evolución del aspecto del tomate desde el comienzo hasta el final del proceso de secado

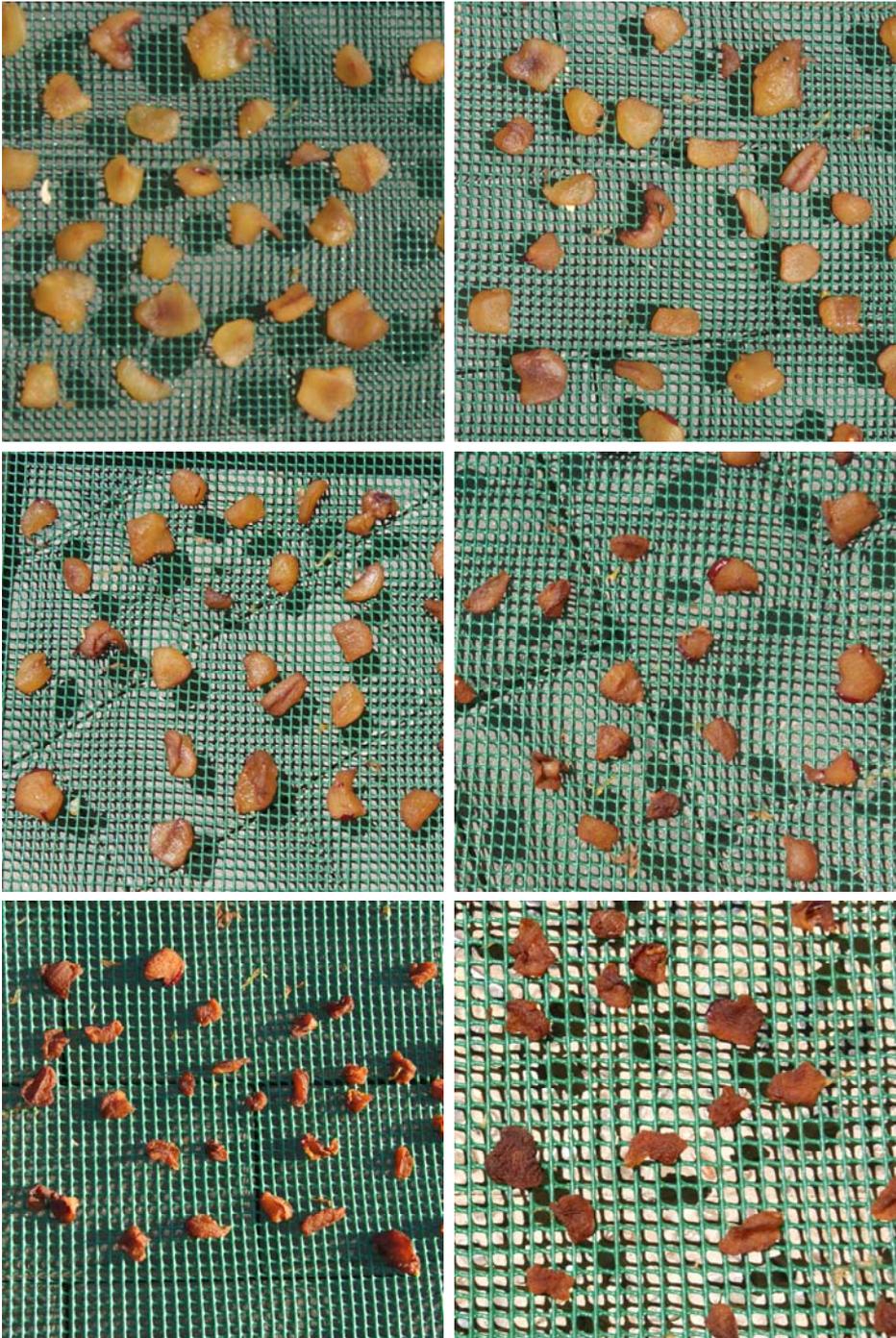


Figura 108. Evolución del aspecto de la ciruela desde el comienzo hasta el final del proceso de secado

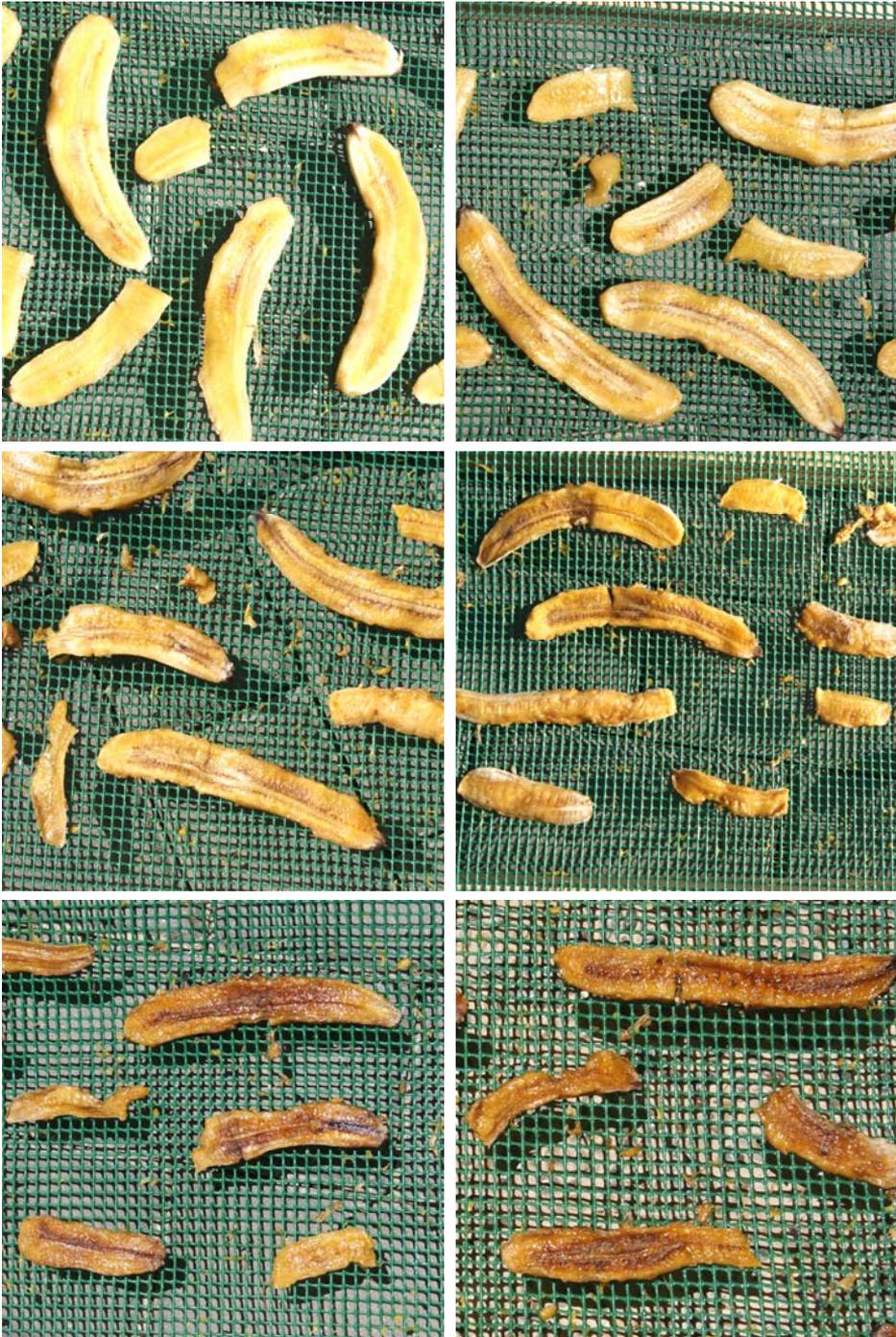


Figura 109. Evolución del aspecto del plátano desde el comienzo hasta el final del proceso de secado

5.9. Proceso de secado de tomate en julio de 2013.

Durante el año 2013 se realizaron numerosas sesiones de deshidratación, para comprobar el funcionamiento del equipo y obtener los datos de disminución de peso respecto al tiempo en frutas y hortalizas. Como se ha comentado en el apartado 3.8 el mes de julio tiene unas condiciones de radiación cercanas a las que se producen en Burkina Faso, por lo que vamos a presentar a continuación un grupo de resultados medidos a comienzos de dicho mes.

Volvemos a comentar que cada experimento de deshidratación es único y diferente a todos los demás, ya que la climatología de un día de trabajo no se repite en cualquier otro. Tampoco lo son las condiciones de trabajo del equipo, puesto que, además de la temperatura, hay numerosas variables que afectan al resultado, como las velocidades de viento y su dirección o la humedad ambiente. Incluso influye la intervención de las personas que se acercan a ver el funcionamiento del deshidratador, que a veces hemos comprobado que se disponen rodeándolo y haciendo sombra sobre él.

En la *tabla 13* tenemos los datos del tomate, que llegó a una pérdida de peso del 85,0 %, mayor que la que teníamos en el proceso recogido en la *tabla 11*,

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	581,2	0,00	100,00	0,00
2,0	479,0	17,58	82,42	17,58
4,0	408,6	29,70	70,30	12,11
6,0	331,8	42,91	57,09	13,21
7,5	272,3	53,15	46,85	10,24
9,0	242,3	58,31	41,69	5,16
11,0	205,0	64,73	35,27	6,42
13,0	168,6	70,99	29,01	6,26
15,0	133,3	77,06	22,94	6,07
17,0	102,3	82,40	17,60	5,33
19,0	87,2	85,00	15,00	2,60

Tabla 13. Datos de la deshidratación de tomate en julio de 2013, porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento

Medidas realizadas

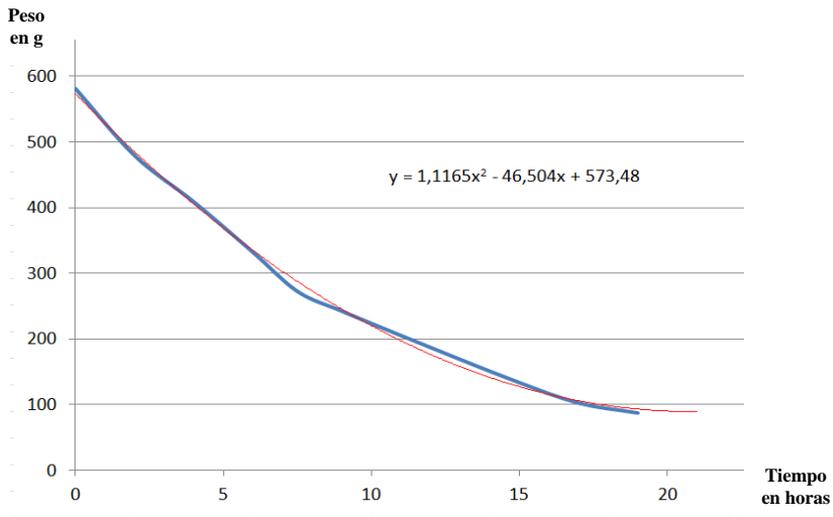


Figura 110. Gráfica de deshidratación de tomate en julio de 2013 con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 2

que se había quedado en un 81,35 % en 19,5 horas, frente a las 19 horas utilizadas en este proceso de julio. En la gráfica de la *figura 110* tenemos la curva de pérdida de peso respecto al tiempo de secado. La línea de tendencia que incluimos es polinómica y de grado 2. Mantiene un buen ajuste respecto a la gráfica real, aunque era mejor con las de grado 4 y 5, pero en estos casos los dos puntos adicionales de continuidad que les pedíamos se alejaban de lo que realmente debía ocurrir, tal como ya comentábamos en el apartado 5.6 y la *figura 96*.

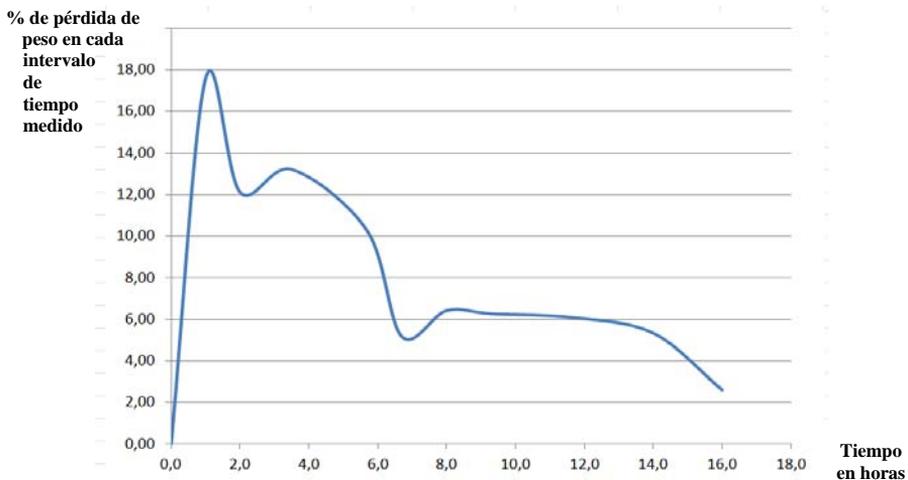


Figura 111. Deshidratación en julio de 2013 de tomate, gráfica del porcentaje de pérdida de peso respecto al tiempo

El tomate se cortó en cuñas y para esta ocasión se utilizó menos cantidad que en el proceso de secado descrito en el apartado 5.6, puesto que se colocó en una bandeja compartida con el pimiento. Aunque el tiempo de secado fue media hora menor que allí y la pérdida porcentual de peso fue mayor, no tiene que ver con esta cantidad de peso inferior de producto utilizada, sino con las mejores condiciones climatológicas que se tuvieron. Se puede apreciar en la gráfica de pérdida de peso porcentual de la *figura 111* que no hubo cambios tan bruscos como los que se ven en su equivalente de la *figura 97* del apartado 5.6.

La curva de pérdida de peso no llegó a estabilizarse, tal como se ve en la *tabla 13* y podemos observar también en la gráfica de la *figura 111*, aunque el tomate se mantuvo estable y sin signos externos de deterioro durante las siete semanas posteriores a su secado.

5.10. Proceso de secado de pimiento rojo en julio de 2013.

Compartiendo bandeja con el tomate colocamos pimiento rojo, con un peso inicial de 257,7 gramos. Se cortó en tiras longitudinales del largo del pimiento y de entre 1,5 y 2 cm de ancho, manteniendo su piel. Se llegó a una pérdida de peso del 83,47 % respecto al peso inicial, tal como se ve en la *tabla 14*.

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	257,7	0,00	100,00	0,00
2,0	211,0	18,12	81,88	18,12
4,0	176,8	31,39	68,61	13,27
6,0	138,6	46,22	53,78	14,82
7,5	108,5	57,90	42,10	11,68
9,0	96,1	62,71	37,29	4,81
11,0	79,4	69,19	30,81	6,48
13,0	70,0	72,84	27,16	3,65
15,0	56,7	78,00	22,00	5,16
17,0	47,8	81,45	18,55	3,45
19,0	42,6	83,47	16,53	2,02

Tabla 14. Datos de la deshidratación de pimiento rojo en julio de 2013, porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento

Medidas realizadas

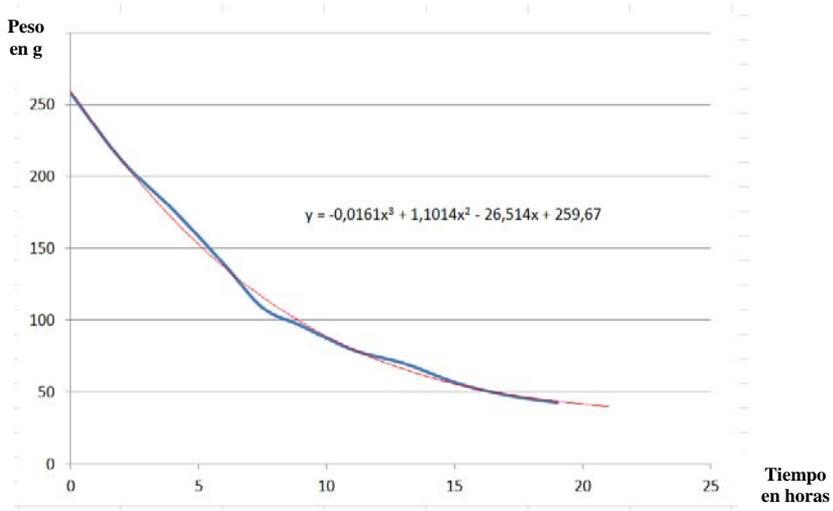


Figura 112. Gráfica de deshidratación de pimiento rojo en julio de 2013 con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 3

Su gráfica de pérdida de peso respecto al tiempo transcurrido se muestra en la *figura 112*, en la que se puede ver que no se llegó a conseguir una parte final asintótica respecto a la horizontal. La línea de tendencia que hemos ajustado es polinómica de grado 3, de nuevo teniendo en cuenta la continuidad cuando se pide la previsión para dos puntos posteriores, en los que nos indica que seguiría bajando el peso del pimiento. La gráfica de pérdida de peso porcentual se puede ver en la *figura 113*, que sigue pautas similares a la del tomate.

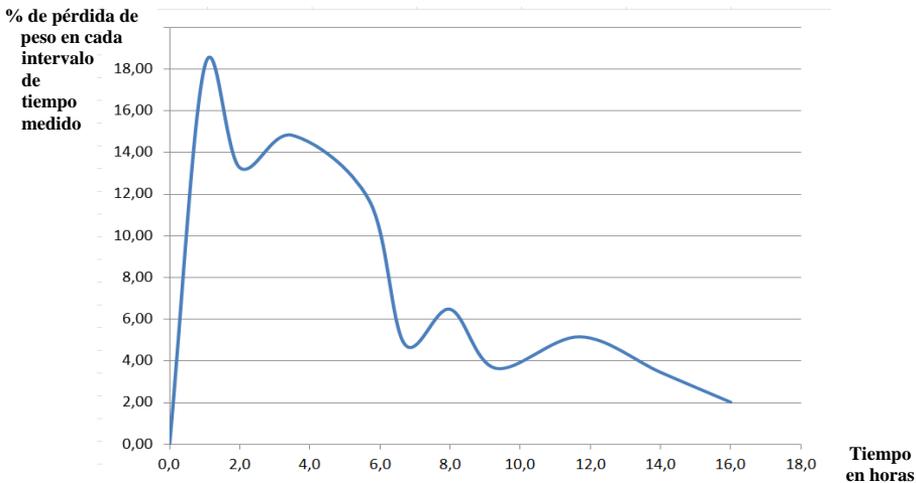


Figura 113. Deshidratación en julio de 2013 de pimiento rojo, gráfica del porcentaje de pérdida de peso respecto al tiempo



Figura 114. Efecto de plegado del pimiento rojo al ir secándose

A medida que se secaban las tiras de pimiento se fueron cerrando sobre sí mismas, tal como se ve en la *figura 114*. Es debido a la diferencia en la velocidad de secado de la piel y de la parte carnosa del pimiento y dificulta la extracción del agua que contiene. El efecto se puede corregir haciendo cortes en la piel de cada una de las tiras de pimiento o cortándolo transversalmente.

5.11. Proceso de secado de calabacín en julio de 2013.

El calabacín se cortó de forma transversal en rodajas de entre 2 y 4 mm, que se dispusieron ocupando la mitad de una bandeja compartida con cebolla. El peso inicial fue de 263 gramos, que quedaron reducidos a 14,2 gramos, tal como se puede ver en la *tabla 15*.

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	263,0	0,00	100,00	0,00
2,0	189,0	28,14	71,86	28,14
4,0	139,4	47,00	53,00	18,86
6,0	93,4	64,49	35,51	17,49
7,5	56,8	78,40	21,60	13,92
9,0	43,4	83,50	16,50	5,10
11,0	25,5	90,30	9,70	6,81
13,0	19,1	92,74	7,26	2,43
15,0	15,0	94,30	5,70	1,56
17,0	14,4	94,52	5,48	0,23
19,0	14,2	94,60	5,40	0,08

Tabla 15. Datos de la deshidratación de calabacín en julio de 2013, porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento

Medidas realizadas

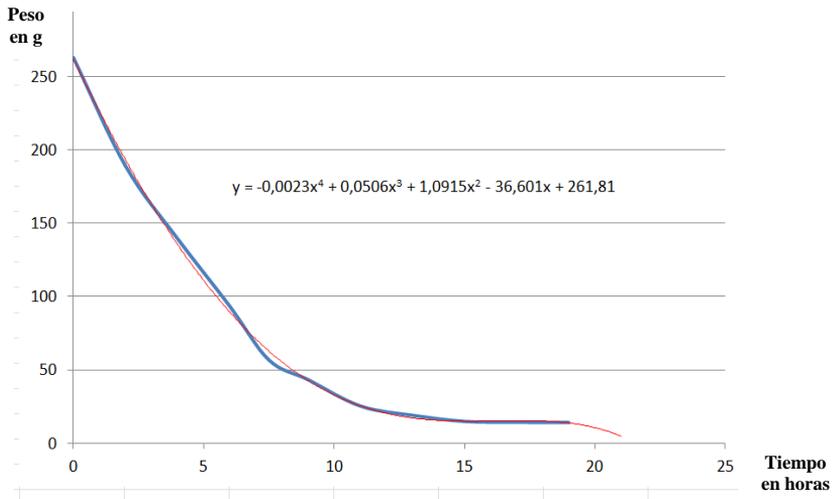


Figura 115. Gráfica de deshidratación de calabacín en julio de 2013 con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 4

En la gráfica de la *figura 115* tenemos la evolución del peso con el tiempo. Se observa que se ajusta bien a una ecuación polinómica de cuarto grado, que era la que mejor previsión proponía para dos puntos de continuidad, aunque marca una línea descendente acusada que no se ajusta a la realidad. En la gráfica de la *figura 116* tenemos la curva de pérdida de peso porcentual respecto al peso inicial y con respecto al tiempo, que sigue pautas similares a las del tomate y el pimiento.

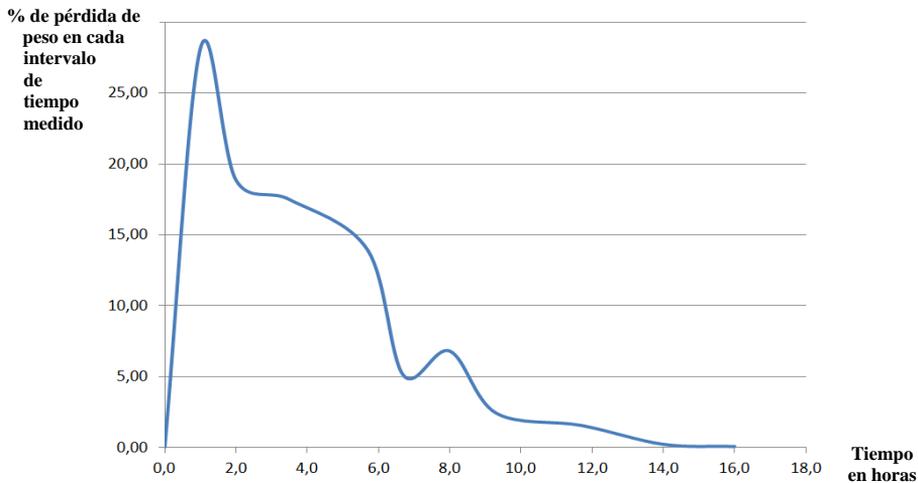


Figura 116. Deshidratación en julio de 2013 de calabacín, gráfica del porcentaje de pérdida de peso respecto al tiempo

El calabacín llega a perder el 94,6 % de su peso inicial, lo que nos indica que casi todo su contenido es agua que está libre en el alimento. Al final del proceso de deshidratación, su curva estaba acercándose a una línea asintótica horizontal, lo que nos indica que no iba a perder mucho más peso y que su proceso de secado estaba prácticamente completo. Se mantuvo estable y sin signos externos de deterioro, como el tomate y el pimiento, durante las siete semanas posteriores a su secado.

5.12. Proceso de secado de cebolla en julio de 2013.

En julio de 2013 hicimos la primera experiencia de deshidratación de cebolla, un alimento que como el tomate, el calabacín o el pimiento es común en todos los países del mundo, incluida Burkina Faso. La dispusimos en media bandeja, compartida con el calabacín. El corte de la cebolla se realizó transversalmente, como en los casos anteriores a mano y con cuchillo, dejando un grosor de entre 3 y 5 mm en forma de aros concéntricos que se fueron desajustando ligeramente a medida que avanzaba el proceso de secado.

Tal como se puede ver en la *tabla 16*, partimos de un peso inicial de 436,4 gramos, que quedaron reducidos a 114,6 gramos, el 73,74 % de su masa inicial,

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	436,4	0,00	100,00	0,00
2,0	390,0	10,63	89,37	10,63
4,0	346,2	20,67	79,33	10,04
6,0	295,9	32,20	67,80	11,53
7,5	253,2	41,98	58,02	9,78
9,0	229,7	47,36	52,64	5,38
11,0	191,4	56,14	43,86	8,78
13,0	163,2	62,60	37,40	6,46
15,0	144,3	66,93	33,07	4,33
17,0	122,3	71,98	28,02	5,04
19,0	114,6	73,74	26,26	1,76

Tabla 16. Datos de la deshidratación de cebolla en julio de 2013, porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento

Medidas realizadas

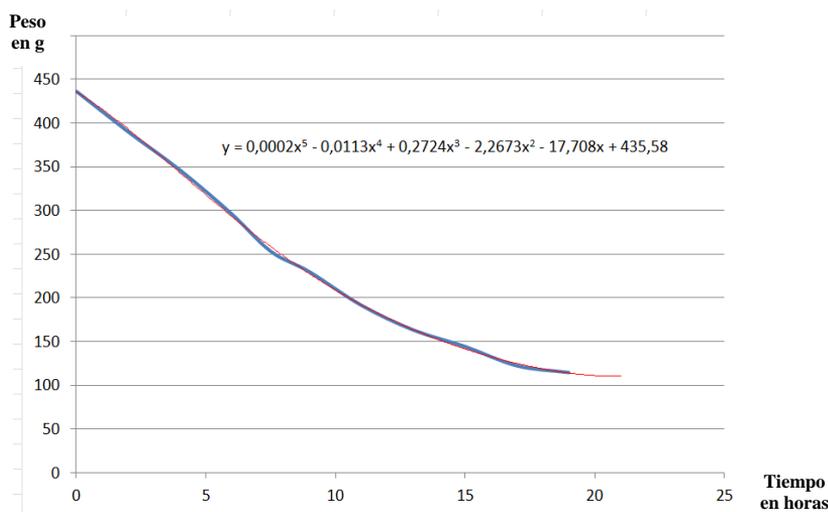


Figura 117. Gráfica de deshidratación de cebolla en julio de 2013 con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 5

un valor reducido si lo comparamos con la pérdida de peso que han presentado la mayor parte de los alimentos tratados.

En la gráfica de la *figura 117* tenemos la evolución de la pérdida de peso con el tiempo. Hemos tenido que usar una ecuación polinómica de grado 5 para conseguir el mejor ajuste, que nos proporciona además dos puntos de continuidad que sí son consecuentes con la posible evolución del secado del alimento, siguiendo un proceso asintótico. En la *figura 118* tenemos la gráfica que recoge

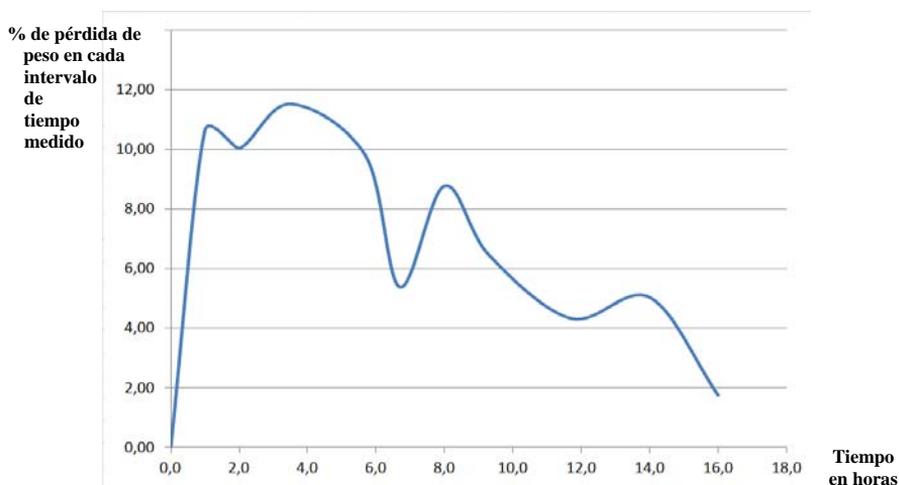


Figura 118. Deshidratación en julio de 2013 de cebolla, gráfica del porcentaje de pérdida de peso respecto al tiempo

la evolución del valor porcentual de la pérdida de peso respecto al peso inicial que, como era previsible, sigue un camino similar a las vistas anteriormente, dado que fundamentalmente depende de cómo ha sido la meteorología en el periodo de tiempo en que se ha realizado la deshidratación de los alimentos.

5.13. Proceso de secado de nectarina en julio de 2013.

También fue en esta sesión de deshidratación cuando por primera vez afrontamos el secado de nectarina. No tenemos conocimiento de que sea un alimento común en Burkina Faso, pero en nuestra búsqueda de ir recorriendo todo tipo de frutas y hortalizas llegamos hasta ella.

La cortamos con cuchillo en rodajas de un grosor entre 2 y 4 mm y dispusimos las rodajas ocupando una bandeja completa. Como se puede ver en los datos de la *tabla 17* comenzamos con un peso de 423,5 gramos, que acabó en 67,2 gramos, habiendo perdido un 84,13 % del peso inicial.

La bandeja permitía poner más rodajas de fruta, pero nos quedamos un poco cortos en la cantidad de nectarinas compradas, dada la cantidad de alimento que se pierde en el proceso de cortado, puesto que no resultaba fácil hacer láminas de tamaño suficientemente grande como para que al avanzar el proceso

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	423,5	0,00	100,00	0,00
2,0	347,0	18,06	81,94	18,06
4,0	256,8	39,36	60,64	21,30
6,0	194,9	53,98	46,02	14,62
7,5	143,4	66,14	33,86	12,16
9,0	121,3	71,36	28,64	5,22
11,0	94,4	77,71	22,29	6,35
13,0	82,3	80,57	19,43	2,86
15,0	73,8	82,57	17,43	2,01
17,0	69,0	83,71	16,29	1,13
19,0	67,2	84,13	15,87	0,43

Tabla 17. Datos de la deshidratación de nectarina en julio de 2013, porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento

————— Medidas realizadas —————

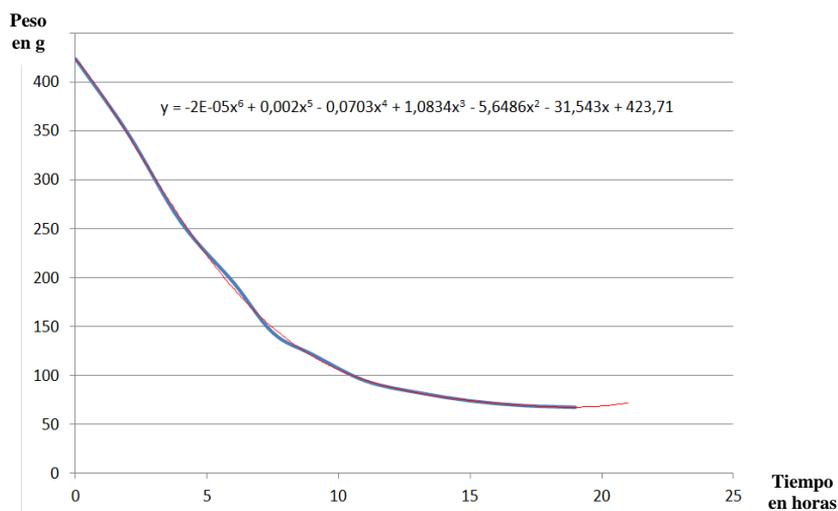


Figura 119. Gráfica de deshidratación de nectarina en julio de 2013 con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 6

de secado no quedase demasiado reducido su tamaño, como hemos visto en el apartado 5.8 con la ciruela. En la gráfica de la *figura 119* tenemos la evolución de la pérdida de peso con el tiempo, que hemos ajustado a una ecuación polinómica de sexto grado, dado que es la que nos proporcionaba los dos puntos de evolución posterior más ajustados, aunque ascendentes, cuestión como sabemos imposible. Las de grados 5, 4, 3 y 2 nos proporcionaban peores previsiones. En la *figura 120* tenemos la gráfica de evolución del valor porcentual de la

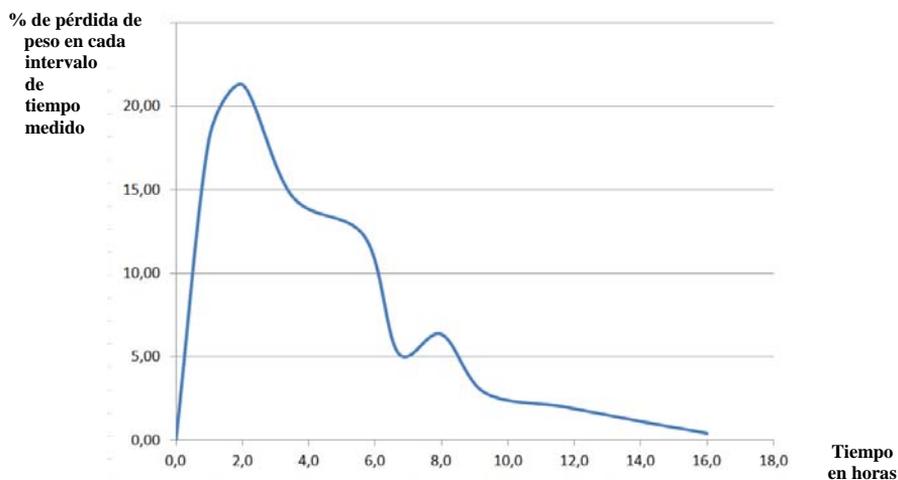


Figura 120. Deshidratación en julio de 2013 de nectarina, gráfica del porcentaje de pérdida de peso respecto al tiempo

perdida de peso respecto al peso inicial que, como viene siendo habitual, tiene una forma similar a las anteriores.

Observando los dos últimos datos de pérdida de peso, y también la gráfica, comprobamos que la nectarina estaba en una situación cercana a haber perdido toda la masa de agua libre que tenía en su interior, puesto que en la penúltima pesada solo había disminuido un 1,13 % su peso respecto al inicial y en la última toma de datos había pasado a perder solo un 0,43 %.

5.14. Proceso de secado de albaricoque en julio de 2013.

En esta tanda de deshidratación también trabajamos por primera vez con albaricoque. Su pequeño tamaño hizo que decidiéramos cortarlo en cuñas, extraídas alrededor del hueso con un grosor de entre 4 y 6 mm. El corte se hizo con cuchillo y mantuvimos la piel de la fruta, aún sabiendo que podría dificultar la extracción del agua y causar alteraciones en la forma del alimento seco. Se dispuso en media bandeja, compartida con cereza.

En la *tabla 18* se puede ver cómo partimos de un peso inicial de 370,1 gramos que quedaron reducidos a 69,3 gramos, habiendo perdido un 81,28 % del peso del que partíamos.

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	370,1	0,00	100,00	0,00
2,0	310,0	16,24	83,76	16,24
4,0	250,6	32,29	67,71	16,05
6,0	201,6	45,53	54,47	13,24
7,5	154,8	58,17	41,83	12,65
9,0	138,3	62,63	37,37	4,46
11,0	114,5	69,06	30,94	6,43
13,0	91,8	75,20	24,80	6,13
15,0	84,6	77,14	22,86	1,95
17,0	74,9	79,76	20,24	2,62
19,0	69,3	81,28	18,72	1,51

Tabla 18. Datos de la deshidratación de albaricoque en julio de 2013, porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento

Medidas realizadas

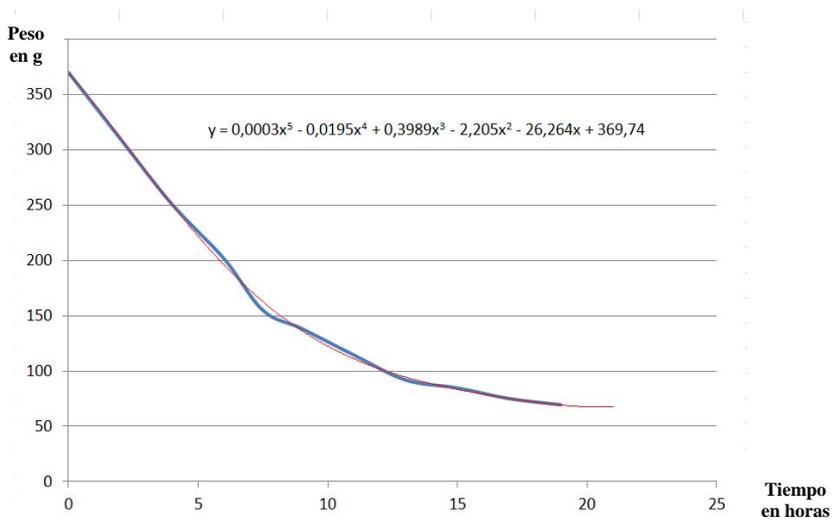


Figura 121. Gráfica de deshidratación de albaricoque en julio de 2013 con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 5

En la figura 121 tenemos la gráfica de pérdida de peso respecto al tiempo, con su correspondiente línea de ajuste, que en este caso es una función polinómica de quinto grado, para conseguir, como en ocasiones anteriores, que los puntos de continuidad que le pedimos mantengan la mejor coherencia con lo que cabe esperar en el deshidratado de la fruta. En la figura 122 tenemos la gráfica de pérdida porcentual de peso respecto al peso inicial, que mantiene una forma similar a las tratadas en los alimentos secados en esta sesión.

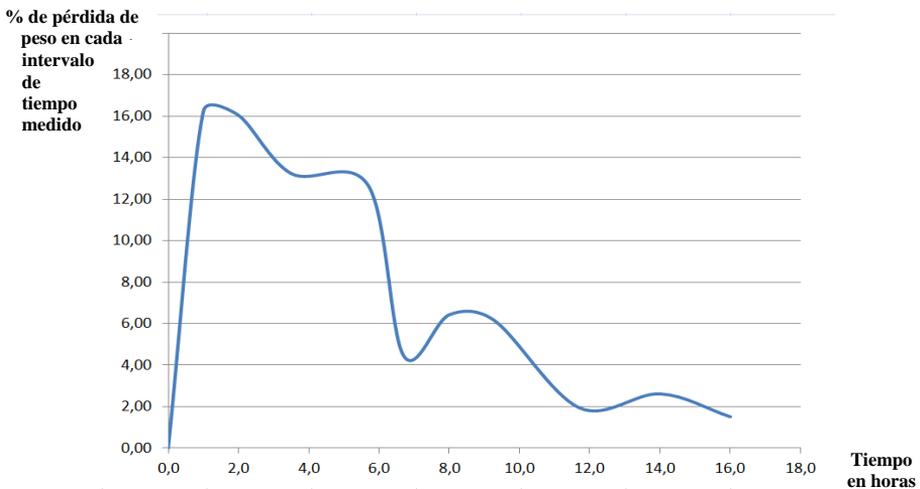


Figura 122. Deshidratación en julio de 2013 de albaricoque, gráfica del porcentaje de pérdida de peso respecto al tiempo

La *tabla 18* y la gráfica de pérdida de peso muestran que no se llegó a conseguir esa estabilidad final en las últimas mediciones, aunque las dos últimas medidas solo perdieron un 2,62 % y un 1,51 % del peso inicial, indicando que estábamos acercándonos a haber extraído del albaricoque toda el agua libre que contenía. Esto se reflejó en que el alimento ya seco se mantuvo estable en las siete semanas posteriores a la que tuvo lugar el proceso.

5.15. Proceso de secado de cereza en julio de 2013.

La última fruta sobre la que trabajamos en esta sesión fue la cereza, de nuevo para conseguir tener datos de una fruta que todavía no habíamos deshidratado. Por su forma y tamaño no podíamos disponerla en láminas, como se ha hecho con otros alimentos, por lo que decidimos cortarla por la mitad y extraer su hueso. Dejamos así cada cereza dispuesta en dos partes y con piel, y la pusimos directamente en media bandeja, compartida con el albaricoque.

En la *tabla 19* podemos ver cómo el peso inicial era de 257,7 gramos, que quedaron reducidos a 42,6 gramos, habiendo perdido la cereza un 83,47 % de su peso inicial, una cantidad similar a la que fuimos obteniendo para el resto de alimentos tratados en esta sesión.

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	257,7	0,00	100,00	0,00
2,0	211,0	18,12	81,88	18,12
4,0	176,8	31,39	68,61	13,27
6,0	138,6	46,22	53,78	14,82
7,5	108,5	57,90	42,10	11,68
9,0	96,1	62,71	37,29	4,81
11,0	79,4	69,19	30,81	6,48
13,0	70,0	72,84	27,16	3,65
15,0	56,7	78,00	22,00	5,16
17,0	47,8	81,45	18,55	3,45
19,0	42,6	83,47	16,53	2,02

Tabla 19. Datos de la deshidratación de cereza en julio de 2013, porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento

Medidas realizadas

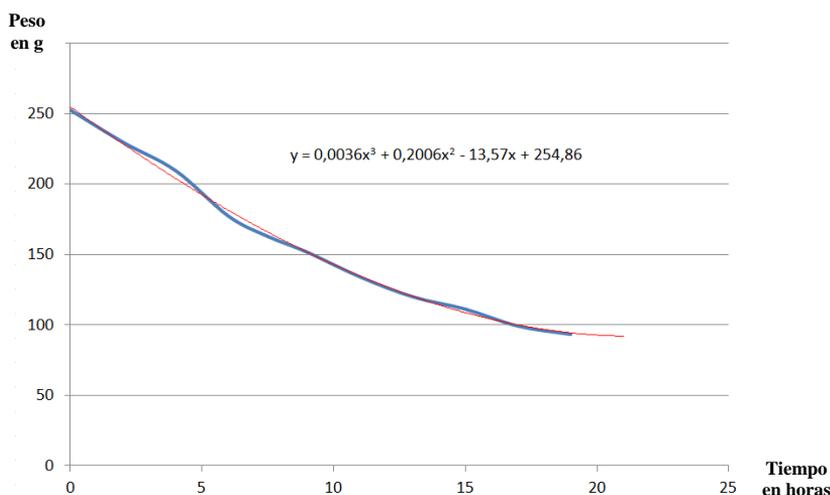


Figura 123. Gráfica de deshidratación de cereza en julio de 2013 con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 3

En la gráfica de la figura 123 tenemos la curva de pérdida de peso respecto al tiempo y la curva a la que la hemos ajustado, en este caso a partir de una función polinómica de tercer grado, buscando que los puntos de continuidad que le pedimos tengan coherencia con el proceso de deshidratación. La de grado 2 también se ajustaba bien y daba previsiones aceptables, las de grado 4, 5 y 6 daban previsiones que no se ajustan a la realidad. En la gráfica de la figura 124

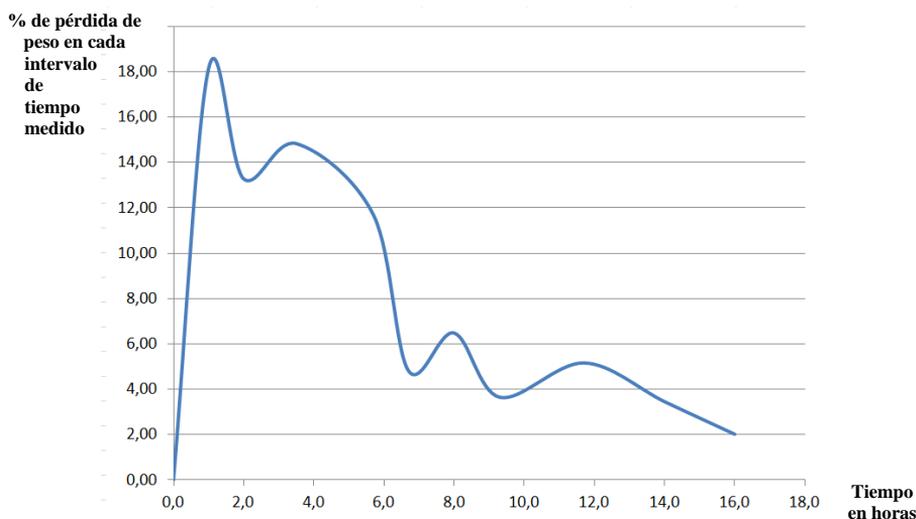


Figura 124. Deshidratación en julio de 2013 de cereza, gráfica del porcentaje de pérdida de peso respecto al tiempo

tenemos la pérdida porcentual de peso respecto al peso inicial, que en su último punto nos da un valor alto del 2,2 %, indicando que todavía podíamos haber llegado a extraer más agua libre contenida en la cereza.

A pesar de ello también se mantuvo estable, sin signos de deterioro externos y en buen estado para su consumo en las siete semanas posteriores a su deshidratado. Este hecho lo puedo afirmar puesto que estos alimentos deshidratados a comienzos de julio de 2013 los llevé a mi casa al terminar el mes, para comprobar día a día cómo se producía su evolución, y los fui consumiendo durante el mes de agosto. No utilicé ningún proceso adicional de conservación que tenerlos en un plato cubierto con film transparente del que se utiliza para proteger alimentos en las cocinas de nuestras casas.

5.16. Aspecto de los alimentos al final del secado.

Hemos podido ver en el apartado 5.8 la evolución del aspecto de las frutas y hortalizas a medida que avanzaba el proceso de deshidratación. De los alimentos que hemos tratado en los puntos precedentes sólo disponemos de su aspecto al terminar el proceso de deshidratación, que vamos a revisar a continuación.

En la *figura 125* tenemos la bandeja que contenía el tomate y el pimiento rojo y la bandeja que contenía la cebolla y el calabacín. En los cuatro alimentos se aprecia que ya no ocupan la mitad de la bandeja que tenían asignada cuando



Figura 125. Bandejas con tomate, pimiento, calabacín y cebolla al final del secado



Figura 126. Tomate al final del proceso de secado

comenzó el proceso, puesto que su tamaño se ha reducido de forma importante, de forma más acusada en el calabacín y menos en el tomate.

El tomate se cortó en cuñas y alcanzó la estabilidad aunque podría haberse seguido secando más. En la *figura 126* se pueden ver a mayor tamaño algunas de las cuñas de tomate. Han perdido parte de la pulpa que queríamos preservar y que ha quedado depositada en la rejilla de la bandeja.

El tomate conserva el color rojo intenso, pero en algunas partes ha adquirido un color negro, tal como se puede ver en las fotografías de la *figura 127*. Aunque no tenemos la seguridad de por qué ocurrió este cambio de color, podría deberse a las altas temperaturas de mediodía. En cualquier caso no afectaba de

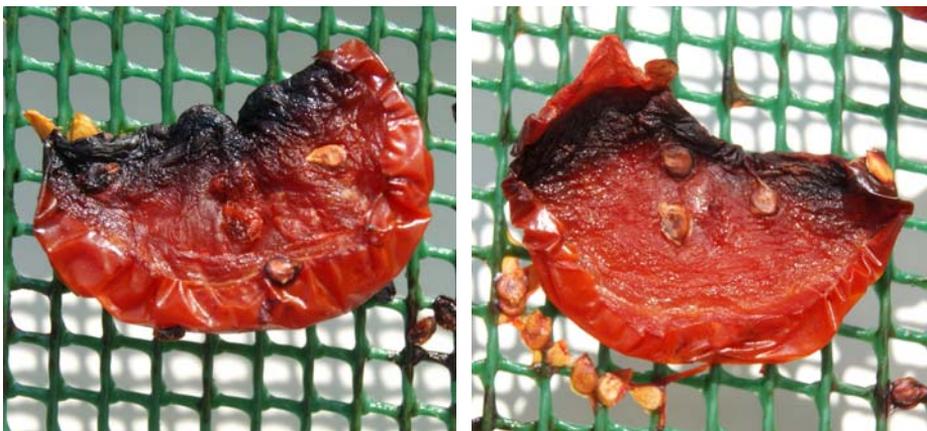


Figura 127. Cuñas de tomate al final del proceso de secado



Figura 128. Pimiento rojo al final del proceso de secado

forma apreciable al sabor del tomate, que mantenía en el paladar una sensación agradable e intensa, ni a su conservación puesto que permaneció estable en las semanas siguientes.

El pimiento rojo oscureció su color y en algunos puntos presentaba zonas ennegrecidas. Los podemos ver en la *figura 128* y con más detalle en los dos fragmentos ampliados de la *figura 129*. Las tiras se fueron cerrando sobre si mismas a medida que avanzaba el proceso de secado, ralentizándolo. Al abrirlas un poco, como en la de la parte inferior de la *figura 129* se observa que mantienen un color rojo intenso. En el paladar poseía un sabor intenso y se mantuvo estable aunque podía haberse secado más.



Figura 129. Fragmentos de pimiento rojo al final del proceso de secado



Figura 130. Calabacín al final del proceso de secado

Con el calabacín encontramos una situación similar a las descritas para el tomate y el pimiento. El color inicial claro, cercano al blanco, derivó hacia un tono amarillo más intenso, que se puede ver en la *figura 130*. La mayor parte de los cortes mantuvieron la uniformidad en el color, pero algunos adquirieron un tono oscuro, ofreciéndonos un resultado combinado.

En los dos cortes mostrados en la *figura 131* se aprecia la diferencia. En el paladar mantenía un sabor agradable. Se mantuvo estable en el tiempo, tal como se ha indicado con anterioridad. Cabe resaltar que algunos de los cortes se recogieron sobre sí mismos, como el de la derecha de la *figura 131*, aunque la mayor parte mantuvieron su forma plana inicial.

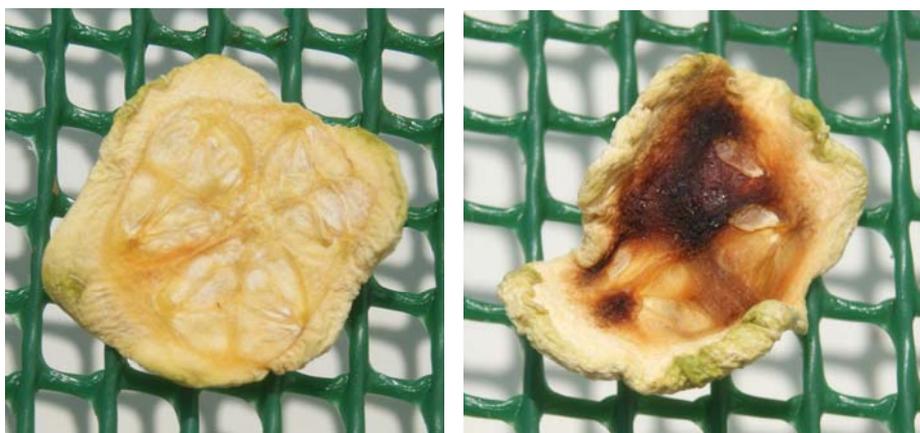


Figura 131. Cortes de calabacín al final del proceso de secado



Figura 132. Cebolla al final del proceso de secado

Respecto a la cebolla, podemos ver cuatro muestras en la *figura 132*. Los aros que formaban cada uno de los cortes se fueron despegando ligeramente unos de otros a medida que avanzaba el proceso de deshidratación, quedando desligados y separados del resto de su corte en algunos casos.

El color inicial pasó a ser más oscuro tal como se ve también en la *figura 133*. En algunos de los cortes se puede observar cómo aparecen partes que tienen un color mucho más oscuro, tal como ocurría con los alimentos anteriores. De nuevo no afectaba al sabor, que se mantenía intenso y agradable en el paladar. Tampoco afectó a su conservación, dado que la cebolla permaneció estable hasta su consumo cocinada en las semanas posteriores a su secado.



Figura 133. Cortes de cebolla al final del proceso de secado



Figura 134. Nectarina al final del proceso de secado

En la *figura 134* se puede ver la nectarina al final del proceso de deshidratación. Su color se volvió más intenso, lo mismo que su sabor, que resultaba muy agradable, puesto que se trataba de fruta en un avanzado estado de maduración, que ya tenía muy buen sabor antes de comenzar el proceso de secado. En el paladar proporcionaba un agradable sabor acaramelado.

En algunas muestras que partían de un color más rojizo en algunas partes del corte, se pudo observar que el rojo se hizo más intenso, con tendencia a un color casi negro, tal como se puede ver en la muestra de la fotografía de la derecha de la *figura 135*. La nectarina seca se mantuvo estable durante las semanas siguientes y la fui consumiendo, sin detectar problemas, durante el mes de agosto de 2013 por las mañanas en el desayuno.

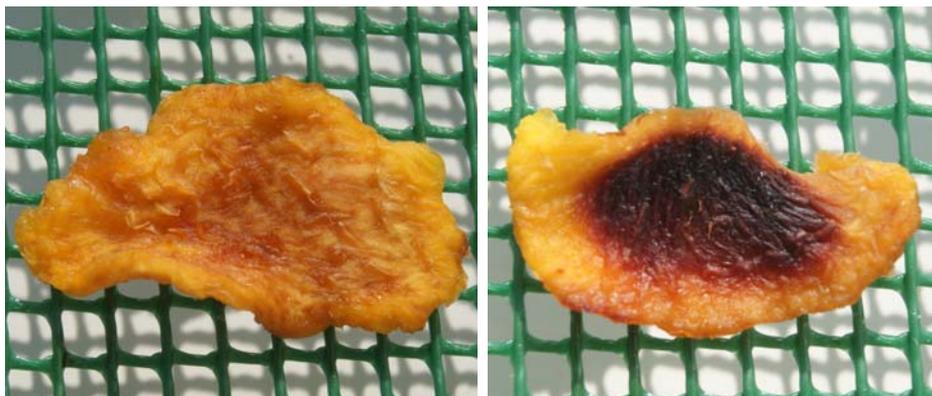


Figura 135. Cortes de nectarina al final del proceso de secado



Figura 136. Albaricoque al final del proceso de secado

En la *figura 136* se puede ver el aspecto al final del proceso de deshidratación del albaricoque. Como en los casos anteriores su color se volvió más intenso. Recordemos que se cortó en cuñas manteniendo la piel en cada una de ellas. Se puede observar cómo este hecho llevó a que apareciesen formas retorcidas en la periferia de las cuñas, debido a la diferencia en secado que se produce entre la parte carnosa y la piel del albaricoque.

En las vistas de detalle que tenemos en la *figura 137* se observa que el color no se ha visto afectado por manchas como en otros alimentos tratados. El albaricoque permaneció estable hasta que terminé de consumirlo a final de agosto de 2013, mientras lo iba tomando en pequeñas cantidades en el desayuno. En boca tenía un intenso y agradable sabor azucarado.



Figura 137. Cuñas de albaricoque al final del proceso de secado



Figura 138. Cereza al final del proceso de secado

Finalmente, en la *figura 138* se puede ver el aspecto que tenía la cereza al final del proceso de deshidratado. El color de partida era rojo oscuro y la fruta estaba en un avanzado estado de maduración. El color final acentuó el rojo oscuro, volviéndolo en muchos casos casi negro, tal como se aprecia en las fotografías. En las de la *figura 139* se puede ver cómo algunas muestras mantenían todavía un color rojizo en la parte interna, aunque la mayoría adquirió un color mucho más oscuro. Al mantener la piel en la cereza los bordes se retorcieron, tal como se puede apreciar también. La cereza se mantuvo estable hasta final de agosto en que terminé de consumirla. De todos los alimentos tratados es el que tenía un sabor más azucarado y agradable.

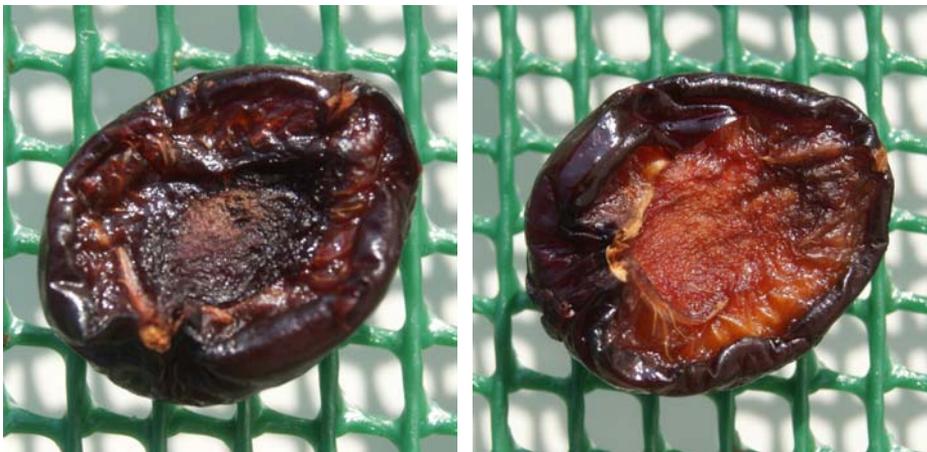


Figura 139. Vistas ampliadas de cereza al final del proceso de secado



Figura 140. Bandejas con nectarina, albaricoque y cereza al final del secado

En la *figura 140* se puede ver la bandeja que contenía la nectarina y la que tenía juntas las cerezas y el albaricoque, al final del proceso de secado. En ambas se aprecia la cantidad de espacio vacío que queda alrededor de los alimentos, que al comenzar el proceso cubrirían completamente ambas bandejas.

5.17. Procesos de secado de mango y piña.

En octubre de 2013 realizamos una tanda de deshidratación de pimiento rojo, tomate, banana, pera, manzana, piña, mango, pepino y kiwi. El alumno Iván Lozano estaba ultimando su preparación para trasladarse y realizar su estancia en Burkina Faso a partir de la beca Meridies que había conseguido.

Octubre no reúne condiciones climatológicas en Valencia parecidas a las de Burkina Faso, pero creímos que sería útil para Iván realizar el deshidratado de diversos alimentos, para que pudiese comprobar cómo se producía la pérdida de peso y los cambios en el aspecto de los mismos. Al menos en una ocasión podría ver cómo funcionaba el deshidratador, aunque en esta estancia en Burkina Faso todavía no debía comenzar a implantarlo.

No vamos a reflejar en esta memoria los datos medidos para todos los alimentos, puesto que de algunos de ellos ya hemos visto su comportamiento en apartados precedentes. Sí vamos a aportar los que corresponden al secado del

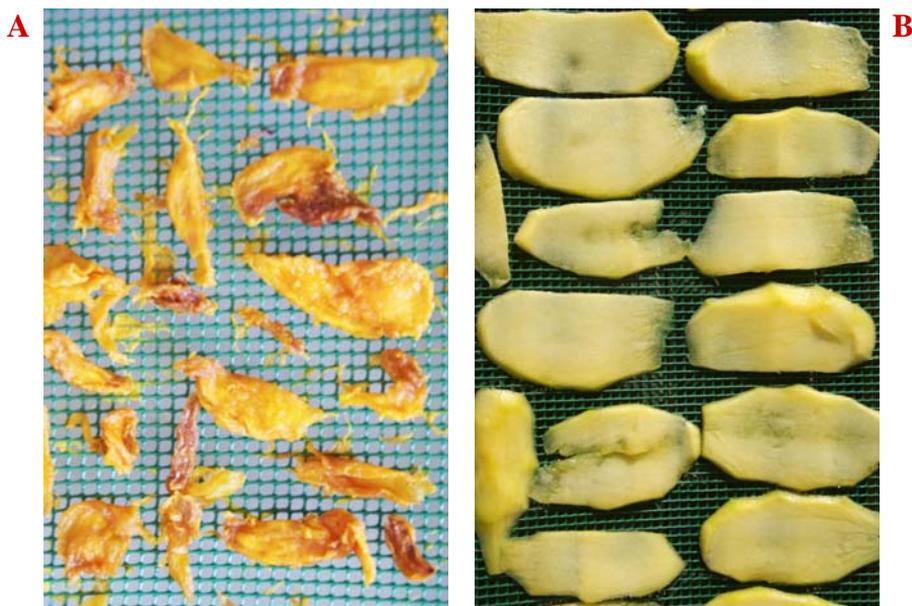


Figura 141. Proceso de secado de mango con dos formas de corte diferentes

mango y de la piña, frutas comunes y baratas en Burkina Faso, que todavía no se han tratado hasta aquí y de los que incluimos las tablas de datos e intervalos horarios y la gráfica de pérdida de peso respecto al tiempo.

Tiene particular importancia el mango, puesto que en sesiones de secado previas habíamos tenido problemas por la forma en que se adhería a la rejilla de las bandejas, tal como se puede ver en la fotografía A de la *figura 141*. La experiencia previa de Iván con esta fruta nos llevó a cortarlo a partir de ese momento en secciones longitudinales respecto a la propia fibra del mango. De esa manera se evitaba la adherencia del fruto a la rejilla y se mejoraba su manejabilidad a la hora de hacer las medidas.

En la *tabla 20* de la página siguiente tenemos los datos correspondientes al mango, que comenzó con un peso de 297,2 gramos y terminó pesando 45,2 gramos, con una pérdida del 84,79 % de su peso. Alcanzó una estabilidad total, puesto que en las últimas mediciones sólo perdió un 0,1 % y un 0,07 % de su peso. En la gráfica de la *figura 142* se puede corroborar, como se indica en la tabla, que en las últimas horas la variación del peso del alimento fue casi nula.

Respecto a la piña tenemos los datos en la *tabla 21*, mientras que su gráfica se encuentra en la *figura 143*. Comenzamos con un peso de 617,6 gramos y terminamos con 93,4 gramos, es decir, un 88,84 % de peso perdido. La última medida muestra una disminución mínima del peso, de solo 1,04 %, lo que indica que prácticamente toda el agua libre que contenía había sido retirada.

Medidas realizadas

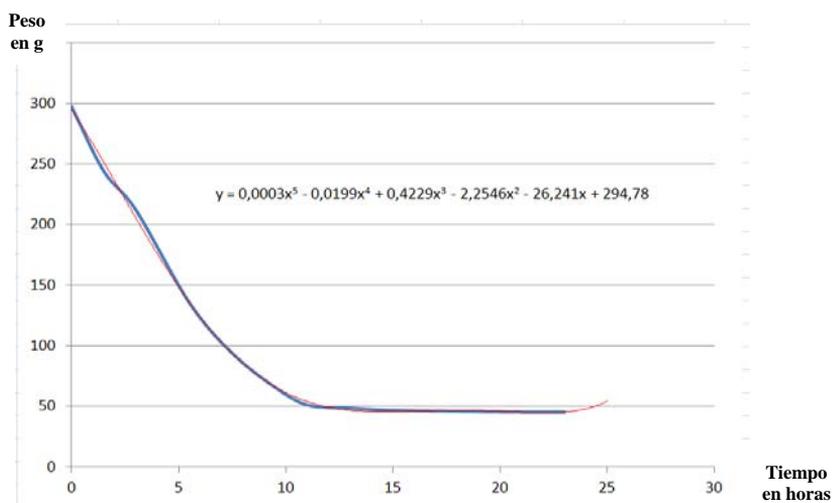


Figura 142. Gráfica de deshidratación de mango en octubre de 2013 con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 5

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	297,2	0,00	100,00	0,00
1,5	244,1	17,87	82,13	17,87
3,0	212,1	28,63	71,37	10,77
5,5	135,4	54,44	45,56	25,81
7,5	93,8	68,44	31,56	14,00
9,5	65,7	77,89	22,11	9,45
11,0	51,2	82,77	17,23	4,88
13,0	48,4	83,71	16,29	0,94
15,0	46,8	84,25	15,75	0,54
17,0	46,1	84,49	15,51	0,24
19,0	45,7	84,62	15,38	0,13
21,0	45,4	84,72	15,28	0,10
23,0	45,2	84,79	15,21	0,07

Tabla 20. Datos de la deshidratación de mango en octubre de 2013, porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento

Medidas realizadas

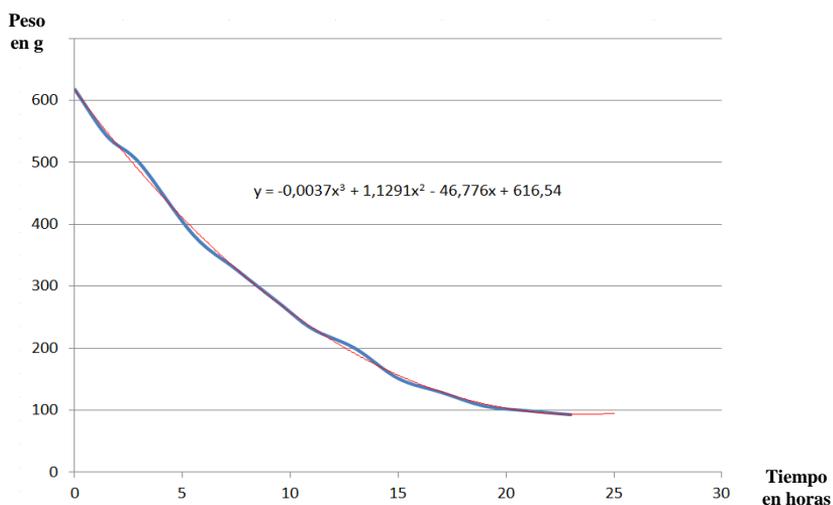


Figura 143. Gráfica de deshidratación de piña en octubre de 2013 con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 3

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	617,6	0,00	100,00	0,00
1,5	542,0	12,24	87,76	12,24
3,0	499,0	19,20	80,80	6,96
5,5	383,1	37,97	62,03	18,77
7,5	327,1	47,04	52,96	9,07
9,5	272,7	55,85	44,15	8,81
11,0	232,0	62,44	37,56	6,59
13,0	200,3	67,57	32,43	5,13
15,0	151,8	75,42	24,58	7,85
17,0	129,4	79,05	20,95	3,63
19,0	107,2	82,64	17,36	3,59
21,0	99,8	83,84	16,16	1,20
23,0	93,4	84,88	15,12	1,04

Tabla 21. Datos de la deshidratación de piña en octubre de 2013, porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento



Figura 144. Evolución de piña y pepino desde el comienzo hasta el final del secado

En las páginas anteriores no hemos incluido las curvas de disminución porcentual del peso del alimento. Como se ha señalado con anterioridad dependen de la climatología del día y nos han servido para comprobar que en un mismo proceso de secado sigue pautas similares en todos los alimentos tratados. Los datos de estos descensos porcentuales sí se han incluido en la *tabla 20* para el mango y en la *tabla 21* para la piña.

En la *figura 144* se puede ver la evolución del aspecto de la piña en la bandeja completa que compartía con el pepino. Al principio ocupaba casi toda la bandeja para después ir perdiendo tamaño hasta ocuparla sólo parcialmente. La fotografía central corresponde a la penúltima medición. Se puede observar que el pepino se cortó en esta ocasión longitudinalmente y que había reducido considerablemente su tamaño. Por eso se cambió de bandeja y se dejó a la piña



Figura 145. Evolución de mango y kiwi desde el comienzo hasta el final del secado

sola para las dos últimas horas del proceso de secado, tal como se puede ver en la tercera fotografía. En cuanto al color, se puede apreciar un oscurecimiento del tono amarillo de la piña, que al terminar el proceso de deshidratación se mostraba más intenso y con la parte central habiendo cambiado hacia un color rosado.

En las fotografías de la *figura 145* se puede ver la evolución del mango, que compartía bandeja con el kiwi. De nuevo se puede apreciar la disminución del tamaño de las muestras de mango, que al comienzo ocupaban de forma muy densa toda la zona izquierda de la bandeja y al terminar el proceso se ve que presentaban mucha holgura entre ellas. Ocurrió algo similar con el kiwi. En ambos casos el color de las frutas tuvo un proceso de oscurecimiento.

De la piña y del mango incluimos en las páginas siguientes, en las *figuras 146* y *147*, la evolución del aspecto del alimento durante el proceso de secado. Para verlo con más detalle hemos colocado en cada fotografía un solo corte de la fruta. En el caso del mango la pérdida de grosor del alimento hizo que los cortes quedasen en algunas zonas semi transparentes.

Como curiosidad, de esta sesión de octubre de 2013 seguimos guardando algunas muestras de los alimentos tratados. En junio de 2017 sigue sin percibirse deterioro en su aspecto, aunque las muestras han cambiando el color hacia tonos mucho más oscuros. Se puede ver en la fotografía de la *figura 148*.

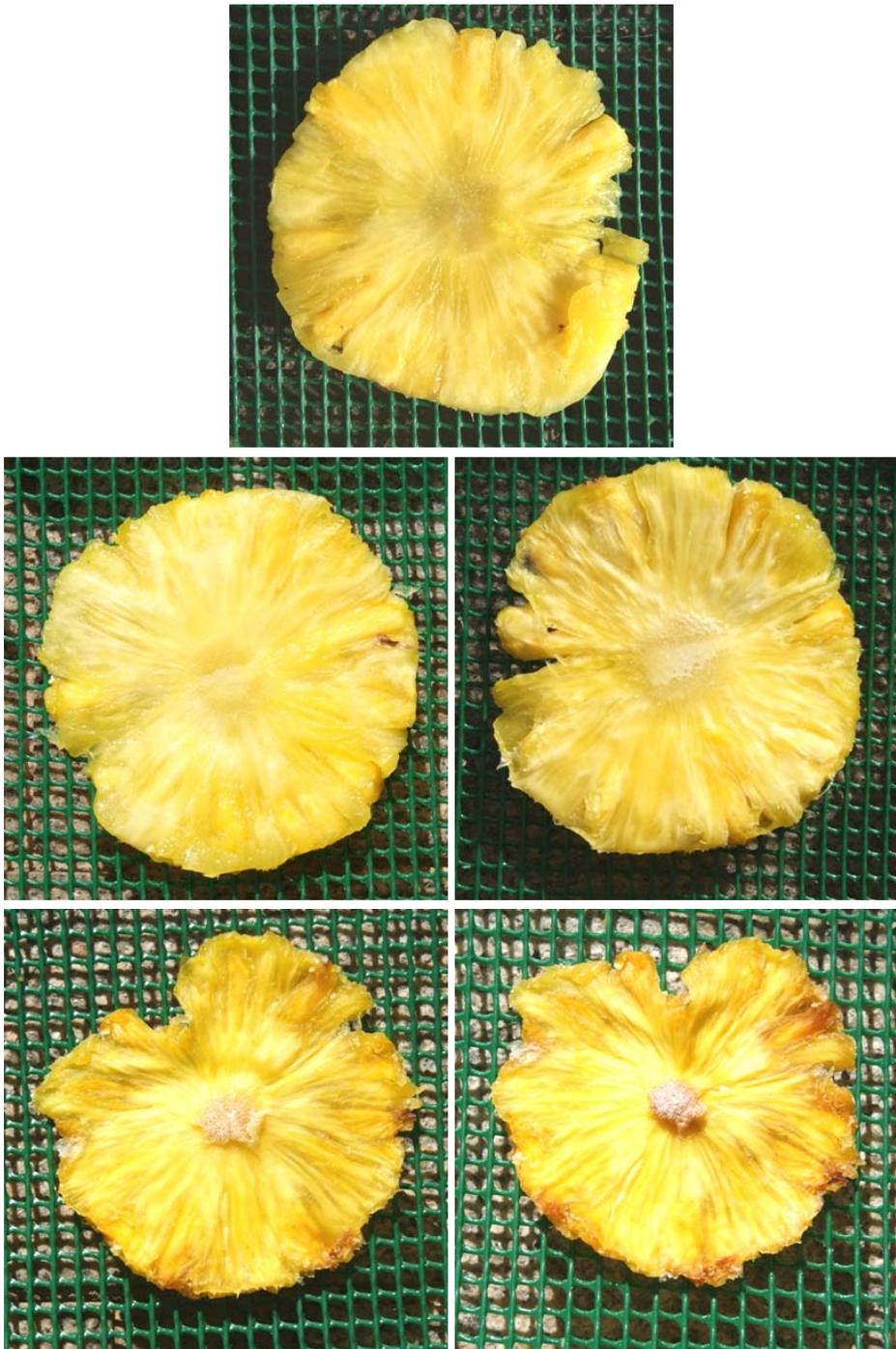


Figura 146. Evolución del aspecto de la piña secada en octubre de 2013 desde el comienzo hasta el final del proceso de secado

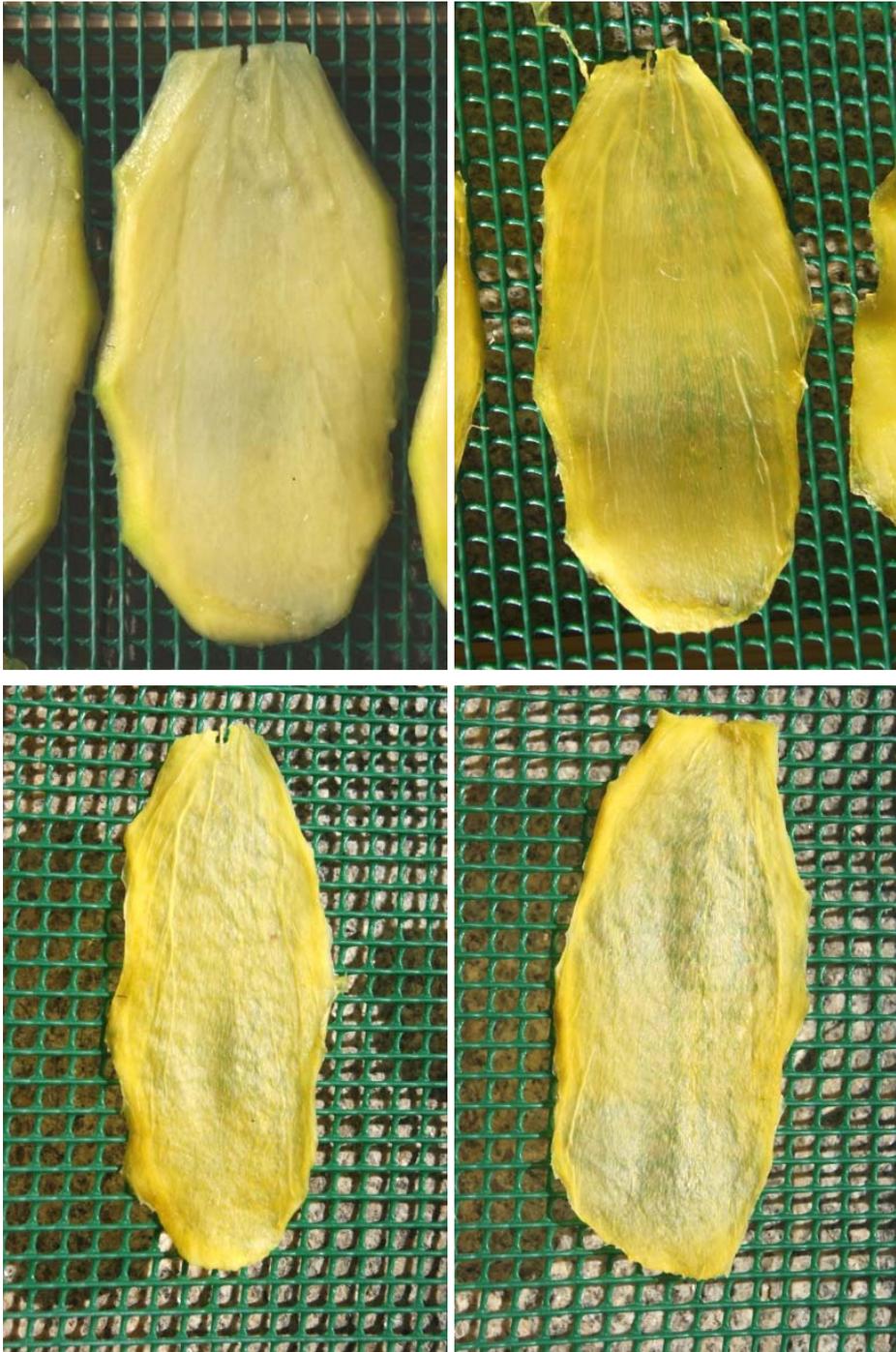


Figura 147. Evolución del aspecto del mango secado en octubre de 2013 desde el comienzo hasta el final del proceso de secado



Figura 148. Aspecto de la piña y del mango en junio de 2017 tres años y ocho meses después de haber sido deshidratados

5.18. Establecimiento del final del proceso de secado.

Las curvas de secado ofrecen una información gráfica inmediata sobre cómo se ha producido el proceso de deshidratación y sobre la llegada a una situación de estabilidad del alimento. Durante el año 2013 nos sirvieron para comprobar el funcionamiento del deshidratador que habíamos diseñado y entender cómo se producían los procesos de secado. Cuando la curva se convierte en asintótica respecto a la horizontal hemos comprobado que el alimento se mantiene estable, cuestión que también vemos en las tablas de los pesos medidos, cuando tenemos poca variación de los últimos datos recogidos.

En el caso de la ciruela, vista en el apartado 5.7, no se produce disminución de peso en las últimas horas, por lo que podemos decir que hemos extraído toda el agua libre del alimento. Sin embargo, en otros casos no se ha extraído toda, dado que el peso sigue disminuyendo en mayor o menor medida, tal como vemos en las tablas de varios de los alimentos, pero hemos comprobado que permanece estable con el paso del tiempo. Es el caso de la piña, vista unas páginas atrás, en el apartado 5.17, que casi cuatro años después sigue manteniéndose estable y, sin embargo, muestra en su curva que se podía haber seguido extrayendo agua de su interior.

En este contexto es necesario establecer un criterio para determinar en qué momento debemos detener el proceso de deshidratación, pero con garantías de que el alimento tratado se encuentra en condiciones de permanecer estable y apto para su consumo posterior.

Realizar las medidas de peso y las curvas que hemos presentado en páginas precedentes no es viable para los usuarios del deshidratador en Burkina Faso. Supone tener que emplear una cantidad de tiempo que hace que económicamente no sea una metodología aplicable allí, llevaría a que con el tiempo el equipo dejase de ser utilizado por falta de rentabilidad para sus usuarios.

Podríamos recurrir a las líneas de tendencia que hemos incluido en cada una de las gráficas vistas. Si cada alimento tuviese una línea de tendencia particular y constante, podríamos predecir cuánto tiempo necesita para poder alcanzar la estabilidad y terminar el proceso de secado, calculando también el peso final del alimento a partir del peso inicial del que hemos partido. Sin embargo, esa línea de tendencia depende de las condiciones climatológicas del día y de las condiciones del propio alimento, por ejemplo de su grado de madurez, tal como hemos señalado con anterioridad, puesto que cada una de las sesiones de deshidratación es única al no coincidir las condiciones con las de otras sesiones.

Podemos observar en tres casos de deshidratación de pepino y sus correspondientes ecuaciones, que los resultados son muy diferentes:

$$P = 0,0002.t^4 - 0,0653.t^3 + 3,1146.t^2 - 52,804.t + 323,6 \text{ (junio 2013)}$$

$$P = -0,002.t^4 + 0,0848.t^3 - 0,5005.t^2 - 16,116.t + 179,97 \text{ (octubre 2013)}$$

$$P = -0,0045.t^4 + 0,1265.t^3 + 0,4264.t^2 - 35,249.t + 248,15 \text{ (abril 2014)}$$

Incluso en la sesión de abril de 2014 la línea que mejor se ajusta es polinómica de quinto grado, aunque hemos dejado la de cuarto para comprobar la falta de coincidencia con las anteriores. De hecho, ni siquiera coinciden el número de horas de secado. En julio necesitamos 19 horas, mientras que en octubre necesitamos 23 y en abril 18 horas y media.

Algunos autores han estudiado el porcentaje de pérdida de peso en frutas y hortalizas una vez completado el proceso de secado (De Michelis, A. 2008), con datos como los que tenemos en la *tabla 22*. En esa misma línea se expresan

Hortalizas y frutas	% de pérdida de peso en producto seco
Acelga	88,5
Berenjena	92,1
Brócoli	88,5
Cebolla	87,5
Coliflor	91,0
Habas enteras	79,1
Hongos	88,9
Pimiento	90,9
Tomate	94,2
Albaricoque	80,0
Cereza y guinda	84,7
Ciruela	77,5
Higo	74,4
Manzana	80,0
Melocotón	87,5
Pera	78,8
Uva	74,7

Tabla 22. Porcentaje de pérdida de peso en frutas y hortalizas una vez completado el proceso de secado (De Michelis, A. 2008)

Alimento tratado	% de peso perdido al final del proceso con alimento estable
Albaricoque	81,28
Calabacín	94,60
Cebolla	73,74
Cereza	83,48
Ciruela	89,28
Fresa	91,13
Kiwi	78,64
Mango	84,79
Manzana	84,08
Nectarina	84,13
Pepino	94,25
Pera	81,84
Pimiento rojo	83,47
Piña	84,88
Tomate	85,00

Tabla 23. Disminución porcentual respecto a su peso inicial del peso de distintas frutas y hortalizas, al final del proceso de secado, con el alimento manteniéndose posteriormente estable

publicaciones como Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes (Dudez, P. 2000), que para distintos tipos de alimentos indican la proporción de peso perdido respecto al peso inicial.

En la *tabla 23* tenemos los valores medidos por nosotros de disminución porcentual de peso respecto al peso inicial para distintas frutas y hortalizas, en experimentos en los que el alimento ha llegado a una situación de estabilidad. A partir de estos datos hemos estado trabajando en la línea de poder establecer unos valores de pérdida de peso con los que garantizar que el alimento se va a mantener estable y en buenas condiciones para su consumo.

En la tabla se observa que la mayor parte de frutas y hortalizas han presentado buenas condiciones de estabilidad con valores de pérdida de peso superiores al ochenta por ciento de su masa inicial. Incluso el kiwi o la cebolla lo hacen

con valores inferiores. A partir de estos datos se podría establecer un criterio práctico, fácil y rápido a aplicar en Burkina Faso y otros países para poder definir el momento en que se puede dar por concluido el proceso de secado. Los pasos a seguir serían los siguientes:

- Medir el peso del alimento al comienzo del proceso, antes de introducirlo en el deshidratador.

- Volver a medirlo cuando se evalúe visualmente que el alimento está en unas condiciones de secado avanzadas, por ejemplo al final del primer día de secado.

- Comprobar si la pérdida de peso está por encima del 80 % respecto al valor pesado al comienzo.

- Dejar el alimento secándose entre una y dos horas adicionales.

- Comprobar de nuevo el peso y ver si la nueva disminución de peso ha sido significativa.

- En caso de que sea menor del 1 % dar por terminado el proceso, en caso de que sea superior volver a introducirlo en el deshidratador y repetir la operación entre una y dos horas después.

Sin embargo, esta es una metodología que aunque sea de fácil y rápida aplicación no nos proporciona un dato suficientemente seguro sobre la finalización del proceso de secado, dado que en algunos alimentos como el tomate o el pimiento el alimento no ha quedado estable con valores de pérdida de peso similares a los indicados.

A esta inseguridad hay que añadir que este procedimiento nos llevaría a tener que dejar en muchos casos el producto secándose una cantidad de horas adicionales a las que realmente necesita. Esto supone un encarecimiento del proceso de secado, debido al tiempo adicional de trabajo necesario para garantizar la calidad del producto deshidratado. Por tanto, no lo hemos utilizado estos años como metodología para saber si se puede concluir el proceso de secado.

Por otra parte y hasta el momento presente, no tenemos resultados que sean concluyentes sobre el valor final de pérdida de peso que se debe aplicar para considerar que el producto está completamente deshidratado. Sobre un mismo alimento este valor depende de su variedad, estado de maduración y, probablemente, de cómo es la cosecha de cada año. Es un campo de trabajo en el que estamos inmersos, pero es necesario seguir haciendo medidas y comprobar si podemos llegar a establecer resultados válidos y completamente fiables.

5.19. Medición de la actividad del agua en el producto seco.

En el apartado 3.11 indicábamos que por debajo del 60 % de actividad del agua en los alimentos, los microorganismos que producen el deterioro de los mismos dejan de tener actividad. La preservación de alimentos a través del secado se basa en detener el desarrollo de dichos microorganismos impidiendo su crecimiento y supervivencia eliminando el agua libre del alimento (Fuselli, S. R. 2004).

Los alimentos deshidratados con una actividad de agua menor a 0,6 o 60 % permanecen microbiológicamente estables y el espacio de tiempo para poder consumirlos no está limitado por el deterioro microbiano, siempre que se conserven adecuadamente y su nivel de actividad del agua no se sitúe de nuevo por encima del valor citado (Ceballos-Ortiz, E. M. 2012).

La forma de medir la actividad del agua de forma sencilla, aunque no completamente precisa, es introducir el alimento en un recipiente cerrado junto a un higrómetro y esperar a que el aparato de medida alcance un valor estable. Esa humedad que muestra el higrómetro es aproximadamente la actividad del agua del alimento.

Este proceso de medida exige que tengamos un recipiente estanco, que puede ser una vasija de cristal como la mostrada en la *figura 149* o incluso una bolsa cerrada lo más herméticamente posible, como la de triple capa, utilizada en congelación de alimentos, que también se puede ver en la misma figura. En ambos casos buscamos que se garantice el aislamiento de los alimentos y el



Figura 149. Bolsa de triple capa y frasco de cierre hermético para medir la actividad del agua en el alimento deshidratado

aire que contiene el recipiente respecto al aire exterior. Por ello, si creemos que no es lo suficientemente hermética, podemos utilizar dos bolsas, una dentro de la otra.

También necesitamos un higrómetro, para introducirlo en el recipiente junto al alimento seco. Dejando el tiempo suficiente, la humedad contenida en el alimento se traslada hasta la pequeña cantidad de aire contenida en el recipiente, llegando a alcanzar el equilibrio entre ambos niveles de humedad. Midiendo con el higrómetro la humedad dentro del recipiente nos muestra la actividad del agua del alimento.

El inconveniente de este método es que no nos proporciona un valor exacto de la actividad del agua y, además, hay que esperar a que el equipo de medida marque un valor estable, lo que puede suponer esperar varias horas.

En la *figura 150* tenemos distintos tipos de higrómetros digitales que sirven para realizar la operación descrita. Deben ser de pequeño tamaño, para poderse introducir en la bolsa o el recipiente, o disponer de una sonda que sea fácil de introducir en dicha bolsa o recipiente. También deben tener la mejor precisión posible, aunque cuanto mayor precisión busquemos mas alto es el precio del equipo. De hecho, hay medidores específicos de la actividad del agua que se utilizan directamente sobre el alimento y proporcionan una lectura en pocos segundos, pero su precio es de varios miles de euros.

La cuestión en nuestro caso es decidir cuál utilizar. Evidentemente los de coste elevado quedan descartados, recordemos una vez más que debemos poder proporcionárselo a los usuarios del deshidratador a un precio asequible, tanto en su coste inicial como en el coste del mantenimiento que requiera. Debe ser fácil de utilizar, en la línea del equipo diseñado para realizar los procesos de secado. Por ello, y a sugerencia del profesor Daniel Vidal nos inclinamos por un medidor analógico de bajo coste -solo cinco euros y medio-, lo que ha permitido que enviemos varias uni-



Figura 150. Higrómetros para medir la actividad del agua

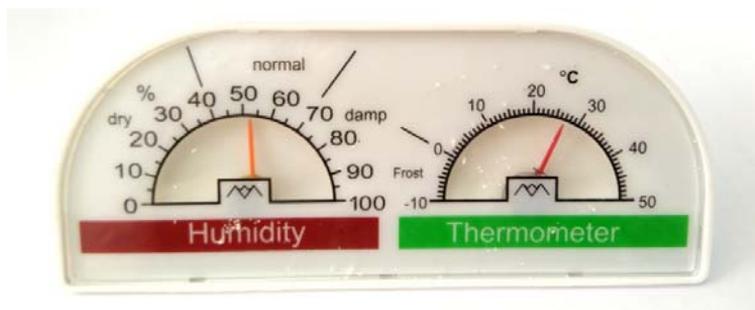


Figura 151. Medidor de temperatura y humedad analógico de bajo coste

dades cada año a Burkina Faso. Mide temperatura y humedad y se muestra en la *figura 151*.

Admite el ajuste de la medida, por medio de un tornillo trasero, lo que nos permite calibrarlo en un punto. Realizar ese ajuste es sencillo y fácil de aplicar, sea en nuestro laboratorio o en Burkina Faso. Introducimos el higrómetro en un recipiente cerrado, por ejemplo una bolsa hermética de triple capa, tal como se ve en la *figura 152*. Colocamos también dentro una disolución de sal común saturada de agua, de la que sabemos que la actividad del agua es del 75,5 %, medida a 25 °C. Corrigiendo el valor que marque el higrómetro hasta este valor del 75,5 % tenemos realizado el ajuste en un punto.

No se trata de un ajuste de precisión, pero dado que nuestro valor límite para la actividad del agua de los alimentos es del 60 %, valor cercano al 75,5 %



Figura 152. Higrómetro introducido en una bolsa junto a sal común saturada en agua, para su calibrado



Figura 153. Berenjena africana deshidratada en Burkina Faso en la que se está midiendo la actividad del agua

con el que se ha calibrado, la medida que nos ofrezca nos permite tener una referencia a coste muy bajo para los alimentos deshidratados en Burkina Faso. En la *figura 153* vemos el medidor proporcionándonos la actividad del agua para un alimento deshidratado en Burkina Faso en diciembre de 2016. Indica un valor un poco superior al 45 %, muy inferior al 60 % límite, por lo que podemos asegurar que el alimento va a permanecer estable.

Si la medida que nos proporciona para la actividad del agua es de un valor cercano al 60 %, tal como se ve para la cebolla en la *figura 154*, se debería



Figura 154. Cebolla deshidratada en Burkina Faso en la que se está midiendo la actividad del agua

continuar con el proceso de secado. Si se sitúa en un valor inferior al 55 % podemos dar por concluido el proceso de deshidratación. Este margen del 5 % nos permite tener un nivel de seguridad respecto al aparato de medida y a la medida realizada, y saber que el proceso ha concluido correctamente, con lo que el alimento se mantendrá estable en el tiempo.

Actualmente estamos en proceso de adquirir un medidor de actividad de agua de precisión con el que poder calibrar todos los medidores utilizados, de manera que dispongamos de una herramienta más exacta con la que poder trabajar en el futuro.

6. Implantación del deshidratador en Burkina Faso.

Como se ha comentado en el punto 3.12 el diseño del deshidratador solar tenía un primer destino en Burkina Faso, como parte del proyecto de cooperación e investigación Bonaliment de la UPV. En combinación con este proyecto la UPV posee un sistema de becas para cooperación que están coordinadas por personal docente y tienen como destino alumnado interesado en este ámbito. El programa se llama Meridies y dentro del mismo se ha becado desde 2013 a cuatro alumnos y para 2017 se enviará uno adicional a Burkina Faso.

6.1. Primera fase en 2013.

En diciembre de 2013 el alumno Iván Lozano Marco se desplazó a Burkina Faso, con una agenda de actividades relacionada con la mejora de la situación nutricional de las personas del país. El destino fue Gaoua, ciudad situada al este del país que tiene más de treinta mil habitantes. Allí está implantada la asociación de mujeres APFG, que trabaja con numerosas aldeas de la zona, proporcionando formación a las mujeres en temas sanitarios, económicos, agrícolas, etc., en un intento de ayudarlas a conseguir mejores condiciones de vida de las que tienen.

En el año 2012 había estado en Burkina Faso la alumna Nerea Santos Cervera. Entre los trabajos que realizó estuvo comprobar la existencia de deshidratadores en el país. Localizó dos de ellos de tipo eléctrico en Bobo y Banfora. Ciudades de mayor tamaño que Gaoua. Comprobó también el interés de la APFG por la posibilidad de que desarrollásemos en la UPV un deshidratador solar para utilizarlo en sus instalaciones.

Aún con esta información, en esta primera fase del proyecto y en lo que se refiere al deshidratador de alimentos, no pensamos en implantarlo directamente en 2013, sino más bien conocer mejor las necesidades de la APFG y de las aldeas con las que trabajan, para planificar su implantación para el año 2014. Hay que tener en cuenta que estábamos todavía probando el equipo en la UPV y queríamos tener más datos y trabajo hecho sobre su funcionamiento.

Además, era necesario comprender los factores socioculturales de la zona de Gaoua para planificar la implantación del equipo, puesto que no basta con diseñar un equipo que pueda ser útil, fácil de manejar y barato para que su puesta en marcha en un lugar determinado tenga éxito (Otte, P. P. 2014). No podemos atender solo a un enfoque tecnológico y de buena voluntad por nuestra parte,

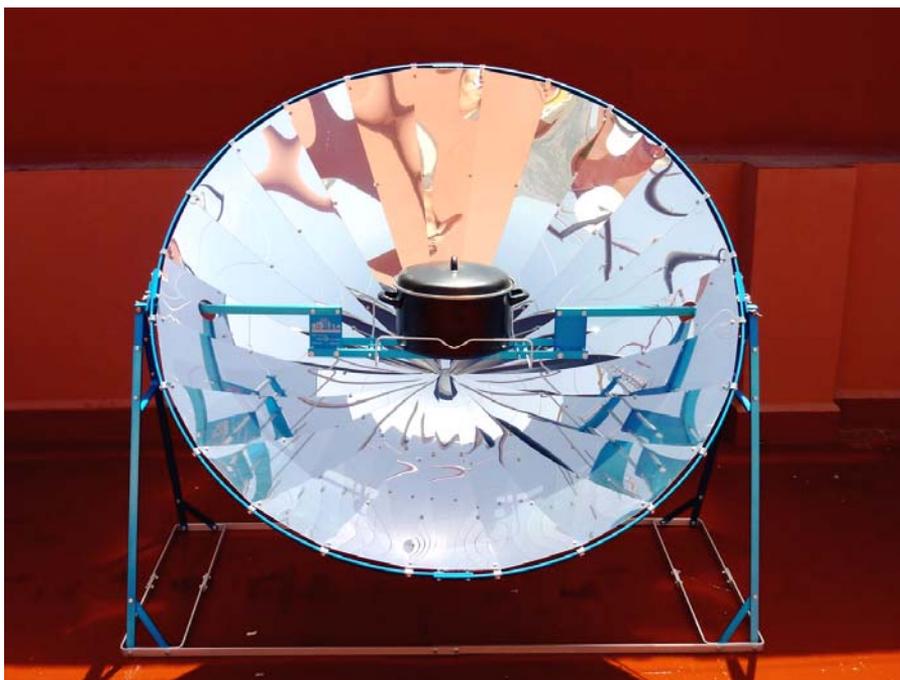


Figura 155. Cocina solar parabólica (fuente <http://www.tiendafotovoltaica.es>)

pensando desde una mentalidad occidental que por ser un diseño correcto y con posibilidades de mejorar la vida de las personas desfavorecidas su implantación va a ser aceptada. Puede ocurrir que el resultado que obtengamos no sea favorable, al no haber estudiado y entendido las necesidades de las personas a las que va destinado el equipo (Wentzel, M. 2007).

De hecho conocíamos un plan de ayuda de la Unión Europea hacia África, que había consistido en suministrar cocinas solares parabólicas, del tipo que se puede ver en la *figura 155*. Era un programa de cooperación pero también un intento de combatir la desertización de África, puesto que una buena parte de la deforestación en el continente africano es debida al corte de árboles para utilizarlos como leña en el ámbito doméstico (Roca, L. 2002).

Por eso pedimos a Iván que comprobase si en la zona de Gaoua había llegado alguna de estas cocinas y cuál había sido el grado de aceptación y uso por parte de la población local. Al poco tiempo de llegar a Burkina Faso nos informó de que las cocinas habían llegado a la zona, pero no se estaban utilizando y habían sido abandonadas.

Al pedirle que preguntase los motivos nos comentó que le habían dado como contestación dos respuestas significativas:



Figura 156. Cocinas solares abandonadas en Burkina Faso (Lozano, I. 2013)

- Las cocinas solares sirven para cocinar a mediodía, pero las mujeres que han de utilizarlas no suelen estar en su casa a esas horas. Sus ocupaciones las llevan a tener que andar grandes trayectos y solo vuelven a sus casas por la noche, momento en el que cocinan, pero no hay sol, por lo que deben recurrir a la quema de leña como combustible.

- Reflejan la luz solar en los ojos y resulta molesto cocinar en este tipo de cocinas.

También nos envió algunas fotografías de las cocinas solares que encontré, de las que hemos incluido dos en la *figura 156*, que muestran el estado de abandono en el que estaban. Evidentemente, no queríamos que pasase algo similar con el deshidratador solar, lo que reforzó nuestra idea inicial de dejar para 2014 su implantación.

Aunque ésta era nuestra intención inicial no pudo realizarse así. Iván había realizado en octubre de 2013 en la UPV una experiencia de un día en deshidratación con nuestro equipo. Cuando en diciembre habló de esta experiencia en la APFG se mostraron inmediatamente interesadas, por lo que se puso en contacto conmigo para ver de qué manera podíamos preparar un primer deshidratador en Burkina Faso, que quedase en manos de la APFG. También comenzó a preparar unas jornadas de trabajo en las que explicar a un primer grupo de mujeres los fundamentos del equipo y las condiciones de preparación de los alimentos.

La supervisión de estas sesiones formativas y de la construcción del deshidratador se realizaron desde la UPV, a través de correo electrónico, teniendo



Figura 157. Transparencia del seminario impartido en Burkina Faso sobre el manejo del deshidratador de alimentos y la preparación de los mismos (Lozano, I. 2013)

que ir respondiendo a todas las cuestiones que iban surgiendo mientras Iván afrontaba la preparación de las mismas.

6.2. Cuestiones planteadas desde Burkina Faso.

Fueron muchas las cuestiones prácticas que iban produciéndose a medida que se iban preparando los dos primeros deshidratadores montados en Burkina Faso y las clases de formación para las mujeres que iban a manejarlos. Aunque algunas parecen obvias, por su interés reproducimos aquí las respuestas que envié para resolverlas, puesto que luego han vuelto a repetirse cuando entidades y personas de otros países nos han pedido datos sobre el equipo.

1.- Una pregunta recurrente tiene que ver con la cantidad de alimento que se puede deshidratar en cada operación. Nosotros hemos estado deshidratando entre 2 y 3 kg en cada tanda. Pero más importante que el peso, que depende del tipo de alimento y del grosor del corte, es que hay que cargar las bandejas dejando un poco de espacio entre los alimentos para que circule el aire.

2.- Es necesario dejar un escape para el aire por la parte superior trasera del equipo, para que pueda evacuar la humedad que está extrayendo de los alimentos. Debe estar en la zona de arriba porque el aire caliente tiende a subir.



Figura 158. Proceso de construcción del primer deshidratador solar en Burkina Faso (Lozano, I. 2013)

3.- La deshidratación con energía solar no es un proceso uniforme debido a la irregularidad en la radiación solar que incide en el equipo. Además, las condiciones son ligeramente diferentes para cada bandeja y en cada espacio de la bandeja. Esto no perjudica al secado de cada uno de los fragmentos de alimento que estamos tratando.

4.- Existen diferencias de temperatura entre las distintas partes del deshidratador. Siempre es más alta en el colector y disminuye a medida que asciende el aire y se mueve entre los alimentos de las bandejas. También es más alta cuanto más cerca se esté del plástico negro. En un instante concreto la temperatura que registre un aparato de medida va a ser diferente dependiendo del punto en el que se realice la medida.

La distribución de estas temperaturas no afecta al proceso de secado, aunque unos trozos de alimento recibirán el aire un poco más caliente que otros. Por eso es interesante que las láminas de alimento de cada bandeja se cambien de posición, además de darles la vuelta, un par de veces o tres a lo largo del proceso de secado.

En nuestro caso en la UPV este proceso se ha realizado de forma natural, puesto que hemos estado sacando los alimentos de las bandejas para medir su peso y fotografiarlos. Al volverlos a colocar nunca se han situado en el mismo punto en el que estaban antes.



Figura 159. Primer deshidratador con las bandejas montadas y operarios trabajando sobre las bandejas de un segundo deshidratador (Lozano, I. 2013)

5.- A medida que va avanzando el secado los trozos de alimento van haciéndose más pequeños, al perder agua. Conviene ir poniéndolos hacia el centro de la bandeja, dejando mayor espacio en los laterales y más separación entre ellos del que tenían al principio, para facilitar el paso del aire.

6.- Aunque la madera y el plástico son materiales comunes en cualquier parte del mundo, a veces no es fácil encontrar los que son más adecuados. El equipo también funciona con un plástico que no sea completamente negro y con un plástico que no sea completamente transparente, aunque su eficiencia es menor.

7.- Se pueden utilizar otros materiales alternativos como chapa de madera para cerrar la base del colector. También puede ser de chapa de madera el recubrimiento del frontal de la zona de secado, aunque tiene menos capacidad de captar y transmitir calor al interior. Utilizando chapa podemos tener algunas dificultades para el ensamblado de las dos partes del equipo, dado que el plástico facilita el cierre de los intersticios que quedan en las zonas de unión.

No es conveniente pintar de negro la madera puesto que a las temperaturas a las que se trabaja la pintura puede degradarse dejando escapar elementos tóxicos o perjudiciales que se mezclan con el aire y pasan a los alimentos.

8.- La rejilla de las bandejas debe tener una sección pequeña, puesto que al ir disminuyendo de tamaño los cortes de alimento que están sobre ellas podrían



Figura 160. Proceso de colocación del plástico sobre la estructura del colector y equipo completamente terminado (Lozano, I. 2013)

llegar a caerse. Si solo se dispone de rejilla de grosor grande puede recubrirse con algún tipo de mosquitera que se apoye en ella. También podría servir una rejilla metálica, aunque debe ser inoxidable y sería más cara. En nuestro diseño la hemos puesto de plástico para poder lavarla con facilidad y que no queden restos de alimentos de una tanda de secado a la siguiente.

Estas cuestiones fueron surgiendo mientras se construían los dos primeros deshidratadores, en un proceso que se puede ver en las fotografías de las *figuras 158, 159 y 160*. Sirvieron para ir contribuyendo a la correcta construcción de los equipos y a la preparación de una jornada de formación que Iván realizó para las mujeres de APFG.

Tras construir los deshidratadores en la carpintería, se trasladaron desmontados hasta las instalaciones de la APFG, tal como se puede ver en la *figura 161*. Una vez allí, se volvieron a montar para dejarlos en perfectas condiciones de uso, tal como se puede ver en la *figura 162*, a la espera de que las mujeres de la asociación recibiesen la formación sobre cómo preparar los alimentos y realizar los primeros procesos de secado con el equipo.



Figura 161. Transporte desde la carpintería hasta las instalaciones de la APFG de los dos primeros deshidratadores construidos en Burkina Faso (Lozano, I. 2013)



Figura 162. Primeros dos deshidratadores solares montados en las instalaciones de la APFG en Burkina Faso (Lozano, I. 2013)

6.3. Primeros alimentos deshidratados con el equipo en Burkina Faso.

Concluida la jornada de formación sobre deshidratación y con los deshidratadores dispuestos en sus instalaciones, era el momento de comenzar a trabajar sobre una primera tanda de alimentos, para que las mujeres de la APFG manejasen directamente el equipo y comprobasen su funcionamiento.

En esos momentos no tenían excedentes de frutas y verduras para poder secarlas, por lo que tuvieron que acudir al mercado y comprarlas. Era necesario hacer algunas tandas de deshidratación como parte práctica de la puesta en marcha de los equipos, pero también es cierto que se pueden deshidratar alimentos cuando están baratos en el mercado. De esta manera se conservan secándolos en el momento en que resulta más económica su adquisición, pudiendo contribuir este enfoque a la implantación del equipo y a su aceptación por parte de las personas que lo pueden utilizar en Burkina Faso.

Los primeros alimentos deshidratados fueron pimiento verde, tomate, cebolla, papaya, manzana y banana. Siguiendo las pautas de higiene y cuidado en la preparación de los alimentos que se les había enseñado, las mujeres de la APFG comenzaron el proceso de corte en rodajas y su colocación en las bandejas. En las *figuras 163 y 164* se puede ver cómo estaban cortando los alimentos y depositándolos sobre la rejilla de las bandejas. En este caso no cabe ningún proceso de pesado previo como los que hacemos en la UPV, puesto que no se



Figura 163. Cortado y colocación en las bandejas de banana y papaya (Lozano, I. 2013)



Figura 164. Cortando alimentos y distribuyéndolos en las bandejas (Lozano, I. 2013)

van a obtener las curvas de pérdida de peso, sino que se va a realizar sólo su deshidratación y posterior conservación. Las bandejas se van cargando de alimentos, con una gran densidad y con las láminas y cuñas cortadas en algunos casos de gran grosor, lo que hace más lento el proceso de secado.

En la línea de lo comentado en el apartado 6.2 se puede observar que la rejilla que se puso en las bandejas de los equipos de Burkina Faso tiene un tamaño de agujero demasiado grande. Se puede ver en las fotografías de las *figuras 164* y *165*. Esto puede provocar que alguno de los alimentos se caiga cuando disminuya su tamaño al ir secándose.

En la *figura 166* podemos ver dos vistas de las bandejas cargadas, ya dentro del deshidratador y en pleno proceso de secado de los alimentos. Se puede observar cómo la rejilla de cierre trasera tiene también un grosor excesivamente



Figura 165. Colocación del tomate cortado en cuñas en la bandeja (Lozano, I. 2013)



Figura 166. Deshidratadores cargados de alimentos (Lozano, I. 2013)

grande, tal como ocurría en las bandejas, dado que se trata del mismo tipo de malla. Facilitará la circulación del aire, pero no es adecuada para evitar que entren insectos o pequeños animales. Como se ha comentado, se puede recubrir con algún tipo de mosquitera o buscar un tipo de malla de menor grosor.

En la *figura 167* se pueden observar dos fotografías con los deshidratadores cargados de alimentos y en pleno proceso de secado. Una de las mujeres de la asociación observa el interior de uno de los equipos. En poco tiempo se puede ir viendo cómo avanza el proceso de secado, haciendo que los alimentos vayan



Figura 167. Deshidratadores con el proceso de secado avanzando (Lozano, I. 2013)

encogiéndose y pierden el brillo natural que tienen cuando se cortan en rodajas, debido a la humedad superficial que queda sobre ellas.

En la *figura 168* se pueden ver varios alimentos en el interior del equipo. En el caso de la manzana se observa que ha adquirido formas muy retorcidas, puesto que la han cortado con la piel y el proceso de secado ha ido a distinta velocidad en la piel y en la parte carnosa de la fruta. La banana y la papaya mantienen mejor su forma original. Para todos los alimentos queda por definir cuándo se ha completado el proceso de secado. En la formación impartida en



Figura 168. Vista de los alimentos en el interior del deshidratador (Lozano, I. 2013)



Figura 169. Higrómetro midiendo la actividad del agua (Márquez, M. N. 2016)

Burkina Faso se explicó que para poder saberlo con seguridad se debe medir la actividad del agua, que debe quedar por debajo del 60 %. De esta manera el alimento se conserva en buenas condiciones para su consumo durante meses.

Tal como se ha descrito en el apartado 5.19, se les explicó que una forma sencilla de hacer esta medición es utilizando un higrómetro dispuesto como se ve en la figura 169. La formación incluyó que las mujeres hiciesen todo el proceso, introduciendo el alimento seco en una bolsa, junto a un higrómetro, cerrándola después de la forma más hermética posible y dejando el tiempo necesario hasta que se estabilice la medida.

Se les explicó que la humedad que marca el higrómetro es la actividad del agua y que si está por encima del 60 % hay que volver a introducir los alimentos en el equipo y seguir secándolos, repitiendo más tarde la medición hasta obtener un valor menor del 60 % indicado. En la fotografía de la figura 170 se ve que está marcando por debajo del 50 %, por lo que el proceso de secado se puede dar por concluido. Sólo resta guardar los alimentos secos en un recipiente o bolsa bien cerrada, para evitar que la humedad ambiente rehidrate los alimentos y su actividad del agua aumente por encima del límite que permite que se mantengan estables.

En la figura 170 de la página siguiente se pueden ver dos higrómetros analógicos diferentes con los que se puede realizar esta operación. El que está colocado sobre el bote es de mayor precisión pero también tiene un coste más elevado. El segundo es el que se ha utilizado, es de plástico y mide la temperatura y la humedad. Se enseñó a las mujeres a calibrar en Burkina Faso este higrómetro, utilizando como referencia sal común saturada en agua, tal como se ha explicado en el punto 5.19 y teniendo en cuenta que debe marcar 75,5 %



Figura 170. Higrómetros para medir la actividad del agua (Lozano, I. 2013)

a 25 °C. Dado que no se disponía, en general, de un lugar en el que tener controlada la temperatura, se puede realizar a unas horas del día, por ejemplo a primera hora de la mañana, en las que la temperatura tenga ese valor.

También se las instruyó indicando que al final del primer día de secado se hace una inspección visual del producto, comprobando si ha llegado a un punto de secado suficiente. La experiencia que ellas mismas van a ir acumulando al trabajar con los equipos va a ser fundamental en este sentido, puesto que el cambio en el aspecto y la textura del alimento se visualiza a simple vista. Si se ve que reúne condiciones de estar seco, se mide su actividad del agua. Si está por debajo de los valores indicados se da por concluido el proceso. En este sentido y por precaución se les indicó que para tener mayor seguridad es mejor poner el límite en el 55 %. En caso de no llegar a este valor, se sigue con el secado de los alimentos al día siguiente.

Lo habitual es que se necesite al menos un día para que el alimento quede suficientemente seco, a pesar de que las temperaturas en Burkina son más altas que en España y, por tanto, el proceso de secado es más rápido. Depende también del grosor del corte de los alimentos que, como se ha visto en fotografías anteriores en estas primeras tandas de secado era superior a los cuatro milímetros que veníamos utilizando en la UPV. Debido a ello el tiempo necesario puede ser de dos días o incluso superior si los alimentos se cortan demasiado gruesos, opción ésta que no les recomendamos, puesto que como se ha comentado mientras estamos secando los microorganismos mantienen su actividad.

Una vez concluido el proceso de secado en los dos deshidratadores, se dispusieron las ocho bandejas utilizadas sobre una mesa, con los alimentos secos.

Se dejaron colocados de esa manera para que las mujeres de la asociación que habían participado en el proceso pudiesen ver cómo quedaban las distintas frutas y verduras una vez deshidratadas, a nivel de color y de aspecto general. Es importante hacerlo así para que comprendan mejor el proceso de deshidratación y entiendan cómo el alimento no solo reduce considerablemente su tamaño, sino que cambia su aspecto retorciéndose en algunos casos o haciendo más intensos sus colores. Se pueden ver las bandejas y los alimentos en la fotografía de la *figura 171*.



Figura 171. Alimentos deshidratados en Burkina Faso (Lozano, I. 2013)

Continuando con el proceso de formación se realizó una segunda tanda de secado, de manera que las mujeres fuesen adquiriendo experiencia. Tal como se puede ver en las fotografías de la *figura 172*, se comenzó con el proceso de lavado de las bandejas, para evitar que contuviesen restos de alimentos deshidratados antes. Después se procedió a cortar nuevos alimentos y colocarlos



Figura 172. Lavado de las bandejas y preparación de nuevos alimentos (Lozano, I. 2013)

sobre las bandejas, antes de llevarlos hasta los deshidratadores y repetir el proceso ya descrito.

En la *figura 173* se pueden ver dos fotografías de alimentos deshidratados y metidos en bolsas para su conservación. En el grupo de la fotografía de arriba las bolsas no se han cerrado. Probablemente en el momento en el que hizo la deshidratación no supuso un problema importante, porque la humedad relativa del aire debía ser baja, pero al terminar el proceso de secado es necesario cerrar



Figura 173. Alimentos secos metidos en bolsas para su conservación (Lozano, I. 2013)

las bolsas lo más herméticamente posible para que los alimentos no se rehidraten de forma natural a partir de la humedad contenida en el aire. En la fotografía A de la *figura 174* se pueden ver bolsas con alimentos ya cerradas y dispuestas para su conservación e incluso su posible comercialización. En la fotografía de arriba, y como curiosidad, se puede ver a un niño cogiendo fruta deshidratada para comérsela. No se sentía atraído por la fruta fresca y, llamativamente, si se interesó por comer fruta deshidratada.



Figura 174. Alimentos envasados una vez deshidratados (Lozano, I. 2013)



Figura 175. Velcro fijando el plástico a la estructura del equipo (Lozano, I. 2013)

6.4. Problemas planteados en el deshidratador de Burkina Faso.

Concluidas las primeras tandas de secado se plantearon algunos pequeños problemas en el manejo de los secadores. El primero de ellos se produjo con el velcro, que se puede ver en la *figura 175* (y también en la *figura 166*), que se adhiere a la madera y al plástico mediante el adhesivo que lleva con él. En Valencia no hemos tenido nunca problemas, pero en Burkina Faso la temperatura es más elevada y el calor hacía que se perdiese la adherencia y que finalmente se despegase de la madera y el plástico.

Una opción para resolver esta cuestión es clavar con grapas el velcro a la madera para que esté sujeto y no dependa del pegamento. Nosotros lo hemos hecho así en la UPV al cambiar los plásticos y hacer mejoras en el equipo. También se ha de grapar el velcro al plástico, aunque hay que reforzarlo



Figura 176. Puerta trasera sustituyendo al cierre con velcro (López, D. M. 2015)

haciendo varios dobleces o poniendo algunos trozos pequeños de plástico adicional para que no se desgarrase al abrir y cerrar repetidamente la parte trasera para colocar o sacar las bandejas. En aquel momento y para Burkina Faso se descartaron estas opciones y se puso una puerta trasera con bisagras, en forma de marco cerrado con plástico, tal como se ve en la *figura 176*. Encarece un poco el equipo pero lo hace más robusto.

También ocurrió que en algunos alimentos estando embasados en bolsas de plástico transparente se comenzó a formar una pequeña capa de humedad en la bolsa. Coincidió con un fin de semana nublado y húmedo. Este es un caso típico en el que no se siguió bien el proceso de secado y envasado. O bien los alimentos no se habían secado lo suficiente o bien las bolsas no se cerraron en el momento adecuado y cuando se cerraron el aire contenido tenía humedad y se trasladó a los alimentos. En ambos casos el alimento se deteriora en pocos días. Nosotros lo hemos comprobado con el tomate mal secado, tal como se ha descrito en el apartado 5.6. Para conservar bien los alimentos deben quedar bien secos, con una actividad del agua inferior al 60 % y se deben envasar en bolsas herméticamente cerradas. En caso de tener dudas sobre la hermeticidad de la bolsa se deben emplear dos bolsas, una conteniendo a la otra.

La tercera cuestión que se planteó tiene que ver con la entrada del aire que alimenta la parte frontal del colector solar. En los ensayos en la UPV había momentos en los que el aire se movía a bastante velocidad, pero no tenía una trascendencia mayor de cara a la posibilidad de que pudiese entrar por la parte frontal algún elemento arrastrado por ese aire. En Burkina Faso no tienen calles asfaltadas ni pavimento. El suelo es de tierra y cuando el aire se mueve la arrastra junto a otros elementos, que pueden entrar en el colector solar. Esta cuestión se agravaba por el tipo de rejilla de calibre grande que se había utilizado y se puede observar en la *figura 177*.

Una primera solución consistía en utilizar mosquitera acoplada a la rejilla. Incluso se puede sustituir la rejilla por mosquitera, tal como se puede ver en la



Figura 177. Rejilla con un calibre demasiado elevado utilizada en la fabricación de los deshidratadores en Burkina Faso (Lozano, I. 2013)



Figura 178. Mosquitera colocada en la parte frontal del colector para evitar la entrada de arena o materiales arrastrados por el aire (López, D. M. 2015)

figura 178. El aire sigue entrando sin dificultades y la posibilidad de que entre polvo o elementos que arrastre el aire se minimiza.

Otra opción es la que presentamos en la *figura 179*. Consiste en hacer una doble cámara para la entrada del aire, de manera que tenga que hacer un recorrido en zigzag. Los elementos que puedan entrar quedan atrapados en la primera cámara. Aprovechamos el propio grosor de cuatro centímetros de los listones para situar una combinación de plástico transparente (en verde en la figura) y rejilla de plástico o mosquitera (en rojo), para construir esta cámara que atrapa los elementos que pueda arrastrar el aire. Por inspección visual comprobamos cuándo se ha depositado una cierta cantidad de suciedad y abrimos la rejilla para eliminarla.

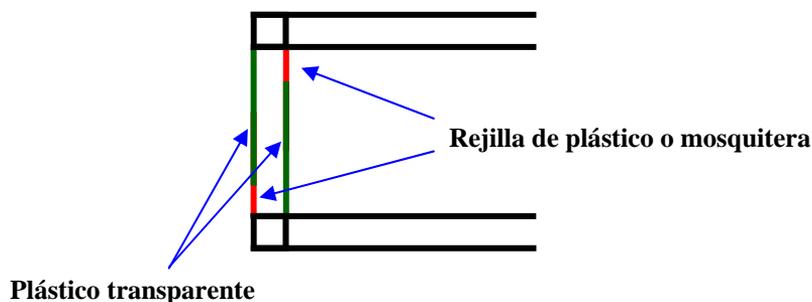


Figura 179. Entrada de aire en zigzag en el colector solar



Figura 180. Armazón de la cámara de secado, construida con puertas traseras para la entrada y salida de las bandejas (Lozano, I. 2013)

Con las soluciones de poner mosquitera para la entrada del aire y colocar puertas traseras para abrir y cerrar la cámara de secado para las bandejas, se encargaron tres deshidratadores adicionales, que se pueden ver en la *figura 180*. De esta manera la APFG podía disponer de cinco unidades, tanto para la propia asociación como para las aldeas con las que trabajaba.

Quedaba consolidada así la primera fase de implantación del deshidratador en Burkina Faso. Su coste inicial era de 42.850 francos CFA de Burkina Faso, como se puede ver en factura de la *figura 181*, unos 65 euros al cambio actual.

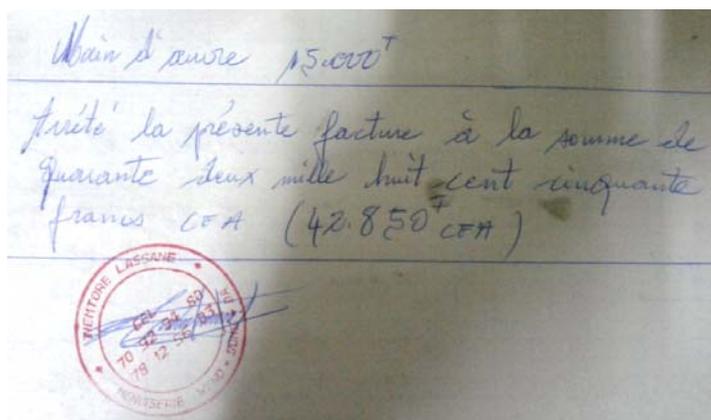


Figura 181. Presupuesto del primer deshidratador (Lozano, I. 2013)

Con puertas traseras se situaba en 60.000 francos, es decir, unos 91,5 euros. Estos costes eran inferiores a los 190 euros que costó en Valencia y aceptables para poder implantar el equipo, aún sabiendo que nos estaban cobrando un poco más de lo que costaría el mismo deshidratador si lo hubiese de pagar una persona o entidad de Burkina Faso.



Figura 182. Deshidratador terminado con las modificaciones y mejoras necesarias para Burkina Faso (Lozano, I. 2013)

6.5. Segunda fase en 2015.

Varias mujeres quedaron encargadas de seguir secando frutas y verduras, cuando nuestro alumno regresó a España, y mantener un contacto con nosotros para saber el grado de aceptación de los equipos y su nivel de utilización. En mayo de 2014 visitó la UPV Vivian Youl, secretaria de la APFG, que nos trajo algunas bolsas con alimentos deshidratados. Estaban etiquetadas para poder ser vendidas en los mercados de Gaoua y también en una tienda que la propia asociación posee, y los comentarios sobre la utilización del deshidratador que nos transmitió fueron positivos.

Se convocó una segunda beca Meridies que fue adjudicada a David Manuel López Fernández. Una parte de su trabajo consistió en preparar cuestiones de mejora de alimentación relacionadas con la elaboración de papillas enriquecidas para niños pequeños. La otra era seguir trabajando con el deshidratador solar y comprobar el estado de funcionamiento y aceptación en Burkina Faso a través de la APFG. Inicialmente iba a realizar una estancia a finales del año 2014, pero debido a la inestabilidad política del país su estancia se desarrolló durante cinco meses a partir de enero de 2015.

En los meses de septiembre y octubre de 2014 estuvo aprendiendo a manejar el deshidratador, realizando procesos de secado de mango, papaya y jengibre, alimentos muy comunes en Burkina. En estas pruebas pudo comprobar la eficacia del equipo, midiendo tanto los procesos de pérdida de peso de estos alimentos como la disminución de la actividad del agua durante el proceso de deshidratación de cada uno de los alimentos.

En la *tabla 24* se recogen los valores medios para la actividad del agua, sobre un proceso de deshidratación de varias muestras de cada uno de los alimentos. Estos datos nos indican que los valores de actividad del agua conseguidos con el deshidratador se sitúan por debajo del 60 % en los tres casos y en valores

Producto	Aw Inicial en %	Aw 19 h en %	Aw 23,5 h en %	Aw 29 h en %
Jengibre	99,06	58,67	55,90	46,38
Papaya	99,28	60,24	58,35	38,77
Mango	98,44	70,00	67,68	55,80

Tabla 24. Datos medios de actividad del agua Aw en distintos alimentos deshidratados con el equipo diseñado (López, D. M. 2015)

muy inferiores en el caso de la papaya, que alcanzó un 38,77 % y del jengibre, que se situó en un 46,38 %.

También el mango podría haber llegado a valores parecidos si se hubiese mantenido más tiempo secando, aunque hay que señalar que eran 29 horas de secado las que llevaban los alimentos cuando se midieron estos valores. Recordemos que estábamos en el mes de septiembre, la radiación solar disponible es menor a la que se tiene en Burkina Faso y la inclinación del deshidratador seguía situada en un valor menor de 10°, cuando la posición óptima en este mes para Valencia es de 38°. Dicho de otra manera, las sesiones de deshidratación que se hubieran de realizar en Burkina Faso tendrían mejores condiciones para el proceso y obtendrían mejores resultados en menos tiempo.

En enero de 2015 se trasladó a Burkina Faso. En relación con los deshidratadores la primera misión que tenía era comprobar el trabajo que se había hecho con ellos desde mayo de 2013 y revisar el estado en el que se encontraban, que se puede ver en las fotografías de las *figuras 183 y 184*. La previsión había sido que los cinco deshidratadores que se habían dejado en funcionamiento en abril de 2013 se hubiesen llevado a aldeas con las que trabaja la APFG, tras haber dado un curso de formación sobre deshidratación a mujeres de dichas aldeas.



Figura 183. Deshidratador en Burkina Faso en enero de 2015 (López, D. M. 2015)



Figura 184. Deshidratadores en Burkina Faso en enero de 2015 (López, D. M. 2015)

No se había hecho así. A finales de abril comienza la temporada de lluvias en Burkina Faso. Los deshidratadores se habían quedado en la APFG. Una parte se había dejado en el almacén y otros a la intemperie. No se habían seguido utilizando debido a las lluvias y el interés inicial había sido desplazado por las actividades que día a día requerían la atención de la asociación. Debido a ello los equipos tenían algunos plásticos rotos, varias partes cerradas se habían despegado y los que se habían quedado fuera de un recinto protegido estaban cubiertos de polvo.

Desde la APFG nos pidieron que volviéramos a poner en buenas condiciones de utilización los equipos, misión de la que se encargó David, reparando los plásticos dañados, y dejando los deshidratadores en buenas condiciones de funcionamiento. Nos pidieron también que se construyesen dos más, para proporcionárselos a siete aldeas con las que trabajan. David llevó los dos primeros equipos construidos al carpintero, para que les colocase puertas y encargó dos nuevos deshidratadores.

También había llevado más higrómetros analógicos y los calibró de forma sencilla para que las mujeres de la APFG supiesen cómo realizar el proceso, utilizando una disolución saturada de cloruro sódico (la sal que utilizamos en



Figura 185. Calibración de un punto de higrómetros de bajo coste realizada en Burkina Faso en enero de 2015 (López, D. M. 2015)

nuestras casas, saturada de agua), colocada en un lugar cerrado, tal como se ve en la *figura 185*.

Ya hemos comentado y así lo explicó en la APFG, que es una calibración básica, de un solo punto, pero está cerca de ese valor del 60 % que ha de servir como referencia para hacer las medidas de la actividad del agua de los alimentos deshidratados. Utilizó los higrómetros tanto para medir la actividad del agua, como para colocarlos dentro del propio deshidratador, sobre las bandejas en las que se sitúan los alimentos, tal como se puede ver en las fotografías de la *figura 186*, para comprobar valores de actividad del agua y temperatura y humedad dentro del deshidratador.



Figura 186. Utilización de los higrómetros una vez calibrados (López, D. M. 2015)



Figura 187. Bandejas con pimiento verde, manzana y cebolla dispuestas para deshidratar en Burkina Faso en enero de 2015 (López, D. M. 2015)

A partir de ese punto, comenzó a realizar pruebas de secado, con alimentos como papaya, mango, jengibre, plátano, tomate, cebolla, pimiento, pepino, berenjena o calabacín. Se combinaron con la continuación de la formación de las mujeres, insistiendo en que los productos debían cortarse en rodajas finas para conseguir que el tiempo de secado sea lo más reducido posible. Se puede ver en las fotografías de la *figura 187* que aunque el corte de la cebolla y el pimiento era fino luego ponían una gran cantidad de producto en cada una de la bandejas, con lo que al final el proceso de secado empleaba más de un día y, a veces, más de dos.

En las fotografías de las *figuras 188* y *189* se pueden ver bandejas preparadas e introducidas en el deshidratador, para el secado de papaya, mango, tomate y otros alimentos, deshidratados en febrero de 2015. El proceso tuvo lugar sin incidencias, consiguiendo llegar al secado total de los alimentos en un día y medio, a pesar del notable grosor de buena parte de las rodajas.



Figura 188. Alimentos preparados para iniciar el proceso de deshidratación en las instalaciones de la APFG en Gaoua en febrero de 2015 (López, D. M. 2015)



Figura 189. Alimentos avanzando en el proceso de deshidratación, en los que se puede observar la reducción de tamaño (López, D. M. 2015)



Figura 190. Alimentos secos y preparados para su venta (López, D. M. 2015)

Una vez secos los alimentos se metieron en bolsas y se cerraron, tal como se ve en la *figura 190*. Luego se llevaron a una exhibición de productos tradicionales producidos por mujeres, celebrada en una entrega de premios organizada por la APFG. Es un foro en el que también se imparten charlas para motivar a las mujeres y hacer que reafirmen su importancia dentro de la sociedad en la que viven. Se aprovecharon estas charlas para ofrecer información sobre los productos deshidratados y explicar a las mujeres asistentes el funcionamiento del deshidratador solar, indicando sus ventajas respecto al secado tradicional al aire libre.

En esta fase del trabajo en Burkina Faso, en febrero de 2015, también se mejoraron los deshidratadores proporcionándoles ruedas, tal como se puede ver en la *figura 191*. El traslado del equipo en la UPV es fácil, sea con un pequeño



Figura 191. Incorporación de ruedas a los deshidratadores (López, D. M. 2015)

carro o incluso a mano, pero en Burkina Faso el suelo es de tierra y no es liso, por lo que se decidió acoplar ruedas a los deshidratadores.

Respecto a los trabajos de deshidratación realizados por David, solo encontró problemas en alguna ocasión con el tomate, puesto que tardó más tiempo en secarse y tuvo que dejarse más tiempo en el deshidratador, pero el cielo se nubló, haciendo que el proceso de secado no avanzase. Esto llevó a que el tomate acabase deteriorándose, contaminándose por el desarrollo de los microorganismos. El resto de alimentos tuvo un buen comportamiento y alcanzó niveles de actividad del agua del 55 % para la papaya, el jengibre, la banana o la cebolla y valores inferiores para otros alimentos, como el pimiento o la manzana que se situaron en el 36 % y el 35 % respectivamente.

Antes de trasladar los deshidratadores a las aldeas David impartió una jornada de formación a las mujeres que debían utilizarlos, explicando el funcionamiento del equipo y la forma de trabajo. Le plantearon algunas cuestiones importantes que se comprobaría al año siguiente si afectarían a la utilización del deshidratador, sobre todo dos:

- Los niños no tienen cuidado al jugar y pueden producir roturas en los plásticos del deshidratador.

- Los animales domésticos como gallinas o pollos van a estar alrededor del equipo y van a percibir que dentro del deshidratador hay alimentos, por lo que pueden intentar acceder a su interior para comérselos.

David también dedicó parte de su tiempo a comprobar el funcionamiento de un prototipo de horno solar, en el que estamos trabajando. En Valencia conseguimos superar los 100 °C, con un equipo construido en cartón. En la *figura 192* se puede ver el prototipo construido en Burkina Faso, que llegó a alcanzar los 140 °C. Es una línea de trabajo adicional, que nace a partir del deshidratador, para conseguir cocinar o hervir agua con energía solar.



Figura 192. Prototipo de horno solar probado en Burkina Faso (López, D. M. 2015)

6.6. Tercera fase en 2016.

Durante el año 2016 tuvimos dos alumnos en Burkina Faso. Javier Valero Relloso fue el primero y estuvo entre enero y abril, de nuevo en la APFG en Gaoua. La segunda fue María Noel Márquez Rivero y estuvo entre los meses de septiembre y diciembre en Arbollé, en la zona norte del país, comarca de Yako, trabajando con la asociación ASFES (Association Solidaire avec les Femmes et les Enfants du Sahel), aunque también se desplazó hasta Gaoua para comprobar la situación de los deshidratadores y recoger datos necesarios para otros trabajos de cooperación que venimos desarrollando.

En ambos casos, trabajamos con cada uno de los alumnos en la UPV en los meses previos a su viaje a Burkina, para que entendiesen el funcionamiento del deshidratador y la forma en que se aplica. Participaron en varias tandas de deshidratación e hicieron medidas en la línea descrita para los alumnos anteriores. También comenzaron a preparar las sesiones de formación que debían impartir en Burkina Faso. Para ello realizamos en Valencia varios encuentros con David, del que aprovecharon la experiencia adquirida en su estancia en 2015.

Ya en Burkina Faso, Javier continuó con el trabajo realizado en los años anteriores y comprobó que las termitas afectan al deshidratador atacando la madera con la que está construido. Era una cuestión que el carpintero nos había dicho que podría ocurrir y que nos había trasladado en 2015 a través de David. Ahora comenzaba a hacerse visible. María pudo comprobar en diciembre de 2016 que las termitas habían afectado de forma importante a varios de los deshidratadores. Una primera acción necesaria a partir de esta experiencia es la de proteger el equipo con un tratamiento anti termitas, cuestión esta que, de nuevo, surge de la experiencia en el lugar de destino y que en la UPV no nos habíamos planteado.

Javier también recibió algunas sugerencias de las mujeres de la asociación. Nos pedían que preparásemos un equipo de mayor tamaño, que tuviese capacidad para tratar más alimentos en cada tanda. También querían que no hubiese que ir moviendo el equipo, ellas disponen de espacio en las instalaciones de la APFG para que esté fijo todo el año, aún siendo el nuevo equipo que nos piden de mayor tamaño, capaz de procesar 30-40 kg de alimento en cada tanda.

Tendría que ser más robusto, puesto que no querían que se desmontase en la época de lluvias y debería ser capaz de permanecer intacto estando a la intemperie. Es una línea de diseño diferente a la actual, puesto que un equipo de estas características no está destinado al ámbito familiar. Estamos trabajando en él ahora, aplicándole la experiencia adquirida con el deshidratador solar objeto de este trabajo.

Los equipos que se habían quedado en la APFG estaban guardados y sin usarse, aunque mantenían un buen estado de conservación. Desde la dirección de la asociación le transmitieron la idea de que necesitan rentabilizar más el trabajo de deshidratar alimentos, puesto que otros trabajos de los que realizan les reportan más beneficios por cada hora empleada. Este es un dato importante, que ahonda en lo expresado en el punto 6.1, en el sentido de que hay que entender las necesidades del destinatario para que el equipo sea integrado en su vida cotidiana y su implantación tenga éxito.

Constatamos de esta manera que la euforia inicial en cuanto a las posibilidades de aplicar el deshidratador había dejado paso a una necesidad de rentabilizar económicamente más el proceso. La APFG tiene trabajando y con sueldos a muchas mujeres y el tiempo empleado en deshidratar y comercializar los alimentos ya procesados era menos rentable que otros trabajos que realizan y tienen ya sistematizados. Desde ese punto de vista se les quedaba corto el alcance del deshidratador familiar diseñado.

A pesar de ello, Javier volvió a poner en marcha los equipos y realizó junto a las mujeres de la APFG nuevas tandas de deshidratación de alimentos, entre ellos piña, plátano, tomate, pepino o mango. En las fotografías de la *figuras 193 y 194* se pueden ver algunos de los procesos que llevó a cabo en enero y febrero de 2016.



Figura 193. Preparación del producto y deshidratación en Gaoua, Burkina Faso, durante febrero de 2016 (Valero, J. 2016)

En las tandas de secado se colocaron los medidores de temperatura y humedad en distintas partes del equipo, tal como se ve junto al tomate en la bandeja de la fotografía 1 de la *figura 194*, para comprobar los valores que se alcanzaban. Se dispusieron en las bandejas, en el colector solar y en la salida del aire del colector solar hacia las bandejas.



Figura 194. Productos dentro del deshidratador a mitad del proceso de secado, en Gaoua, en febrero de 2016 (Valero, J. 2016)

Tª ambiente °C	Tª salida colector °C	Tª bandeja 1 °C	Tª bandeja 2 °C	Tª bandeja 3 °C	Tª bandeja 4 °C
29	43	32	32	34	34
30	48	40	42	40	42
32	50	44	42	40	42
32	56	47	46	46	48
37	65	44	48	44	48
37	65	52	52	54	52
40	68	52	54	54	54
43	68	52	54	50	54

Tabla 25. Temperatura ambiente y temperaturas en el aire del colector solar y de las bandejas, siendo la número 1 la situada más abajo y la número 4 la que está más arriba (Valero, J. 2016)

Los valores que se obtuvieron en cada zona del equipo están recogidos en la *tabla 25*. A primeras horas de la mañana, con la temperatura ambiente de 29 °C y el sol en una posición que no es óptima respecto al colector solar, las temperaturas aumentan en el colector hasta los 43 °C, mientras que en las bandejas se sitúan entre 32 °C y 34 °C.

A medida que va avanzando el día la temperatura ambiente aumenta y también mejora la posición relativa del colector solar respecto al sol, que se va elevando en el horizonte. Con una temperatura ambiente de 32 °C el colector solar la eleva hasta 50 °C y en las bandejas tenemos entre 40 °C y 42 °C.

En otros momentos en que la temperatura ambiente sigue siendo de 32 °C la temperatura del colector sube hasta 56 °C, siendo de entre 46 °C y 48 °C en las bandejas. Hay que tener en cuenta que el equipo tiene una pequeña inercia térmica que hace que aunque la temperatura exterior pueda disminuir en un momento dado, las temperaturas en el interior se mantengan, y también a la inversa, aunque la temperatura exterior se incremente tardará varios minutos en ir trasladándose ese aumento a las temperaturas en el interior.

Con temperaturas exteriores más altas, en las horas centrales del día, el sol está en su posición óptima de perpendicularidad respecto al colector, que llega a alcanzar temperaturas de 68 °C en el aire que está saliendo hacia las bandejas. En ellas las temperaturas llegan a situarse hasta en 54 °C, una temperatura óptima para el secado de la mayor parte de frutas y hortalizas.



Figura 195. Posición a la salida del colector solar de los dos tipos de termómetros utilizados para hacer las medidas (Valero, J. 2016)

Recordemos que aunque estas pruebas se realizaron en el mes de febrero de 2016, éste es uno de los meses de mayor radiación disponible en Burkina Faso, equivalente en sus niveles a los que en España tenemos en junio y julio, tal como se vio en el apartado 3.8.

También y como puntualización respecto a la precisión de los aparatos de medida, recordar que no son de precisión, pero son de bajo precio, en la línea de todo el equipo diseñado, y son los que se han dejado en Burkina Faso. Además, se han calibrado tal como se ha explicado con anterioridad y, en el caso de la temperatura, se ha contrastado con un termómetro de mercurio de mayor precisión, para comprobar que las medidas eran correctas.

En cualquier caso, se trata de valores y medidas con las que queremos tener una aproximación a cómo se están distribuyendo las temperaturas en el interior del deshidratador. Queremos tener una idea aproximada de lo que está ocurriendo en la bandeja situada más abajo y la que está más arriba y si se producen diferencias notables entre los procesos de deshidratación de los alimentos que colocamos en unas y otras.

Los resultados obtenidos tanto en Burkina Faso como en la UPV nos indican que no hay diferencias significativas de temperaturas entre unas bandejas y otras. El aire caliente llega primero a la bandeja que está más abajo y pierde parte de su capacidad para secar los alimentos, pero es un valor mínimo, tal como se puede ver en la tabla de temperaturas obtenidas en Burkina Faso. A pesar de ello, en las jornadas de formación impartidas en Burkina Faso sugerimos



Figura 196. Medición de la actividad del agua en tomate y pepino ya secos y preparación del tomate aplicándole sal al comienzo del proceso (Valero, J. 2016)

que una o dos veces al día se realice la rotación de las bandejas, cambiando su posición, sobre todo si unos alimentos tienen un proceso de secado más rápido que otros y, por tanto, se pueden situar en la bandeja de arriba.

Dentro de las actividades de formación, Javier también trasladó a las mujeres de la asociación ideas sobre la preparación de algunos alimentos para mejorar las condiciones del proceso de deshidratación. Son productos como el tomate, que suele dar problemas cuando no se deshidrata completamente o el proceso se alarga debido al cambio de las condiciones meteorológicas. Se puede mejorar el proceso de secado aplicando sal sobre el tomate, tal como se puede ver en la fotografía inferior de la *figura 196*.

La sal se combina con parte del agua libre que tiene el tomate, haciendo que baje la actividad del agua en el alimento, al quedar atrapada en la sal. Esto se refleja en la actividad del agua en el producto al final del proceso de secado, que se sitúa en menos de un 15 %, tal como se aprecia en el medidor que se puede ver en la propia *figura 196*, introducido en la bolsa de tomate.

Javier también realizó actividades de formación en varias escuelas. En marzo de 2016 estuvo explicando la teoría y la práctica de la deshidratación de alimentos en la escuela infantil de Djindjinlin, tal como se puede ver en las fotografías de la *figura 197*. Encontró un gran interés sobre el deshidratador por parte de los profesores, que le explicaron que tienen terrenos en la escuela en los que realizan sus propios cultivos.



Figura 197. Presentación del deshidratador en una escuela infantil (Valero, J. 2016)

En vista del interés demostrado, trasladó uno de los deshidratadores que estaban en la APFG, para que la clase teórica que había impartido en el colegio tuviese como complemento una parte práctica. Junto a profesores y alumnos prepararon varias frutas, cortándolas, poniéndolas en las bandejas y llevándolas hasta el deshidratador, haciendo un seguimiento del proceso de secado, tal como se ve en las fotografías de la *figura 198*.

Pudo constatar el interés por el equipo diseñado, puesto que vieron una posibilidad sencilla y real de conservar los posibles excedentes de producción que tenían en sus propios cultivos. Este hecho nos vuelve a situar ante la cuestión ya comentada de entender las necesidades de los receptores de nuestro diseño, para que consiga superar esa fase de interés inicial y consiga establecerse entre



Figura 198. Utilización del deshidratador en la escuela infantil (Valero, J. 2016)

sus rutinas de trabajo y en su vida cotidiana. Será la única manera de dar continuidad a su utilización.

Javier todavía aportó un tema interesante adicional, sobre la posible utilización de la fruta deshidratada. Entre las actividades de formación en la APFG y en diversos colegios, estuvo la fabricación de caramelos enriquecidos con miel y moringa, una planta de crecimiento rápido que posee una gran cantidad de nutrientes y excelentes propiedades alimenticias (Folk-Aard, G. K. 1994, Gopalakrishnan, L. 2016).

Entre los ingredientes a sumar a los caramelos, añadió mango deshidratado y cortado en pequeños fragmentos, colocándolo directamente sobre el molde, antes de verter azúcar preparado e hirviendo sobre el propio molde, tal como se puede ver en las fotografías de la *figura 199*. Una vez enfriado se dispone de



Figura 199. Fabricación de caramelos enriquecidos (Valero, J. 2016)

caramelos que tienen un poder nutritivo mejorado y que pueden ser aceptados de forma fácil por los niños que, como en otros países pueden no ser propensos a comer fruta, en general, y sí a comerse los caramelos. Los niños se habían acercado con su interés infantil hasta el deshidratador y habían probado incluso la fruta ya seca. Ahora se daba un paso más, y se la comían, sin darse cuenta de ello, a través de los caramelos.

Los repartió entre niños y también entre adultos, en las escuelas en las que se estaba impartiendo la formación, tanto en deshidratación como en fabricación de caramelos. Se hizo una degustación entre 350 niños y adultos de los distintos tipos de caramelos, tal como se puede ver en las fotografías de la *figura 200* y la aceptación fue inmediata. En lo que se refiere al equipo objeto de



Figura 200. Degustación de los caramelos enriquecidos (Valero, J. 2016)



Figura 202. Secado directo al sol de granos de habas (Valero, J. 2016)

figura 202, en la que una mujer seca granos de habas, para luego elaborar harina con la que preparar papillas para bebés. Sin embargo, los deshidratadores que se habían llevado hasta las aldeas en abril de 2015, en varios casos, no se estaban utilizando. Como ya hemos señalado, es fundamental que se integren los procesos en la vida cotidiana de las personas y la preparación de productos comercializables puede ser un camino acertado.

En 2015 se había dado la formación sobre deshidratación para las mujeres de las aldeas en abril, momento en el que comienza la temporada de lluvias en Burkina Faso. Apenas utilizaron el equipo y, comenzadas las lluvias, no pudieron seguir usándolo para comprobar que obtenían un beneficio económico y/o personal con los alimentos secados.

En 2016 comprobamos que, en algunas aldeas, de los deshidratadores se mantenía el armazón de madera pero el plástico había desaparecido. Al preguntar qué había pasado y dónde estaba el plástico, indicaron que se había utilizado para tapar goteras en sus cabañas y casas. Era una necesidad mucho más inmediata que el posible beneficio futuro que se pudiese obtener con el deshidratador. Éste es un dato importante y no debe llevarnos a pensar que se trata de una falta de formación o de capacidad en las mujeres que se hicieron cargo de estos deshidratadores.



Figura 203. Caramelos embolsados y preparados para su venta (Valero, J. 2016)

Como nos señalaba acertadamente David, becario de 2015 que volvió en visita personal a Gaoua en 2016, esas mismas mujeres elaboran desde hace varios años, con todo cuidado y adoptando las medidas higiénicas necesarias, manteca de karité. Se comercializa a través de la APFG y obtienen de ella un rendimiento económico que han incorporado a su vida cotidiana.

La posibilidad de que el deshidratador solar diseñado consiga una implantación estará condicionada a que ocurra algo similar y las personas que lo tienen que utilizar perciban que les proporciona un beneficio personal y/o económico. Se puede conseguir, por ejemplo, elaborando caramelos como los que se muestran en la *figura 203* y vendiéndolos embolsados, además de vender las frutas deshidratadas y embolsadas, tal como las veíamos en la *figura 201*.

Desde ese punto de vista la formación en el tema de la deshidratación y el trabajo con el equipo diseñado debe realizarse antes de la temporada de lluvias, preferiblemente a final de año, en los meses de noviembre o diciembre. De esa manera tendrán luego los cuatro primeros meses del año siguiente para trabajar en este campo y comprobar los beneficios que les proporciona.

Por ello, la siguiente alumna que enviamos estuvo en Burkina Faso entre los meses de septiembre y diciembre de 2016. Su destino fue Arbolle, una zona situada al norte y muy alejada de Gaoua. Su trabajo estaba enfocado en dos líneas de actuación: instalaciones de suministro eléctrico con energía solar fotovoltaica y la deshidratación de alimentos y las posibilidades que ofrece el deshidratador diseñado en nuestro trabajo.

María explicó inicialmente a los miembros ASFES, la asociación local con la que tenía que trabajar durante su estancia, las cuestiones relacionadas con la



Figura 204. Deshidratador construido en Arbolle a final de 2016 (Márquez, M. N. 2016)

deshidratación de alimentos. El interés por parte de las mujeres de las aldeas vinculadas a ASFES, fue inmediato.

Se construyó un nuevo equipo, del que se puede ver una vista lateral trasera en la *figura 204*. Se utilizó malla mosquitera fina para las entradas y salidas de aire y para las bandejas, y se incorporaron los elementos de diseño corregidos a partir de la experiencia previa en Gaoua y también las mejoras introducidas en 2016 en la UPV, como:

- Utilización de doble cámara de plástico para los laterales, el frontal y la parte de abajo del colector solar.
- Puertas traseras para la colocación y extracción de las bandejas.
- Utilización de enrollado de los plásticos excedentes para cerrar las uniones entre las dos partes del deshidratador, y de pinzas para retener los plásticos enrollados.

María realizó sesiones de formación sobre higiene y preparación de los alimentos, proceso de secado y posterior proceso de conservación, así como sobre el concepto y la medición de la actividad del agua. A partir de esa formación, las mujeres estuvieron deshidratando alimentos locales, para poner en práctica los conocimientos adquiridos.

En las fotografías de la *figura 205* se pueden ver bandejas con tomate y mango, preparadas para su deshidratación y ya dentro del equipo en medio del proceso de secado. Sirvan para ilustrar el trabajo realizado por María en Arbolle, sobre el que no nos vamos a extender más, dado que siguió pautas similares a las comentadas respecto a las estancias de los alumnos que estuvieron en Gaoua en 2013, 2015 y 2016.

La aceptación del deshidratador solar familiar en Arbolle ha sido rápida y las mujeres a las que va destinado mostraron un gran interés tanto en el proceso de formación como en las prácticas realizadas con el equipo. De hecho, insistieron a María en que al volver a España nos trajese bolsas con alimentos deshidratados por ellas, para demostrar que habían estado trabajando con el deshidratador y aprovechando sus posibilidades. En principio ésta es una buena



Figura 205. Deshidratación en Arbolle en noviembre de 2016 (Márquez, M. N. 2016)

señal, al igual que las impresiones que nos transmitió María respecto a la utilización del equipo. También la época del año es la adecuada, puesto que durante los meses de enero a abril de 2017 han podido aplicar los conocimientos adquiridos y utilizar solas el equipo, comprobando la posibilidad de comercializar los productos deshidratados y obtener rentabilidad del equipo, además de acumular alimentos para su propio consumo en momentos posteriores a su deshidratación.

Tendremos que comprobar cómo ha evolucionado ese trabajo iniciado en Arbolé y los problemas que hayan podido surgir durante este año 2017. En ese sentido, en septiembre enviamos a Burkina Faso un nuevo alumno, que seguirá trabajando en la línea de deshidratación de alimentos. También enviamos dos alumnos adicionales a Ghana y Senegal con otros trabajos de cooperación asignados, pero que además verán la posibilidad de introducir el deshidratador solar y los conceptos de deshidratación de alimentos que hemos tratado en este apartado.

A la vez estamos trabajando en el diseño del deshidratador de mayor tamaño que nos pidieron desde la APFG, con vistas a probarlo en la UPV y poder construirlo en Burkina Faso en los próximos años.

7. Manual de construcción del deshidratador.

Cuando enviamos al primer alumno a Burkina Faso estábamos en una primera fase de utilización del equipo y no disponíamos de un manual de construcción. Al indicarnos desde allí que las mujeres de la APFG querían que se construyese en ese momento un primer equipo tuvimos que preparar un primer manual de forma urgente, a partir de los primeros planos básicos que habíamos preparado para el carpintero que construyó en Valencia el deshidratador que desde 2013 venimos utilizando en la UPV.

Con posterioridad nos han ido pidiendo el equipo personas particulares que lo han visto en funcionamiento en los experimentos que hemos ido haciendo en la UPV así como asociaciones que han encontrado información en Internet sobre el deshidratador diseñado. También la presentación del equipo en congresos como el CUIEET de Valencia o el de Bilbao en 2016 sobre Investigación en Innovación Educativa Compromiso Social y otras Competencias Transversales: Estrategias y Experiencias de Enseñanza-Aprendizaje Universitario, nos han puesto en contacto con personas y entidades que estaban interesadas en el trabajo realizado.

Fruto de ello ha sido la preparación de un manual constructivo básico de nuestro deshidratador. Está hecho en formato A-4 y las 18 páginas que lo forman se recogen en las *figuras 206 a 224*. Las tres primeras páginas muestran vistas de perfil, desde arriba y de frente, con indicación de las dimensiones y textos que explican las partes que componen el equipo y los elementos con los que se construye. A partir de la cuarta página tenemos distintas vistas del equipo montado en la UPV con indicaciones de tipo constructivo y también de los elementos que componen el deshidratador.

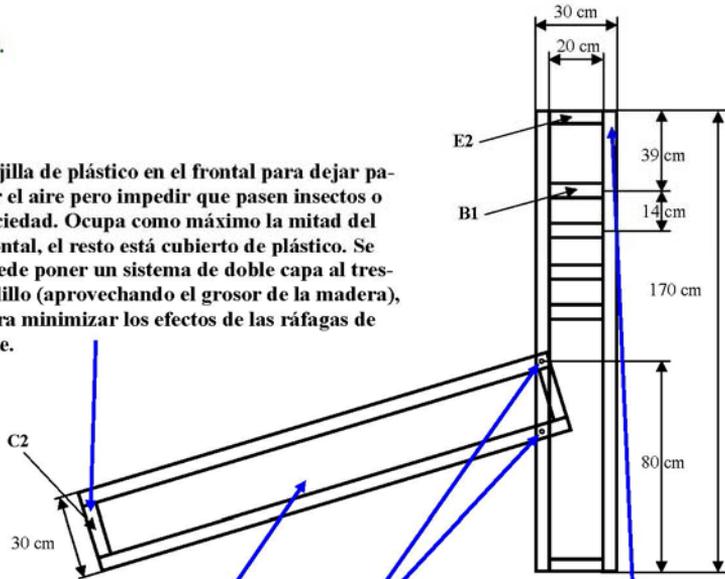
Entre la página 7 y la 10 tenemos fotografías de los equipos montados en Burkina Faso. A partir de la 11 tenemos vistas del equipo de la UPV trabajando, con las bandejas llenas de frutas para comenzar su proceso de secado. Se incluyen dos páginas más con vistas de la fruta al comienzo del proceso y al finalizar el mismo y cuatro páginas con las curvas de pérdida de peso de cuatro alimentos, explicando cuándo se ha producido una deshidratación completa y cuándo el proceso de secado no ha quedado completado.

Este manual es fruto de mejoras sucesivas a lo largo de los últimos cuatro años. Actualmente estamos preparando una publicación en formato libro, que recoge planos detallados, información sobre deshidratación, medición de la actividad del agua y fotografías del proceso de secado de distintos alimentos.

Deshidratador de alimentos.

Vista lateral.

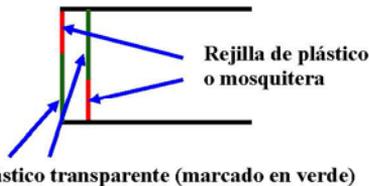
Rejilla de plástico en el frontal para dejar pasar el aire pero impedir que pasen insectos o suciedad. Ocupa como máximo la mitad del frontal, el resto está cubierto de plástico. Se puede poner un sistema de doble capa al tresbolillo (aprovechando el grosor de la madera), para minimizar los efectos de las ráfagas de aire.



Colector solar para elevar la temperatura del aire. El aire caliente asciende y pasa por las bandejas, al tener menos peso que el aire ambiente.

Agujeros para situar los pasadores con lo que se unen el colector y el dispositivo vertical que soporta las bandejas

Situación de la rejilla de salida del aire caliente, que va evacuando el agua que extrae de los alimentos

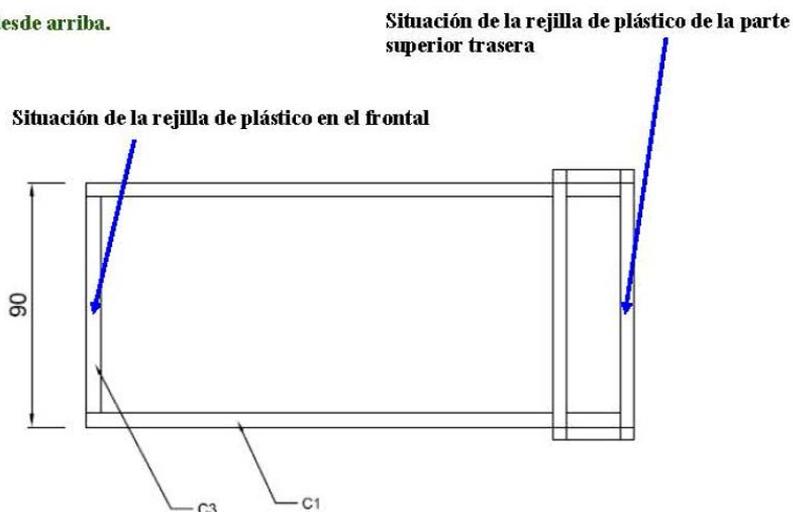


Posible disposición del frontal del colector, al tresbolillo, por el que entra el aire a temperatura ambiente, para calentarse en el interior del colector. También se puede poner una sola capa de rejilla y plástico transparente y poner un cartón o algún otro elemento externo, que minimice los efectos de las ráfagas de aire.

Figura 206. Página 1 del manual con la vista lateral, dimensiones e indicaciones constructivas, incluida la entrada del aire al tresbolillo para evitar que entre polvo

Deshidratador de alimentos.

Vista desde arriba.



Se puede utilizar malla de mosquitera para sustituir la rejilla de plástico.
 Cuanto más fina sea menos insectos y suciedad entrará en el colector.
 Solo tiene que dejar pasar el aire del exterior.

Dimensiones de cada uno de los elementos del deshidratador.
 Se puede hacer más largo el colector (por ejemplo 10 ó 20 cm más largo) para que caliente más cantidad de aire:

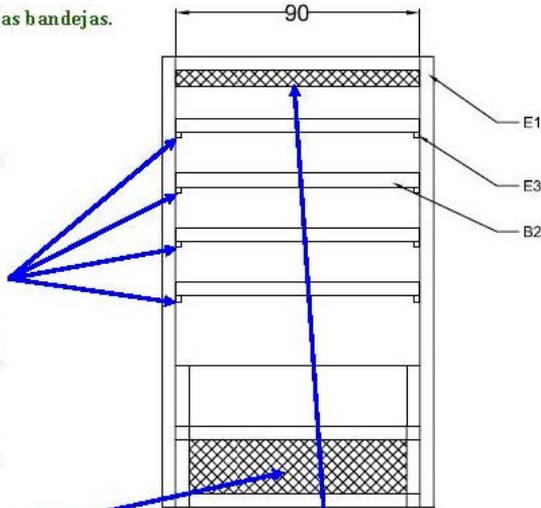
PARTE	Nº	ID	LONGITUD (m)
COLECTOR HORIZONTAL	4	C1	1,8
	4	C2	0,2
	4	C3	0,8
ELEMENTO VERTICAL PARA LAS BANDEJAS	4	E1	1,7
	2	E2	0,2
	12	E3	0,3
BANDEJAS	10	B1	0,9
	2	B2	0,3

Figura 207. Página 2 del manual con la vista desde arriba, indicación de anchura y dimensiones en una tabla de todos los elementos del equipo

Deshidratador de alimentos.

Vista frontal y posición de las bandejas.

Los apoyos laterales de las bandejas son también de un grosor de 5 cm. Pueden hacerse de menor grosor y fijarse a los laterales. También se pueden hacer empotrados con el marco lateral y dejar un pequeño saliente sobre el que apoye la bandeja, quedando tal como se ve en la figura. De esta forma da más estabilidad al conjunto.



Situación de la rejilla de plástico en el frontal. Se ha dibujado en toda la dimensión frontal, pero debe ocupar solo la mitad de la misma. Tal como se ha indicado en la primera página.

Situación de la rejilla posterior del dispositivo vertical. El plástico transparente que cubre la parte posterior se corta de manera que pueda cubrir incluso la rejilla. De esta forma se puede fijar a más o menos altura a voluntad y permite regular la salida del aire.. Este plástico está cogido mediante velcro a las maderas, de forma que se pueda abrir la parte trasera a voluntad, para poner o quitar las bandejas con los alimentos. En zonas de temperaturas muy altas el velcro se despegue de la madera, por lo que hay que poner en la parte posterior unas puertas con bisagras, en vez de cubrir las con plástico.

Los plásticos son transparentes para el colector horizontal en la parte de arriba y negro para los laterales y la parte de abajo.

Es negro para la parte frontal y superior del dispositivo vertical en el que se ubican las bandejas, para que el sol no incida directamente en los alimentos, dado que perjudica a las vitaminas que contienen los alimentos. Es transparente para la parte trasera del dispositivo vertical y también para sus laterales.

Está fijado a la madera mediante grapas, dispuestas con regularidad. En las juntas se ha hecho la unión mediante cinta adhesiva transparente, que también puede servir para cerrar más el plástico sobre las maderas. En países con temperaturas altas la cinta adhesiva se despegue, por lo que es mejor utilizar solo grapas.

Figura 208. Página 3 del manual con la vista frontal e indicación de las posiciones de las rejillas y explicaciones sobre los plásticos a utilizar

Deshidratador de alimentos.

Vista del equipo ya montado.

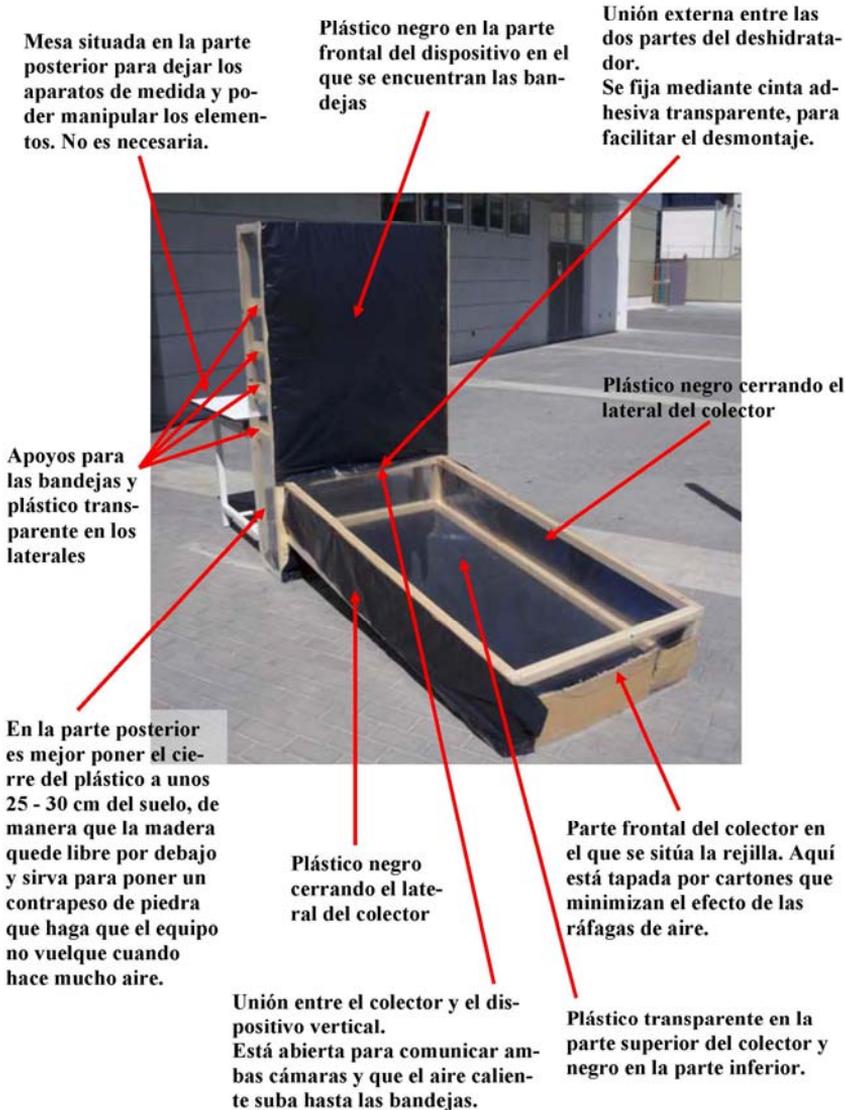


Figura 209. Página 4 del manual con la vista general del deshidratador construido y explicaciones de cada uno de los elementos y partes que lo componen

Deshidratador de alimentos.

Vista posterior del equipo ya montado.

Bandejas con alimentos deshidratándose, vistas a través del plástico posterior transparente.

Velcro que une el plástico posterior con la madera y que permite abrir la parte trasera para poner y quitar las bandejas.



Vista general del equipo montado, en el que se puede ver la mesa posterior que utilizamos para manipular aparatos de medida y elementos de trabajo. El plástico del lateral del colector llega hasta el suelo, pero no es necesario que esté así. Se puede cortar al tamaño del lateral del colector, cerrándose a la altura indicada en rojo, coincidiendo con la parte baja del colector, que entra sobre la parte vertical. De esta manera deja espacio para poner contrapesos de piedra.



Figura 210. Página 5 del manual con la vista general de perfil y vista trasera en la que se aprecia la colocación de las bandejas con los alimentos

Deshidratador de alimentos.

Vistas posteriores del equipo ya montado.



La parte superior del dispositivo trasero está cerrada con plástico negro. La parte inferior no es actualmente como se ve en las fotografías, sino que se ha cerrado a una altura de unos 30 cm para dejar espacio para poder poner contrapesos en los apoyos del dispositivo vertical, de manera que aumente su estabilidad. La situación del apoyo para cerrar con plástico se ha indicado en la fotografía de arriba en rojo. Se disponen listones de madera a ambos lados y debajo de la parte inferior en la que se sitúa el colector en su entrada hacia el dispositivo vertical.

Figura 211. Página 6 del manual con dos vistas traseras en las que se observan las bandejas y se dan indicaciones para un cierre mejorado del plástico posterior

Deshidratador de alimentos.

Equipo montado en Burkina.



Debido a las altas temperaturas, la parte posterior se ha construido con puertas y no directamente con plástico unido con velcro a la madera, puesto que acaba despegándose.

Figura 212. Página 7 del manual con el equipo montado en Burkina Faso en el que se han colocado puertas traseras para evitar los problemas con el velcro

Deshidratador de alimentos.

Equipo montado en Burkina.



Detalle de la parte posterior de los equipos de Burkina, en donde se ve el espacio que queda disponible para poner contrapesos con los que evitar que el aire vuelque el equipo.



Aunque se ve una piedra en un caso y dos en el otro, conviene poner más contrapeso para asegurar el equipo frente a ráfagas de aire.

Es conveniente situarlo en una zona que este resguardada del aire, puesto que cuando el aire incide sobre el equipo hace que la temperatura de trabajo en el interior baje unos grados. En cualquier caso, es un efecto que tiene poca influencia sobre el proceso, excepto que las ráfagas sean continuas.

Figura 213. Página 8 del manual con vista trasera del equipo utilizándose en Burkina Faso, con detalle de los contrapesos con piedras para evitar el vuelco

Deshidratador de alimentos.

Preparando los alimentos y deshidratando en Burkina.



Deshidratador de alimentos - Universitat Politècnica de València

Figura 214. Página 9 del manual con dos vistas del deshidratador funcionando en Burkina Faso

Deshidratador de alimentos.

Alimentos secos y empaquetados para su venta en Burkina.



Bombones y caramelos enriquecidos con mango deshidratado, fresa y otros complementos, como moringa o miel, y niños esperando para comérselos.



Figura 215. Página 10 del manual con alimentos envasados para su consumo y con la aplicación de frutas deshidratadas a la fabricación de caramelos

Deshidratador de alimentos.

Vistas del equipo ya montado en España.

Disposición de los alimentos sobre las bandejas. Vista trasera con el plástico posterior abierto.



Aparatos de medida para tomar temperaturas y radiación solar que incide sobre el plano del colector.

Figura 216. Página 11 del manual con vistas traseras en las que se pueden apreciar las bandejas llenas de alimentos y equipos de medida

Deshidratador de alimentos.

Bandejas con alimentos, dispuestos para el proceso de deshidratación.

En el orden en que se pueden ver las bandejas, de arriba hacia abajo, tenemos:

1. Ciruela y plátano
2. Tomate
3. Pepino y kiwi
4. Manzana



Figura 217. Página 12 del manual con una vista superior de las cuatro bandejas llenas de alimentos

Deshidratador de alimentos.

Detalle de los alimentos al comienzo del proceso:

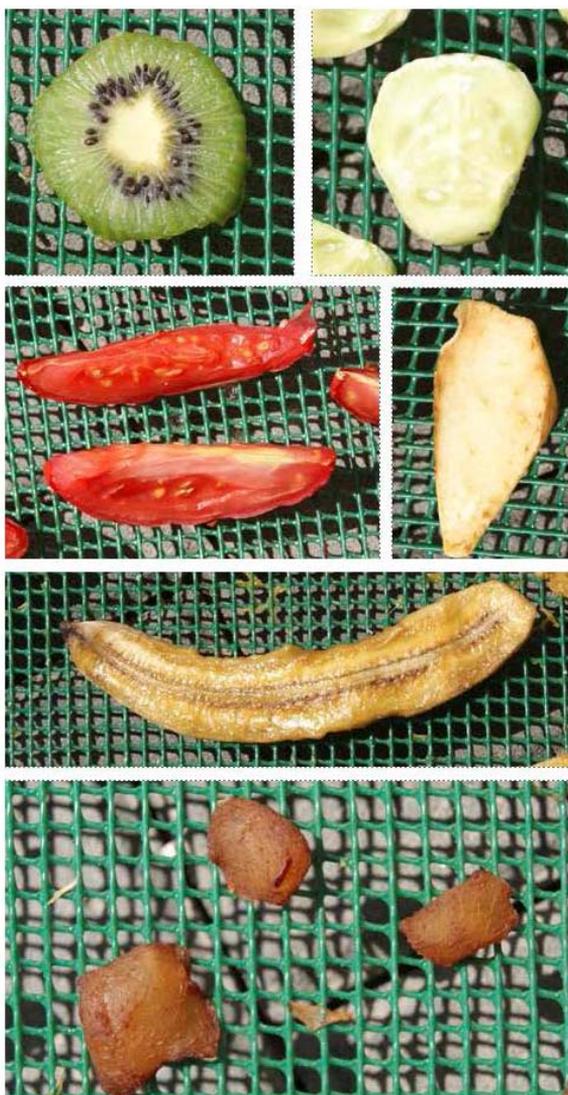


Figura 218. Página 13 del manual con la vista de distintas frutas al comienzo del proceso de secado

Deshidratador de alimentos.

Detalle de los alimentos al final del proceso:

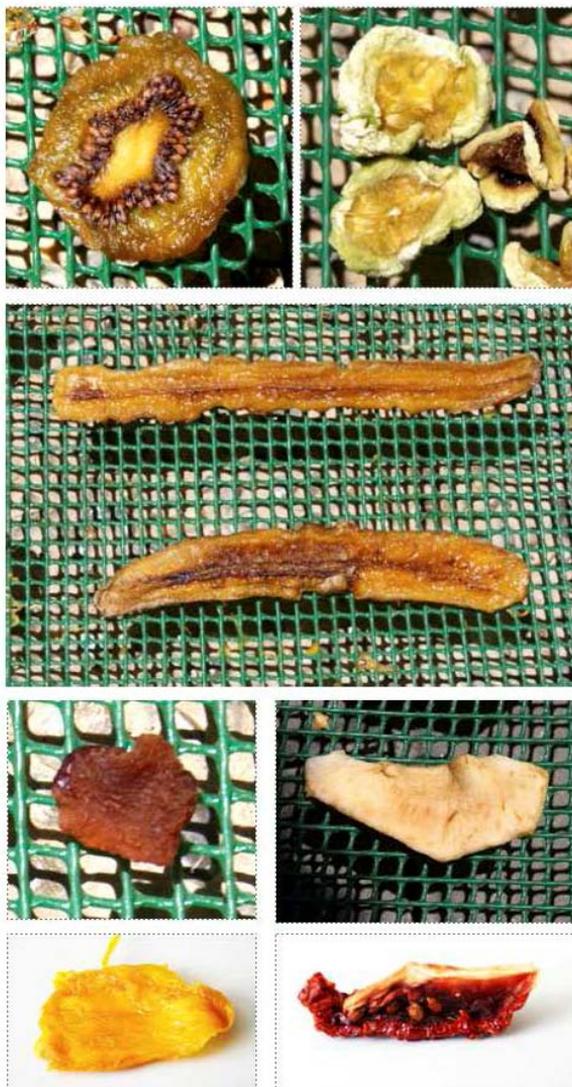


Figura 219. Página 14 del manual con la vista de distintas frutas al final del proceso de secado

Deshidratador de alimentos.

Proceso de secado de manzana. Al final del proceso el peso se estabiliza y casi no baja nada aunque estemos secando más horas.

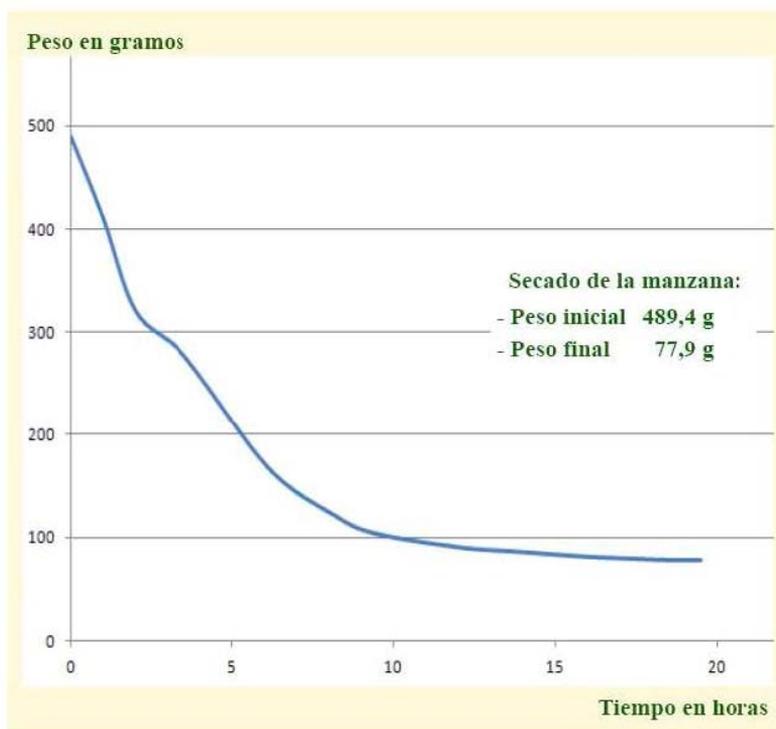


Figura 220. Página 15 del manual con la curva de pérdida de peso de la manzana e indicaciones del peso inicial y el peso final

Deshidratador de alimentos.

Proceso de secado de pepino. Al final del proceso el peso se estabiliza y casi no baja nada aunque estemos secando más horas.

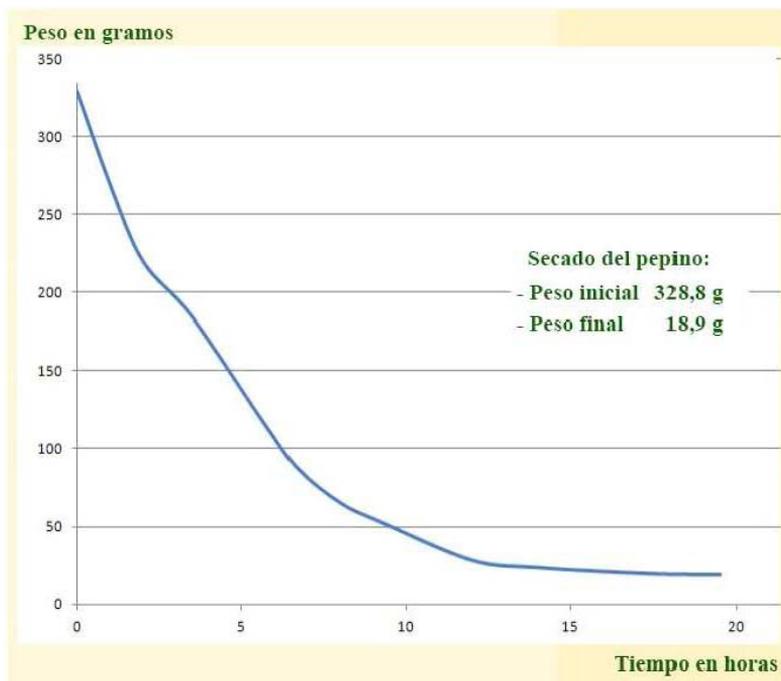


Figura 221. Página 16 del manual con la curva de pérdida de peso del pepino e indicaciones del peso inicial y el peso final

Deshidratador de alimentos.

Proceso de secado de Kiwi. Todavía se podía haber secado un poco más, puesto que el final de la curva no es tan estable como en los dos casos anteriores.

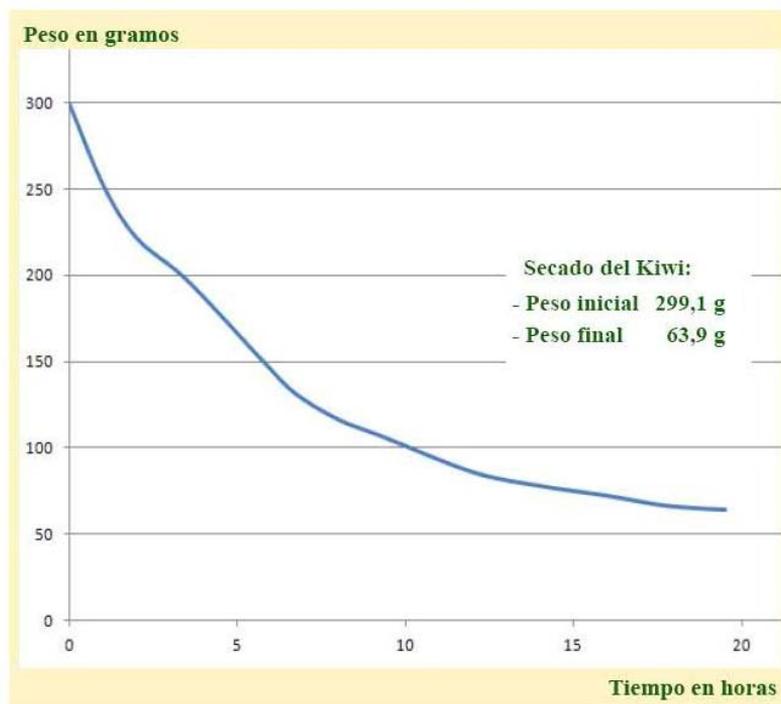


Figura 222. Página 17 del manual con la curva de pérdida de peso del kiwi e indicaciones del peso inicial y el peso final

Deshidratador de alimentos.

Proceso de secado de tomate. El final de proceso no se ha estabilizado. El secado se ha realizado de forma incorrecta. El alimento no queda estable y se acaba deteriorando.

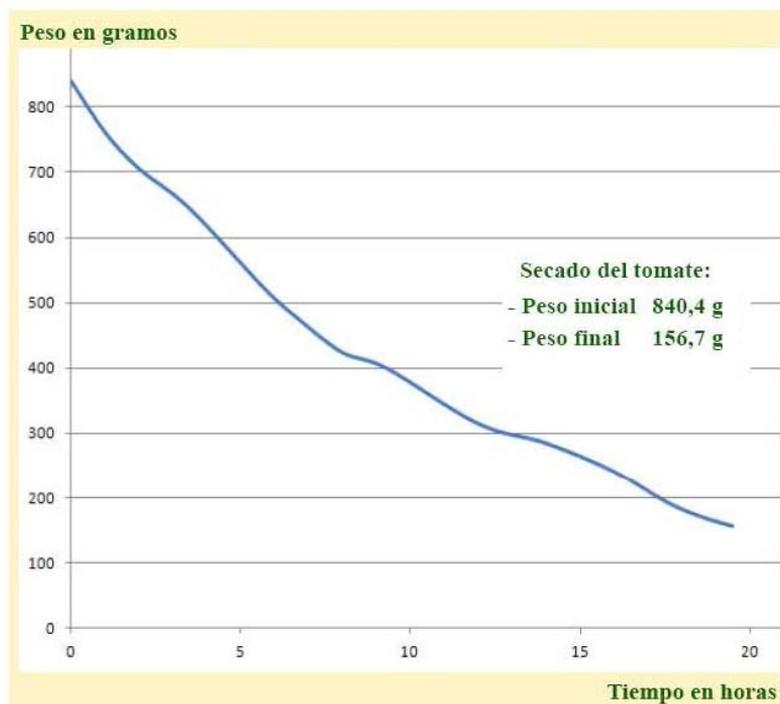


Figura 223. Página 18 del manual con la curva de pérdida de peso del tomate e indicaciones del peso inicial y el peso final

8. Aplicación del deshidratador a la docencia.

Desde el año 2013 hasta 2017 hemos realizado alrededor de 100 operaciones de secado de alimentos, colocando desde 4 a 8 frutas y verduras diferentes en cada tanda, dependiendo de si utilizábamos cada bandeja para un solo alimento o para dos.

Como se ha explicado, el proceso de deshidratación completo, mediciones incluidas, tiene lugar a lo largo de una jornada y media, siempre que el cielo esté despejado, los niveles de radiación sean altos y el corte de los alimentos se realice en láminas de entre 2 y 4 milímetros. Si el cielo está cubierto parcialmente o va alternando nubes y claros, el proceso puede hacerse más largo y emplear dos días completos. Necesita más tiempo incluso si los periodos nublados son más extensos que los soleados. Nos ha ocurrido en alguna ocasión que la previsión meteorológica era de días soleados, pero a media mañana ha comenzado a nublarse. Los días siguientes han seguido nublados y el proceso de deshidratado no se ha podido completar satisfactoriamente. Incluso en alguna ocasión ha llegado a llover mojando el equipo, aunque no los alimentos, que al estar en el interior han permanecido intactos.

En todos los días en los que hemos estado trabajando con el deshidratador en la UPV, situado en las calles adyacentes del edificio del DIE, se han acercado muchas personas interesándose por el proyecto. En algunos casos, sobre todo con alumnos que venían de Sudamérica, África y Asia, para decirnos que conocían procesos y procedimientos similares. Algunas de estas personas incluso tenían o habían trabajado con algún equipo de deshidratación mediante energía solar. La mayor parte, sin embargo, no sabían de qué trataba el tema del secado de alimentos ni para qué se empleaba, y quedaban sorprendidas por la información que les íbamos proporcionando.

Bastantes de los que preguntaban por el equipo y su aplicación eran estudiantes que estaban en alguna de las asignaturas que imparto y, particularmente, en las de energías renovables y de energía solar fotovoltaica. Pensando precisamente en su procedencia creí que valdría la pena diseñar una práctica en la que los alumnos tuviesen que hacer un proceso de deshidratado.

También, y en relación con la docencia, algunos alumnos se han mostrado interesados en realizar el trabajo de fin de grado sobre el tema de la deshidratación de alimentos o del propio deshidratador. Incluso hemos añadido tareas de deshidratación de alimentos a los trabajos que realizan los estudiantes de formación profesional que realizan sus prácticas de empresa en el DIE.

8.1. Práctica de deshidratación de alimentos.

En el segundo cuatrimestre del curso 2012-2013 propuse una práctica solamente demostrativa para los estudiantes que de forma voluntaria quisieran participar en ella. Preparé una tanda de deshidratado en el laboratorio que la energía solar fotovoltaica comparte con la electroneumática, en el que normalmente hacemos la preparación del equipo. Tras una pequeña explicación sobre el tema del secado de alimentos y del deshidratador que iban a ver en funcionamiento, sacamos las dos partes del equipo hasta la calle lateral del DIE y entre todos ensamblamos el colector solar y la zona de secado.

Dejamos el equipo orientado al sol y subimos hasta el laboratorio para cortar los alimentos, pesándolos y distribuyéndolos en las bandejas, que una vez llenas llevamos hasta el deshidratador. Una veintena de alumnos y alumnas colaboraron en esta primera parte de preparación del equipo y de los alimentos. Les invité a que fueran acercándose durante el día para comprobar cómo íbamos midiendo y cómo evolucionaban los alimentos tratados. Algunos mostraron interés, dado que se trata de una materia poco difundida en las carreras técnicas. Otros se acercaron probablemente por compromiso, pensando que de no hacerlo podía influir negativamente en la nota de la asignatura y bastantes ni siquiera vinieron.

A raíz de esta experiencia comencé a trabajar en diseñar una práctica que fuese ya obligatoria a partir del curso siguiente, para los estudiantes que se matriculan en las asignaturas optativas de instalaciones de energías renovables o energía solar fotovoltaica. El objetivo es que entiendan que además de producir energía eléctrica con placas solares fotovoltaicas hay otras aplicaciones de la energía solar.

Un segundo objetivo, tan importante como el primero, es que nuestro alumnado tome conciencia de la situación económica y social de las personas que habitan buena parte del planeta. Que se planteen, quizás por primera vez en su vida, que en muchos lugares del mundo las personas no tienen acceso a la energía eléctrica y necesitan medios diferentes de los que utilizamos en nuestro país para la conservación de los alimentos.

Al necesitar dos jornadas para realizar el proceso y tomar medidas, no se puede hacer una práctica de tipo convencional, como las que normalmente desarrollamos en nuestros laboratorios, que suelen ocupar entre una y dos horas. Había que buscar una planificación diferente, puesto que no podemos tener a todos los estudiantes implicados en la práctica durante dos días completos, dado que podría provocar un rechazo de la misma (precisamente un efecto contrario al buscado).

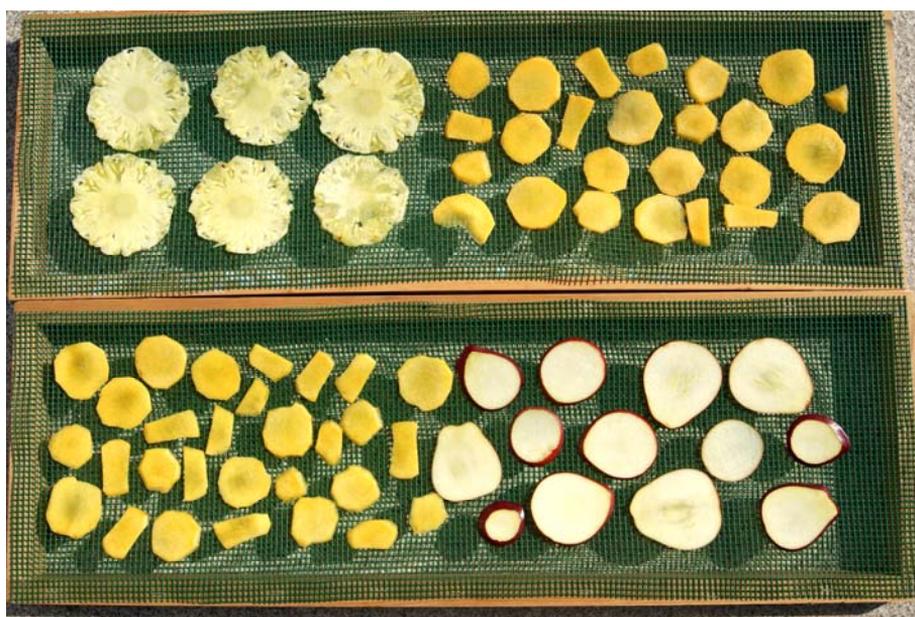


Figura 224. Dos bandejas con cuatro alimentos, preparadas por los alumnos para hacer la práctica de deshidratación

Ése es el motivo por el que la práctica la realiza un equipo formado por un máximo de ocho estudiantes, de manera que se puedan organizar para ir haciendo turnos de trabajo y realizar las medidas. Recordemos que el deshidratador dispone de cuatro bandejas. Cada una de ellas se utiliza para deshidratar dos alimentos, tal como se ve en la *figura 224*, de manera que cada dos estudiantes se hacen responsables de dos alimentos colocados en una bandeja.

De esta forma el trabajo es de todo el subgrupo de ocho estudiantes, aunque cada dos tienen su propia responsabilidad sobre dos de los alimentos estudiados. Trabajarán conjuntamente en el deshidratador durante los dos días que se necesitan para obtener las curvas de deshidratación de ocho alimentos diferentes. Cada grupo de ocho estudiantes deberá escribir un informe y presentarlo en clase, explicando todos los resultados y las particularidades que pudieran haber encontrado en el proceso.

La práctica comienza con una sesión conjunta para todos los alumnos y alumnas de la clase. Se les explican los conceptos básicos de deshidratación y el funcionamiento del deshidratador solar indirecto con el que van a trabajar. También el objetivo de la práctica a nivel de mediciones, para obtener de cada alimento las curvas de pérdida de peso respecto al tiempo. Se define la metodología de trabajo y cuál es el formato del informe que deben presentar con las medidas realizadas.



Figura 225. Ensamblado del deshidratador por parte de dos alumnos, a primera hora de la mañana

Tras esta sesión se asignan fechas sucesivas para el trabajo de cada subgrupo de ocho estudiantes. Son fechas iniciales, que posteriormente estarán condicionadas por la meteorología, puesto que elegiremos para la práctica días que sean soleados. Las asignaturas se imparten en el segundo cuatrimestre y la práctica se deja para final de curso, es decir, los meses de abril y mayo, en los que tenemos ya unas buenas condiciones meteorológicas, aunque a veces aparecen días nublados y hay que modificar las fechas previstas.

Una vez establecida la fecha de la práctica, se convoca a los ocho estudiantes del grupo en el laboratorio a las 9:00 de la mañana. Si quieren pueden traer ellos las frutas y verduras. De hecho, suelen preferirlo, dado que en muchos casos se las llevan al terminar la deshidratación para enseñarlas y darlas a probar a familiares y amigos. De no hacerlo así se les suministran en el laboratorio. La primera acción es bajar el equipo hasta la calle adyacente al edificio del DIE y montar el deshidratador, tal como se puede ver en la imagen de la *figura 225*. Se ensamblan sus dos partes y se cierran con los sobrantes de los plásticos que recubren cada zona del equipo los puntos de unión entre el colector y la cámara de secado.

De vuelta al laboratorio deben comenzar el proceso de cortado en láminas para cada una de las frutas y/o verduras. Lo realizan con cuchillo y, tal como se les ha explicado, con un grosor aproximado de entre 2 y 4 milímetros. Se van

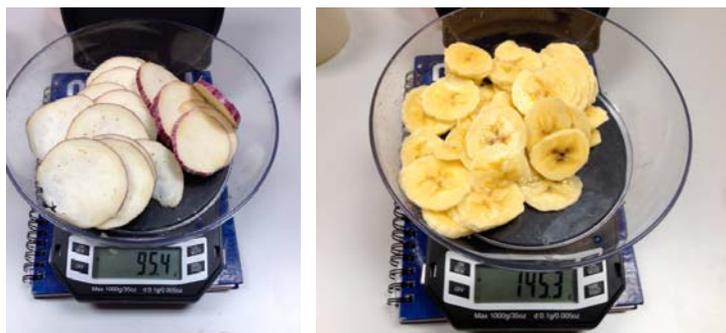


Figura 226. Proceso de pesado inicial de los alimentos realizado por los alumnos

colocando las láminas en la bandeja que les corresponde hasta completar media bandeja. Después se pesa cada uno de los alimentos, tal como se ve en la *figura 226*, se anota el peso inicial y se vuelven a colocar las láminas en las bandejas, tal como se ve en la *figura 227*, en la que se puede apreciar cómo los estudiantes han colocado la bandeja, de forma poco adecuada, encima de uno de los equipos electroneumáticos que utilizamos en ese mismo laboratorio.

Los estudiantes deben crear una tabla para ir anotando los pesos siguientes que se vayan midiendo. En el laboratorio disponen de ordenadores para hacerlo en un documento Excel en el que ir registrando estos datos y generar las curvas, aunque normalmente prefieren utilizar sus ordenadores portátiles, dado que las operaciones de pesado posterior se realizan junto al deshidratador y no en el laboratorio.



Figura 227. Bandeja con plátano y tomate



Figura 228. Estudiantes colocando en el deshidratador las bandejas con los alimentos, en la primera parte de la práctica

Cuando todos los alimentos han sido pesados y todas las bandejas están completas se llevan hasta el deshidratador, que ha ido cogiendo una cierta temperatura mientras se han ido preparando las bandejas. Se introducen en él, tal como se puede ver en la imagen de la *figura 228* y se deja que el equipo vaya trabajando secando los alimentos. Posteriormente se volverán a pesar cada hora y media, para obtener datos con los que realizar las gráficas. En ocasiones algunos grupos han presentado las medidas realizadas cada dos horas, aunque se pedía expresamente que lo hicieran cada hora y media.

Para que no suponga una gran carga de trabajo, cada grupo de ocho estudiantes organiza turnos para realizar las medidas. Cada proceso de pesado lo hacen dos de ellos, de forma que no tengan que estar todos en todas las mediciones. Cada dos realiza el pesado de los ocho alimentos, tomando los datos también de los otros seis alimentos que no tienen directamente asignados. Se propone así un trabajo de cooperación entre todo el grupo de trabajo, en el que se exige una responsabilidad colectiva en la toma de datos. Cada estudiante puede y debe exigir responsabilidad a sus compañeros, con objeto de conseguir los mejores y más fiables resultados posibles.

En la *figura 229* podemos ver las bandejas dentro del equipo, al comienzo del proceso de secado. Se observa cómo la utilización del equipo por parte del alumnado a veces es poco cuidadosa y ha llevado a que se produzcan pequeñas



Figura 229. Bandejas al comienzo del proceso de secado realizado por los estudiantes



Figura 230 Bandejas al final del proceso de secado realizado por los estudiantes

roturas en el plástico, que son selladas mediante cinta adhesiva por el siguiente grupo que utiliza el deshidratador. En otras ocasiones han querido dejar tan cerrados todos los intersticios que permitían pequeños escapes del aire caliente, que han cubierto todo el deshidratador de cinta adhesiva, dificultando el desmontaje del equipo.

El proceso de secado va avanzando haciendo que los alimentos pierdan peso y tamaño, tal como se puede ver en la fotografía de la *figura 230*. La toma de datos lleva a los estudiantes a elaborar tablas como las que tenemos en la *figura 231*, en la que se puede observar que han realizado doce medidas a lo largo de un día y medio, terminando el segundo día a las 15:20 h. La tabla incluye los

DIA 1		PESOS (g)							MEDICIONES		
TIEMPO	PLATANO	PIMIENTO ROJO	KIWI	PERA	TOMATE	BERENJENA	CALABACIN	MANZANA	Temp Cº	Célula calibrada	Rad (W/m2)
11:00	145,30	191,50	164,60	189,60	144,70	95,40	285,80	158,90	40	0,256	721,0131332
12:30	120,34	133,10	132,20	141,00	113,20	59,80	231,30	110,06	47	0,315	887,3239437
14:00	83,40	93,60	106,00	108,80	88,00	49,70	185,50	80,20	46	0,329	926,6853933
15:30	58,20	64,20	86,60	81,20	69,70	22,40	143,30	56,10	47	0,294	828,1690141
17:00	44,70	44,60	62,30	55,10	48,20	16,10	103,80	39,30	46	0,325	915,4494382
18:30	40,30	33,20	47,70	43,30	37,60	11,20	75,10	32,40	37	0,099	278,8135593
20:00	39,50	29,10	40,10	37,50	31,10	10,60	58,70	28,60	32	0,058	163,2882883

DIA 2		PESOS (g)							MEDICIONES		
TIEMPO	PLATANO	PIMIENTO ROJO	KIWI	PERA	TOMATE	BERENJENA	CALABACIN	MANZANA	Temp Cº	Célula calibrada	Rad (W/m2)
10:20	36,00	20,50	28,90	31,10	18,70	7,10	26,50	25,50	41	0,238	670,3564728
11:50	35,30	18,80	26,80	30,00	16,30	5,50	21,40	24,40	46	0,33	929,494382
13:20	35,00	18,60	26,30	29,90	16,30	5,20	20,50	24,40	44	0,288	811,2676056
14:50	33,90	18,60	26,20	29,80	14,30	5,10	19,10	24,30	45	0,32	901,4044944
16:20	33,50	18,60	26,20	29,80	14,20	5,10	18,90	24,30	43	0,271	763,2768362

Figura 231. Datos medidos por uno de los grupos para distintos alimentos

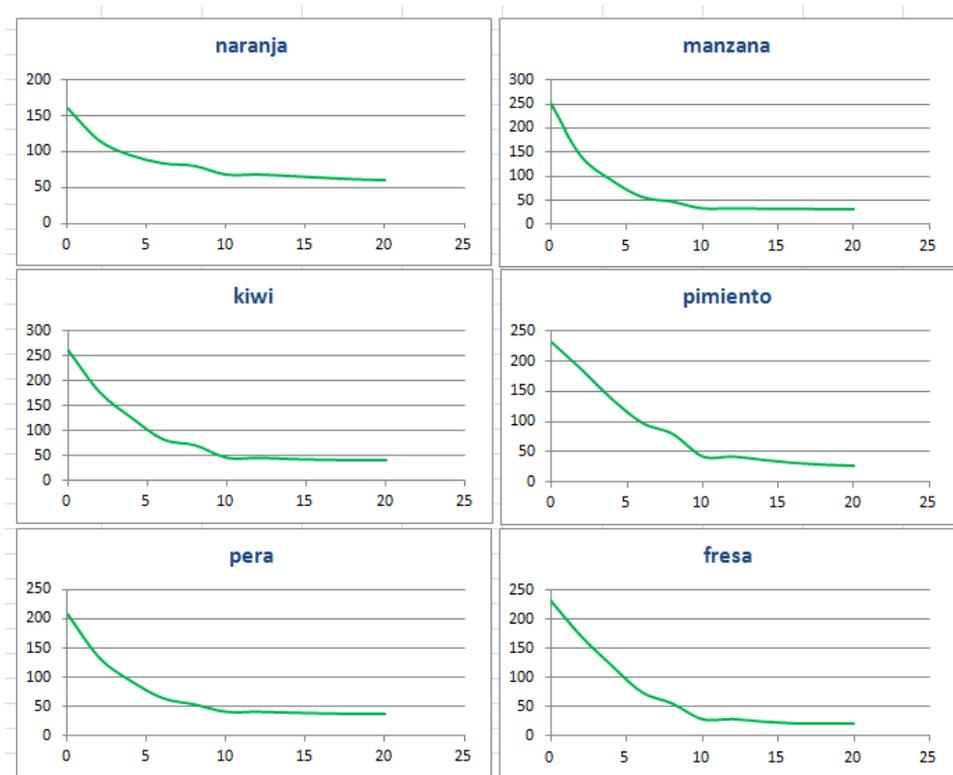


Figura 232. Gráficas obtenidas por un grupo de estudiantes para distintos alimentos

datos de temperatura medida en el interior de la zona de secado a la hora en la que se ha hecho cada medición del peso y el dato que indicaba la célula calibrada y su equivalente en radiación solar, sobre el plano de la parte superior del colector solar.

Con esos datos se van a construir las curvas de disminución del peso de los alimentos respecto al tiempo transcurrido. En la *figura 232* se tienen las gráficas presentadas por un segundo grupo de estudiantes, en los procesos de deshidratación de seis de sus alimentos: naranja, manzana, kiwi, pimiento, pera y fresa. En todos los casos observamos que el proceso se estabilizó a partir de unas diez horas de trabajo, por lo que los estudiantes podían haber concluido la toma de datos algunas horas antes de lo que lo hicieron.

Cada proceso de deshidratación es diferente, puesto que unos días resultarán completamente soleados, otros parcialmente nublados, otros alternando nubes y sol, la humedad relativa es diferente cada día, etc. Por ello se pide a cada grupo que documente su trabajo, de manera que indique en su informe final cuáles han sido las condiciones meteorológicas en las que se ha producido su proceso.

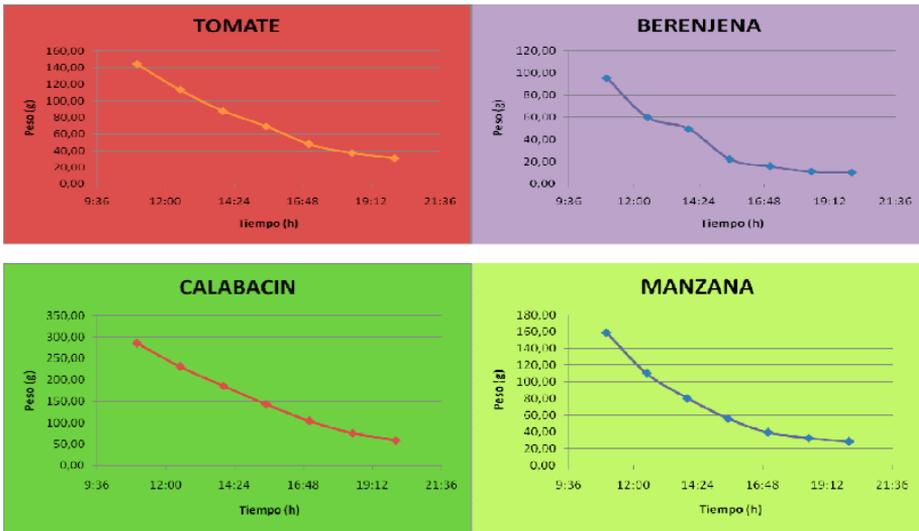


Figura 233. Curvas de secado obtenidas por otro grupo de alumnos

En la figura 233 se muestran gráficas obtenidas por otro grupo de estudiantes, en las que se puede ver que excepto la curva de la berenjena el resto no ha conseguido llegar a esa parte asintótica que muestra el final del proceso de secado. También se observa que solo dedicaron un día a la práctica y no continuaron al día siguiente, puesto que en el segundo día el cielo apareció nublado y no había posibilidad de mejorar especialmente la situación en la que los alimentos se habían quedado el día anterior.

En la memoria que deben entregar se les pide que incluyan fotografías de distintos momentos del proceso, desde el pesado inicial hasta la colocación de los alimentos en las bandejas o la evolución del aspecto de las frutas y verduras



Figura 234. Pimiento al comienzo y al final del proceso de secado



Figura 235. Fotografía del aspecto final de los ocho alimentos secados por uno de los grupos

a medida que se van secando. El nivel de documentación que aportan en la memoria en este apartado es diferente en cada grupo. Se ha visto en las páginas anteriores que suelen incluir fotografías de las bandejas completas y su colocación en el deshidratador. En algunos casos aportan imágenes del cambio en el aspecto del alimento desde el comienzo hasta el final del proceso, tal como se ve en las fotografías de la *figura 234*, que muestran el pimiento en la bandeja en el momento inicial y una vez seco. En otros casos se incluye una fotografía general de los ocho alimentos al final del proceso de secado, tal como se ve en la imagen de la *figura 235*.

Estuve valorando hacer una sesión en la que cada grupo hiciese una exposición de su trabajos ante el resto de la clase. En el curso 2014-15 se hizo así, con los cinco grupos que se formaron en una de las asignaturas de energías renovables. El contraste de resultados en clase debería haber sido un buen procedimiento para que los estudiantes entendiesen mejor cómo cada proceso de deshidratación es diferente a todos los demás, aunque todos conduzcan a obtener alimentos secos, que se pueden conservar en buenas condiciones para su consumo durante largos periodos de tiempo.

Sin embargo, el resultado no fue satisfactorio puesto que, en general, los estudiantes no mostraron un gran interés en la preparación de esta presentación en la que deberían coordinarse los ocho componentes del grupo. De hecho, comprobé cómo al ser ocho les resultaba difícil darse entrada unos a otros y decidir qué parte debía defender cada uno, a pesar de que cada estudiante tenía

asignada una fruta u hortaliza. Finalmente, en cinco de los seis grupos una sola persona llevó casi todo el peso de la explicación, no siendo ese el resultado que se quería obtener, puesto que además daba la sensación de que había realizado casi todo el trabajo. Por ello no se ha continuado con esta defensa de los trabajos en los cursos siguientes, aunque sigue siendo un tema pendiente de resolver si conseguimos pensar en una solución satisfactoria.

Por el contrario, algunos de los estudiantes agradecieron personalmente esta práctica y se presentaron posteriormente a las convocatorias de becas de cooperación Meridies de la UPV, a pesar de no tener experiencia previa en este campo de la cooperación. Éste es un dato que creemos tiene importancia, puesto que no se suelen abordar durante los estudios de grado temas relacionados con la cooperación y precisamente esta práctica busca hacer que los alumnos se sensibilicen sobre la situación alimentaria en el mundo actual y la necesidad de la cooperación internacional.

8.2. Trabajos final de grado.

Una de las opciones para aplicar a la docencia el deshidratador solar diseñado, es la posibilidad de que los estudiantes realicen trabajos fin de grado (TFG) relacionados con el secado de alimentos. En el curso 2015-16 se planteó el primero de ellos, a propuesta de la profesora Begoña Saiz, con la que codirigí el trabajo. Se trataba de ofrecer un TFG de replanteo del deshidratador mejorando las flaquezas detectadas en los trabajos de secado realizados en los años anteriores.

El TFG se tituló “Rediseño de un deshidratador de alimentos DIY de bajo coste para países en vías de desarrollo” y lo realizó el alumno Borja Moragues Martínez. Estuvo revisando el trabajo que nosotros habíamos hecho, tanto en la UPV como en Burkina Faso y realizó una sesión de deshidratación para comprobar cómo se llevaba a cabo el proceso.

A partir de aquí planteó varias posibilidades para mejorar el equipo, como poner puertas individuales traseras para cada una de las bandejas en las que se colocan los alimentos, para minimizar la pérdida de aire caliente cuando se extraen o se introducen. También intervino sobre la salida de aire trasera, dejando solo dos pequeños puntos de salida a ambos lados del equipo.

En cuanto al colector solar, planteó varios bocetos con distintas formas constructivas, en casi todos los casos buscando que la superficie de captación fuese mayor que la actual, de manera que aumentase la cantidad de aire que se calienta y se envía a las bandejas. Le hablé de uno de los diseños iniciales que nosotros estuvimos estudiando pero que finalmente no utilizamos, que se ha descrito en el apartado 4.3 y se puede ver en la *figura 47* de la página 62. Tiene



Figura 236. Nuevo deshidratador diseñado a partir de un TFG (Moragues, B. 2016)

el colector solar más ancho en la parte frontal y se va estrechando hasta llegar a la zona de secado. El resultado se puede ver en la *figura 236*, en la que tenemos el nuevo equipo diseñado, dado que ésta fue la propuesta que le interesó más y se tradujo en un nuevo deshidratador que construyó y probó en la UPV.

La parte frontal la hizo de menor altura que la parte de la salida del aire del colector hacia las bandejas, intentando solucionar el problema que le habíamos comentado de cómo las ráfagas de aire afectaban al colector, bajando su temperatura. Esta opción de diseño no era la que solucionaba mejor el problema, puesto que al ser menor la altura del frontal también es menor la cantidad de aire que se calienta en esa zona y no se consigue todo el efecto de empuje del aire aprovechando el efecto Venturi, tal como se ha descrito en el apartado 4.3, pero fue la que adoptó el alumno en su TFG.



Figura 237. Vista trasera de los dos deshidratadores (Moragues, B. 2016)

En las fotografías de la *figura 237* podemos ver las partes traseras del primer deshidratador y del nuevo diseño. El cierre de la cámara de secado con plástico y velcro lo sustituyó por cuatro puertas individuales, una para cada bandeja, mejorando la opción utilizada en Burkina Faso en la que se habían colocado dos puertas traseras, aunque también encareciendo ligeramente el coste del equipo.

También se puede ver en la parte superior trasera cómo se han colocado dos salidas para el aire en los laterales, con un tamaño de ancho fijo, frente a la opción del primer deshidratador que dejaba la posibilidad de aumentar o disminuir el espacio de la salida del aire cerrando mayor o menor cantidad de puntos de velcro.

En las uniones entre el colector solar y la zona de secado incorporó el sistema descrito en el apartado 4.5, que se puede ver en la *figura 54* y se aprecia en la *figura 236* de la página anterior, con plásticos sobrantes de mayor tamaño, enrollados y cogidos con pinzas.

Finalmente realizó el anclaje del colector solar a la zona de secado en una posición más alta, para conseguir un ángulo de inclinación respecto al sol que fuese más perpendicular y, por tanto, recogiese mejor la radiación solar que incide sobre el colector.

Con todos los cambios realizados preparó sesiones de secado con varios alimentos, para comprobar el funcionamiento del nuevo equipo, que mostró su efectividad, a pesar de haber utilizado plástico menos transparente que el del primero. En la *figura 238* se puede ver el aspecto al final del proceso de secado de distintos alimentos deshidratados para el TFG.

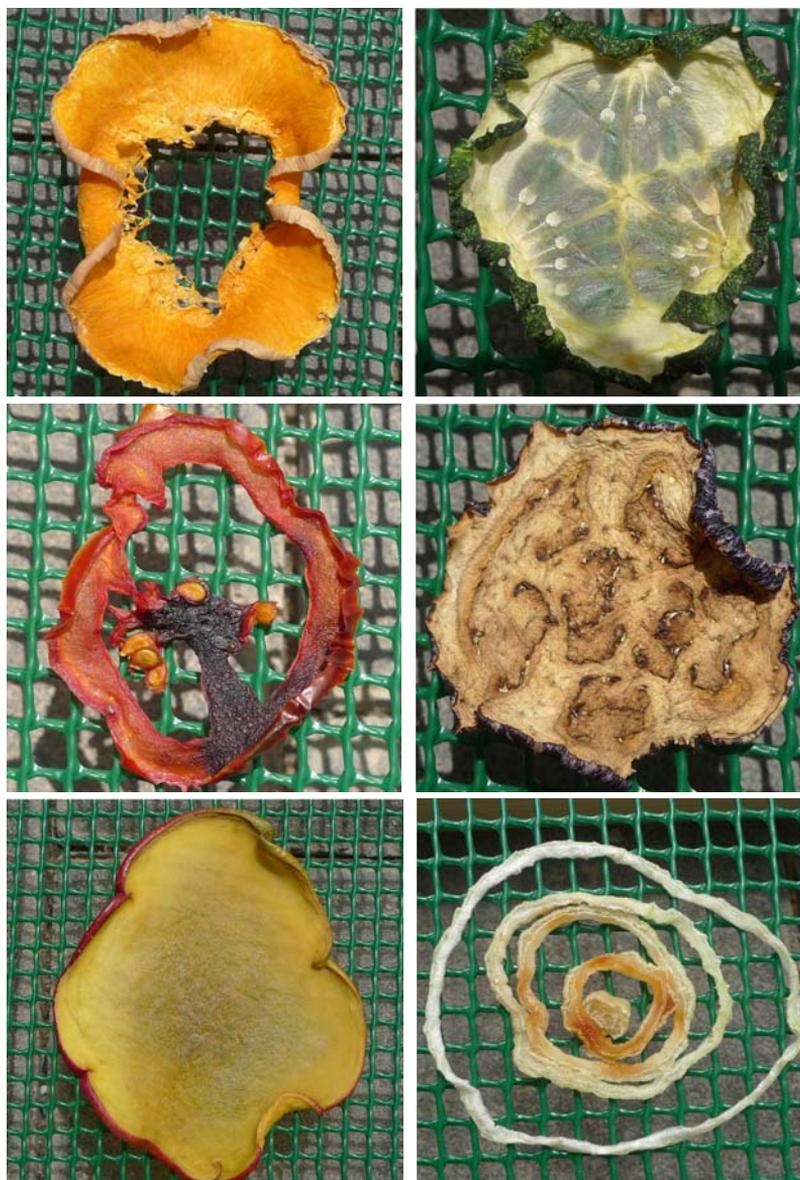


Figura 238. Calabaza, pepino, tomate, berenjena, mango y cebolla, deshidratados con el nuevo equipo en junio de 2016 (Moragues, B. 2016)

En la memoria del TFG documentó el proceso de secado con fotografías sucesivas de la evolución del aspecto de los alimentos desde el principio hasta el final del proceso. No las incluimos aquí puesto que ya es un tema tratado y documentado en nuestro trabajo. Sí incluimos en la *figura 239* las fotografías de dos de las bandejas, con calabaza y pepino por una parte y mango y cebolla por otra, al comienzo y al final del proceso, en las que se puede ver la disminución del tamaño de los alimentos al secarlos.



Figura 239. Aspecto de dos de las bandejas utilizadas para secar calabaza, pepino, mango y cebolla, al principio y al final del secado (Moragues, B. 2016)

El trabajo realizado por el alumno fue excelente, dado que no solo rediseñó el equipo sino que lo montó y comprobó su funcionamiento, realizando un TFG sobresaliente. En su parte final incluía el presupuesto de los materiales utilizados, que ascendía a 86,19 euros, un coste muy bajo, aunque lleva asociado que el usuario del equipo debe construirse él mismo, punto de partida de este trabajo final de grado, que en su título incluía las siglas DIY “Do It Yourself” que se pueden traducir por “hacerlo uno mismo”.

Javier Valero, alumno de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural (ETSIAMN) de la UPV, que estuvo en Burkina Faso a comienzos de 2016, realizó su TFG centrándose en las labores de cooperación realizadas e incluía una parte importante dedicada al deshidratador solar objeto de nuestro estudio. Su TFG se titula “Mejora del estado nutricional de la población infantil de Burkina Faso mediante huertos escolares y secadores solares” y fue dirigido por los profesores María Luisa Gras y Daniel Vidal.

Hemos visto parte de su contenido en el apartado 6.6 dedicado a la tercera fase de la implantación del deshidratador en Burkina Faso. Su trabajo recoge la petición que el año anterior nos había hecho la APFG de diseñar un deshidratador de mayor tamaño. Incluye bocetos del mismo, de los que tenemos una vista general en la *figura 240*.

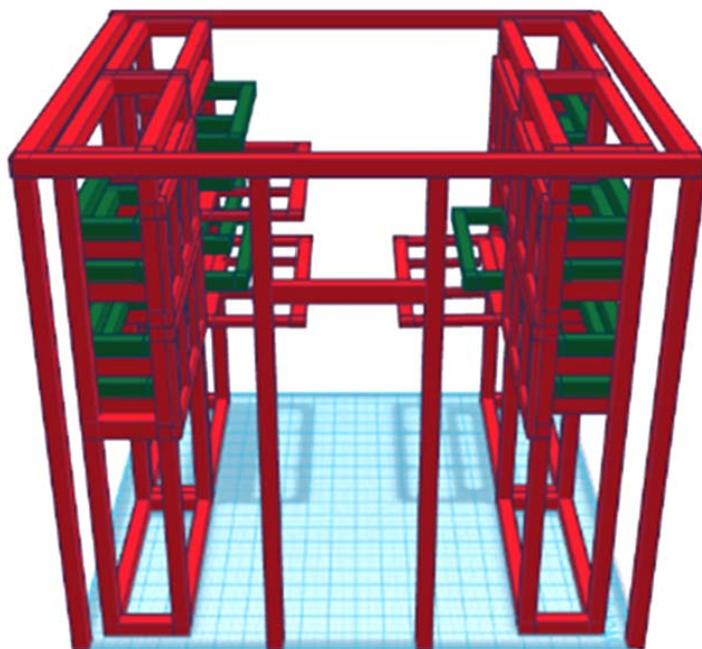


Figura 240. Boceto del deshidratador de mayor tamaño para la APFG realizado en el TFG de Javier Valero (Valero, J. 2016)

Se trata de un recinto con un formato de cubo, que inicialmente tendría unas dimensiones de 2 m x 2 m x 2 m y estaría recubierta de plástico transparente, o metacrilato si se decide hacer una inversión económica mayor. Contendría en su interior cuatro cámaras de secado como las diseñadas para el deshidratador familiar, aunque de una anchura mayor, entre 40 y 45 cm.

Aunque en el boceto se ven solo cuatro bandejas la idea es que tenga diez en cada zona de secado, que estaría abierta por arriba y por abajo y cubierta completamente por plástico negro en toda la parte vertical, de manera que el sol no pudiese llegar hasta los alimentos. Cada cámara de secado tendría puertas para poder colocar y extraer las bandejas en las que se depositen los alimentos.

Es una línea de diseño diferente, que sin llegar a ser industrial permite procesar a la vez treinta kilos de alimentos. Estamos ahora trabajando en ella y viendo la posibilidad de incorporarle incluso placas solares fotovoltaicas con las que producir aire caliente adicional al que ya produce de forma pasiva el equipo. Esperamos crear un prototipo para probar en la UPV en 2018, aunque ya se incluía un apunte sobre este modelo en este trabajo fin de grado presentado en 2016.

Actualmente estamos inmersos en un tercer TFG, realizado por María Noel Márquez, alumna de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial que estuvo en Arbolle a finales de 2016. También está centrado en su beca Meridies y las acciones de cooperación que desarrolló y, entre ellas, una parte está dedicada al deshidratador solar, tal como se ha comentado en el apartado 6.6.

Dos líneas de estudio adicionales se han planteado para el próximo curso para ser ofertadas como TFG:

- Estudio de las condiciones entre el proceso de secado directo al sol e indirecto con el deshidratador solar, para comprobar las diferencias entre los dos métodos.

- Obtención de valores de curvas de secado y de actividad del agua para distintos alimentos, intentando llegar al valor de pérdida de peso necesario para dar por concluida la operación de secado.

Veremos en el curso 2017-18 si hay alumnos que se interesan por estos dos temas y se realizan estas mediciones dentro del formato de trabajos fin de grado, o si continuamos nosotros directamente con estas líneas de trabajo en las que estamos actualmente. De hecho, ya había dos alumnos que habían hecho la práctica de deshidratación y que estaban interesados en el curso 2016-17 en hacer su TFG con el deshidratador, aunque no llegamos a concretar el tema de sus trabajos puesto que no han terminado todas las asignaturas necesarias para comenzar a realizar su TFG.

8.3. Otras acciones docentes y de difusión.

En los últimos cursos hemos tenido cada año en el DIE un estudiante de formación profesional haciendo sus prácticas de empresa con nosotros. Es de la especialidad de energías renovables y ha trabajado en el laboratorio de energía solar, comprobando equipos y haciendo mediciones con placas solares fotovoltaicas.

En 2016 añadimos a sus tareas preparar y realizar algunos procesos de deshidratación de alimentos, de manera que aprendiese los conceptos que hemos estado exponiendo en este trabajo y practicase de forma directa con el deshidratador solar. Es una acción docente que alcanza a un solo estudiante por año, pero creemos que es útil para que más personas de otros ámbitos se aproximen al tema del secado de alimentos y al de la cooperación con países en vías de desarrollo.

De hecho, creemos que el tema del secado de alimentos puede ser atractivo para otros estudios diferentes de los nuestros. Desde ese punto de vista, estamos trabajando en redactar la práctica de deshidratación explicada en las páginas anteriores, para dejarla disponible en Internet por si otros centros, tanto de formación profesional como universitarios estuvieran interesados en explicarla a sus estudiantes y montar para ellos una práctica similar a la que nosotros realizamos.

Se han llevado a cabo otras labores de difusión de este trabajo mediante mesas redondas. Han sido realizadas en la UPV y también en poblaciones como Carlet (Valencia), en la que el tres de marzo de 2017 tuvo lugar una en la que se habló de los trabajos de cooperación en Burkina Faso.

Tal como se ve en el cartel de la *figura 241*, esta mesa redonda iba asociada a una exposición sobre dichas actividades, entre las que ocupó un espacio importante la deshidratación de alimentos y los trabajos de formación y secado de alimentos realizados en Gaoua.



Figura 241. Mesa redonda y exposición en Carlet en marzo de 2017

Esta misma exposición se montó en la ETSID de la UPV entre el 25 de mayo y el 19 de junio de 2017 y está previsto llevarla a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática de la UPV en octubre y/o noviembre de 2017, y a otras escuelas y salas de la UPV durante 2018.

En la fotografía de la *figura 242* se puede ver un panel de la exposición que está dedicado íntegramente al deshidratador solar, recogiendo dos fotografías de los trabajos iniciales realizados en la UPV y otras del montaje y puesta en marcha del equipo en Burkina Faso.

En la fotografía de la *figura 243* de la página siguiente tenemos un segundo panel dedicado a las actividades de formación impartidas a las mujeres de la



Figura 242. Panel dedicado al deshidratador solar, de la exposición realizada en la ETSID de la UPV en mayo y junio de 2017

APFG en Gaoua. Finalmente en la fotografía de la *figura 244* se pueden ver otro panel dedicado parcialmente al deshidratador solar.

También estamos preparando otra exposición de los trabajos de cooperación desarrollados en Arbolé a finales de 2016. El primer lugar en el que se realizará es la ETSID de la UPV, en noviembre y/o diciembre de 2017. De nuevo una parte de la exposición estará dedicada al deshidratador solar.

Finalmente, estamos preparando una tercera exposición dedicada de forma genérica a la deshidratación de alimentos, que recoja la experiencia acumulada en estos cinco años de trabajo. Contendrá buena parte de los contenidos expuestos en esta tesis, tanto en lo que se refiere al deshidratador diseñado como



Figura 243. Panel dedicado a la formación sobre el deshidratador solar, de la exposición realizada en la ETSID de la UPV en mayo y junio de 2017



Figura 244. Panel que incluye información sobre el deshidratador solar, de la exposición realizada en la ETSID de la UPV en mayo y junio de 2017

al cambio en el aspecto de los alimentos al secarse, o las actividades realizadas en Burkina Faso. Esperamos tenerla preparada a mediados de 2018.

Las conferencias, mesas redondas y exposiciones son un medio de difusión para el deshidratador solar diseñado y los trabajos que se han hecho con él. No tienen la intensidad de una práctica o de un TFG, pero llegan a muchas más personas y pueden servir para que algunos de ellos se interesen lo suficiente en este campo como para buscar información adicional.

Desde esta idea estamos valorando estructurar toda la información que hemos ido presentando en esta memoria, y también la de los trabajos futuros que se vayan realizando en el campo de la deshidratación, e incorporarla a la página web del Grupo de Energía Solar de la UPV. Otra posibilidad, en la que también estamos pensando, es crear una página web nueva dedicada a la deshidratación de alimentos, que incida especialmente en el deshidratador solar diseñado y sus posibilidades de aplicación en países en vías de desarrollo.

9. Mejoras realizadas en el deshidratador.

Entre 2013 y 2017 hemos ido incorporando mejoras al deshidratador solar, siempre desde la idea de mantener su condición de ser fácil de montar y manejar, y de que sea de bajo coste. Varias de estas mejoras se han nombrado ya en puntos anteriores, puesto que proceden de su aplicación en Gaoua o, habiéndose desarrollado y probado en la UPV, se han aplicado en 2016 en Arbolle. En algunos casos las hemos descrito ya en el apartado 4.5, cuando hemos detallado las disposiciones constructivas del equipo. Vamos a agruparlas y comentarlas en este apartado.

9.1. Cámara de aire para aislar mejor el equipo.

Entre las mejoras realizadas la más destacada ha sido crear una cámara de aire estanco en distintas partes del equipo, para que se obtenga un mejor aislamiento térmico. Si el aire no está en movimiento conduce mal el calor, por lo que esta cámara nos sirve para mejorar la capacidad para aumentar y mantener la temperatura del aire en el deshidratador.

La disposición constructiva se puede ver en la *figura 245*, aplicada al lateral del colector solar. Aprovechando el grosor de los listones que forman el colector, se dispone un primer plástico transparente en la parte externa del lateral.



Figura 245. Doble capa de plástico, transparente y negro, en el lateral del deshidratador

Un segundo plástico negro se coloca sobre la parte interior de los listones, de forma que entre los dos queda la cámara con el aire encerrado. El plástico transparente deja pasar la radiación solar hasta el plástico negro, que se calienta de forma similar a como lo hacía el único plástico negro que inicialmente se situaba sobre el lateral del colector.

El aire que entra por el frontal del colector se pone en contacto con el plástico negro y se produce el intercambio de calor que hace que su temperatura aumente. Incluso este contacto entre el plástico negro y el aire es mejor, puesto que antes se producía en la parte externa del colector, debiendo el aire realizar un movimiento hacia el plástico que ahora no necesita hacer, puesto que la entrada del aire se mantiene en línea con el plástico negro interior.

Este sistema de doble capa de plástico se ha aplicado a los laterales y a la parte inferior del colector, aunque en este último caso los dos plásticos son negros, puesto que al estar cerca del suelo la radiación no llega de forma directa hasta la base del colector solar. También se ha aplicado al cierre bajo de la zona de secado, tal como se observa en las fotografías de la *figura 246*.



Figura 246. Vista general y en detalle del cierre con doble capa de plástico realizado en la parte inferior de la zona de secado



Figura 247. Vistas de detalle desde el lateral de la parte superior e inferior del cierre con doble capa de plástico de la parte de abajo de la zona de secado

Como se ve en las fotografías de la *figura 247*, aprovechamos dos listones de apoyo de bandejas, que no se habían utilizado, para fijar los plásticos que cierran esta parte inferior de la cámara de secado. Para el curso 2017-18 vamos a construir tres nuevos deshidratadores para la UPV, dos para la ETSIAMN y uno adicional para la ETSID. En ellos y también en el que actualmente tenemos, se cerrará esta parte inferior con un armazón de madera atornillado, aunque dejando la posibilidad de moverlo y situarlo a la altura que nos interese, para mantener la posibilidad de cambiar la inclinación del colector solar.

Esta doble capa podría intentar aplicarse también a los laterales de la cámara de secado. No lo hemos hecho hasta ahora, debido a la dificultad que introducen los listones de apoyo de cada una de las bandejas. También se debe aplicar a las puertas traseras de la zona de las bandejas, que se pondrán en los nuevos deshidratadores y se incorporaron al que tenemos.

9.2. Triple capa de plástico para mejorar la fijación con grapas.

La segunda mejora se aplica a la fijación mediante grapas de los plásticos a los listones de madera. En la primera versión del deshidratador el plástico se cortaba del tamaño que ajustaba con el marco de la parte que debía cerrar y directamente se grapaba a la madera. Era un forma rápida y sencilla de hacer los cerramientos, aunque dejaba pequeños huecos por los que podía escapar parte del aire caliente que se generaba en el colector y que subía hasta la cámara de secado.

El sistema de fijación se ha mantenido, pero cortando los plásticos de un tamaño ligeramente mayor que el del marco que va a cerrar. Son entre cuatro y cinco centímetros adicionales que sirven para obtener una capa triple de plástico, doblándolo sucesivamente dos veces. Es entonces cuando se aplica la grapadora sobre el plástico doblado, con un resultado que se puede ver en las cuatro fotografías de la *figura 248*.

Fue una sugerencia de la profesora Begoña Saiz, que aplicamos al equipo cuando cambiamos el plástico en 2016. Hemos comprobado que de esta manera se consigue una fijación más robusta, que evita los desgarramientos del plástico cuando se está manipulando el equipo, y también que el cierre del plástico sobre la madera sea más estanco, evitando escapes del aire caliente.

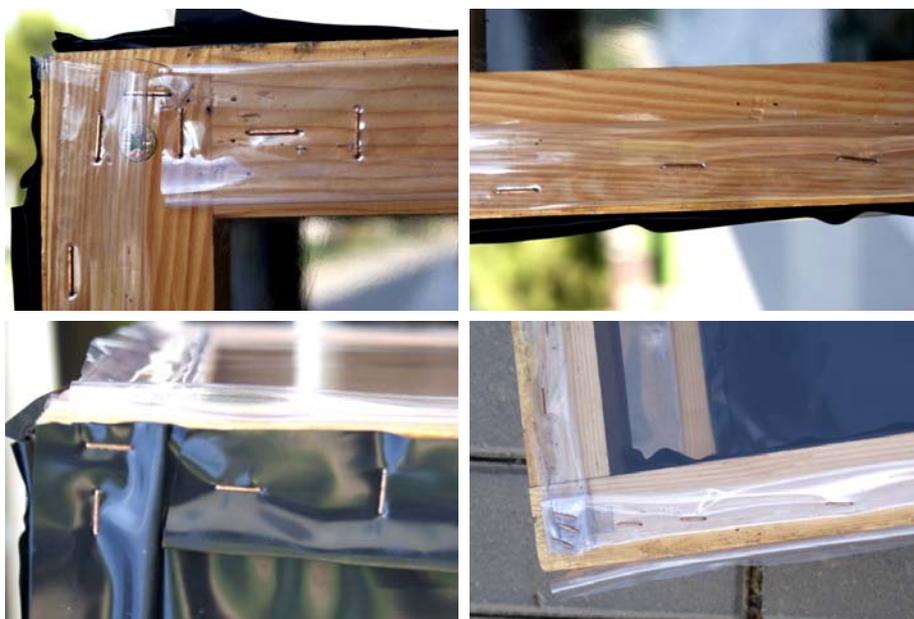


Figura 248. Fijación de los plásticos a los listones mediante grapas, con el plástico doblado tres veces para conseguir una unión más estanca

9.3. Cierre entre el colector y la cámara de secado.

Tal como describíamos en el apartado 4.4, definiendo la estructura del deshidratador, el equipo diseñado consta de dos partes desmontables que permiten su almacenamiento ocupando poco sitio en los periodos de tiempo en los que no se utiliza, en particular en Burkina Faso, en la temporada de lluvias.

Debido a ello hay que ensamblar estas dos partes cada vez que se pone en funcionamiento el deshidratador. En la primera etapa en 2013, la unión entre las dos partes se realizaba mediante cinta adhesiva, que unía unos pequeños excedentes de plástico que habíamos dejado en cada una de las partes del equipo. En la *figura 249* se puede ver que actualmente lo hacemos enrollando un plástico sobre otro y fijando el conjunto mediante pinzas.



Figura 249. Unión de los plásticos del colector y la cámara de secado, enrollados uno sobre otro y fijados mediante pinzas

Tal como se comentó en el apartado 4.5, se trata de una aportación de la profesora Begoña Saiz, que aporta al equipo una unión mejor cerrada respecto al exterior, evitando el escape del aire caliente generado en el colector. Además, evita la utilización de cinta adhesiva, que resulta más incomoda a la hora de desmontar el equipo, pues dejaba siempre en los plásticos restos de la goma adhesiva.

En la *figura 250* se puede ver el excedente de plástico negro de la zona de secado y el excedente de plástico transparente del colector, antes de ser enrollados uno sobre otro para cerrar la unión entre ambas partes. Recomendamos dejar en torno a medio metro en cada parte para luego poder enrollar con facilidad un plástico sobre otro. No es necesaria una medida exacta, se puede hacer con un poco menos o un poco más, tal como lo tenemos actualmente nosotros. Se



Figura 250. Excedentes de plásticos del colector y la cámara de secado, antes de ser enrollados uno sobre otro

trata de conseguir que tras enrollar los plásticos estos cierren de forma natural la unión, dado que al intentar recuperar su forma extendida chocan uno contra el otro dejando cerrada la unión entre ambos a lo largo de ese medio metro de plástico excedente.

El resto de zonas de unión entre el colector y la zona de secado mantienen la forma de cerrarse que teníamos en 2013, mediante sobrantes de plástico que se unen a la otra parte con cinta adhesiva. Es lo que se hace por ejemplo con el plástico negro inferior del colector solar, cuyo excedente se puede ver en la fotografía de la *figura 251*.

Es evidente que la sencillez de los sistemas de cierre elegidos lleva a que se produzcan algunas fugas de aire caliente, pero hemos comprobado que son mínimas. Recordemos, además, que la cámara de secado tiene un volumen mucho mayor que el de la zona de secado, por lo que el equipo sigue estando diseñado para admitir esas fugas de aire que se producen.

Si se quiere actuar de forma más efectiva sobre esos puntos de fuga de aire, se pueden utilizar pequeños fragmentos de plástico, para sellar mejor con cinta adhesiva las uniones, en esos puntos por los que se esté escapando una pequeña cantidad de aire.



Figura 251. Excedente de plástico negro del colector solar, que se une con cinta adhesiva al cierre inferior de la cámara de secado

9.4. Utilización de dos pasadores para dar estabilidad al equipo.

Cuando montamos por primera vez el deshidratador utilizamos un pasador para unir la zona de secado con el colector solar. El conjunto permanecía estable debido a su peso, excepto cuando había ráfagas de viento fuertes.

Debido a ello, dejamos libres de plásticos los listones que apoyan en el suelo, cerrando la zona de secado en un punto por encima del suelo, de manera que quedase una zona abierta en la que poner contrapesos de hormigón que dieran más estabilidad al deshidratador, tal como se ve en la fotografía superior de la *figura 252*. En Burkina Faso los contrapesos utilizados han sido piedras, tal como se ha visto antes en la *figura 213* que recoge la página ocho del manual



Figura 252. Unión del colector y la cámara de secado mediante dos pasadores, para dar más estabilidad al deshidratador

del deshidratador. En ambos casos obtenemos la estabilidad necesaria en el equipo, dado que si tenemos un solo pasador y el aire sopla con fuerza en la dirección adecuada, puede volcar la zona de secado vertical sobre el colector.

En 2016 decidimos utilizar dos pasadores a cada lado del equipo, de manera que confieran rigidez al conjunto, haciendo al deshidratador más consistente y más resistente frente a las ráfagas de viento. Los pasadores se pueden ver en las dos fotos inferiores de la *figura 252*.

9.5. Modificación de la inclinación del colector.

A la vez que añadimos el segundo pasador a cada lado del equipo, a final de agosto de 2016 elevamos la inclinación del colector solar, subiéndolo a veinte grados. La inclinación óptima varía con cada mes del año o más bien habría que decir que varía para cada día del año, por lo que ese valor de veinte grados solo será óptimo en dos días concretos del año.

Si vemos las inclinaciones óptimas para Valencia (PVGIS, 2017), habrá un día a finales de abril y otro a comienzos de agosto que necesitará esta inclinación para estar a mediodía perpendicular al sol, todos los demás días del año necesitan una inclinación diferente. Desde este dato, el cambio de inclinación



Figura 253. Modificación de la inclinación del colector, elevándola a veinte grados, aprovechando el cambio a utilizar dos pasadores

se realiza fundamentalmente para facilitar la circulación del aire desde el colector hacia la cámara de secado. Con los cambios realizados en el colector, la temperatura del aire hemos comprobado que puede llegar a situarse en 80 °C, en algunos momentos y en puntos cercanos al plástico de la parte de abajo del colector.

Para la temperatura en la zona de las bandejas hemos medido valores superiores a 60 °C, también en algunos momentos puntuales, un valor que está en el límite de la máxima temperatura de secado para algunos alimentos. Por ello decidimos elevar la inclinación del colector, para facilitar el movimiento del aire, que pasará a más velocidad por el colector y, por tanto, se elevará menos su temperatura.

Éste es un comportamiento del equipo que tuvimos ocasión de medir ya en 2013, cuando comenzábamos a trabajar con el deshidratador. Probamos con varias inclinaciones, algunas de más de cuarenta y cinco grados, y pudimos medir, aunque no con la precisión adecuada como para trasladar los datos aquí, que al aumentar la inclinación la velocidad del aire aumentaba y disminuía la temperatura que alcanzaba. Con la nueva inclinación, uno de los trabajos futuros es medir los valores de temperatura que se generan en las bandejas y comprobar si podemos colocar más bandejas y, por tanto, más alimentos para secar en cada tanda.

9.6. Puertas traseras para las bandejas.

Cuando iniciamos la implantación del deshidratador en Burkina Faso en el año 2013, nos encontramos con el problema de la pérdida de adhesión del velcro a la madera debido al calor. La primera mejora que tuvimos que hacer sobre el equipo fue en ese momento, incorporando puertas traseras en la zona de colocación de las bandejas, tal como se ha podido ver, entre otras, en las fotografías de las *figuras 176, 182, 189 o 204*. Sin embargo, no incorporamos las puertas al equipo que tenemos en la UPV, que hoy en día sigue cerrando su parte trasera directamente con velcro.

En los próximos tres equipos a fabricar para el curso 2017-18, incorporaremos puertas traseras. La opción planteada por el alumno Borja Moragues en su TFG de colocar una puerta por bandeja, vista en la *figura 237*, minimiza la pérdida de inercia térmica cuando introducimos o sacamos una bandeja, pero obliga a poner cuatro puertas y a que estén frente a cada una de las bandejas. Esto dificultaría la posibilidad de cambiar la altura a la que están las bandejas, como hicimos a finales de agosto de 2016 y también la de hacer pruebas con un mayor número de ellas, tal como estamos planeando para próximos ensayos.

Por ello, la opción en la que estamos trabajando con el carpintero, es la de cerrar la parte trasera de la zona de secado con dos puertas verticales, que permitan colocar más bandejas y modificar la posición de las que ya tenemos.

9.7. Cortadora eléctrica para los alimentos.

Desde que comenzamos a probar el deshidratador el proceso de cortado en láminas de los alimentos se ha realizado a mano y con cuchillo, intentando tener las mismas condiciones que se iban a dar y se han producido en Burkina Faso, o en cualquier otro país en el que se aplique el equipo. Es evidente que las láminas de alimentos que se obtienen así, para ser colocadas en las bandejas, no tienen un grosor idéntico.

Con los datos de los procesos de secado realizados hemos podido comprobar que no es necesario tener un corte completamente uniforme en los alimentos para que el proceso de secado se complete satisfactoriamente. Los resultados obtenidos en Burkina Faso, con cortes más gruesos de los alimentos llevan a la misma conclusión. A pesar de ello, en abril de 2016 decidimos comprar una cortadora eléctrica para obtener uniformidad en el grosor del corte de los alimentos. En la *figura 254* se puede ver cómo estamos cortando jengibre, en julio de 2016.

Aunque no es necesario para completar el proceso de deshidratación de los alimentos de forma satisfactoria, poder hacer láminas del mismo grosor permite establecer comparativas entre distintos procesos de secado, partiendo de puntos similares. De esta manera podremos secar alimentos con equipos diferentes y ver cuál es el que obtiene mejores resultados. También podemos comprobar la



Figura 254. Cortadora eléctrica para obtener láminas de alimentos con un grosor uniforme, aplicada a jengibre



Figura 255. Cortando piña con la cortadora eléctrica en agosto de 2016

diferencia que se obtiene con el equipo orientado hacia el sol sin moverse en todo el día y moviéndolo varias veces a lo largo del proceso de secado. Recordemos que para hacerlo debemos tener dos equipos similares, trabajando en condiciones lo más parecidas posibles y en el mismo día, dado que, como ya hemos comentado, las condiciones meteorológicas de cada día son diferentes a las de todos los demás días.

Con la cortadora tenemos pues la posibilidad de hacer otros experimentos de secado, como el que hicimos en agosto de 2016, comparando el cambio en el color de la piña, cortada como se ve en la *figura 255* y secando directamente al sol y en nuestro deshidratador.

10. Trabajos recientes y futuros trabajos.

Entre los meses de abril y septiembre de 2016 hicimos varias sesiones de deshidratación, en las que estudiamos alimentos con los que anteriormente no habíamos trabajado, como coliflor o patata, y aprovechamos la cortadora para secar alimentos con el mismo peso de partida y con el mismo grosor en las láminas, para comparar la disminución de peso en cada uno de ellos.

Hicimos sesiones de deshidratación directa al sol y con el deshidratador, para comparar los valores que se obtienen en la pérdida de peso y comprobar los cambios que se producen en el cambio de color de los alimentos.

Desarrollamos también un equipo de medida continua de temperaturas, realizado con el microprocesador Arduino. Nos permite tener lecturas de temperatura en intervalos de tiempo regulares que podemos fijar, y trabajar con varios sensores simultáneamente, situados en distintas partes del deshidratador.

Presentamos en este apartado algunos de los resultados obtenidos en estas sesiones.

10.1. Deshidratación de alimentos partiendo del mismo peso.

El 21 de julio de 2016 deshidratamos una tanda de ocho frutas y verduras, en las que partimos de un peso inicial de 200 gramos para cada una de ellas. Eran mango, coliflor, patata, melón, nectarina, zanahoria, cereza y ciruela roja.

La coliflor hubo que dejarla en ramas pequeñas, puesto que al intentar cortarla se deshacía. En el caso de la cereza, se partió por la mitad y se dejaron separadas sin hueso las dos mitades, tal como se puede ver en la *figura 256*. El



Figura 256. Parte de la bandeja que contenía coliflor y cereza, en el proceso de secado realizado a finales de julio de 2016

resto de alimentos se cortó en láminas con la cortadora, dejándoles un grosor de tres milímetros.

La gráfica del proceso de secado del mango se puede ver en la *figura 257*, mientras que los datos del proceso se muestran en la *tabla 26*. Las medidas se hicieron cada 3 horas (tiempo que se aplicó al intervalo nocturno), excepto las dos últimas que se tomaron en intervalos de 1,5 y 2,5 horas.

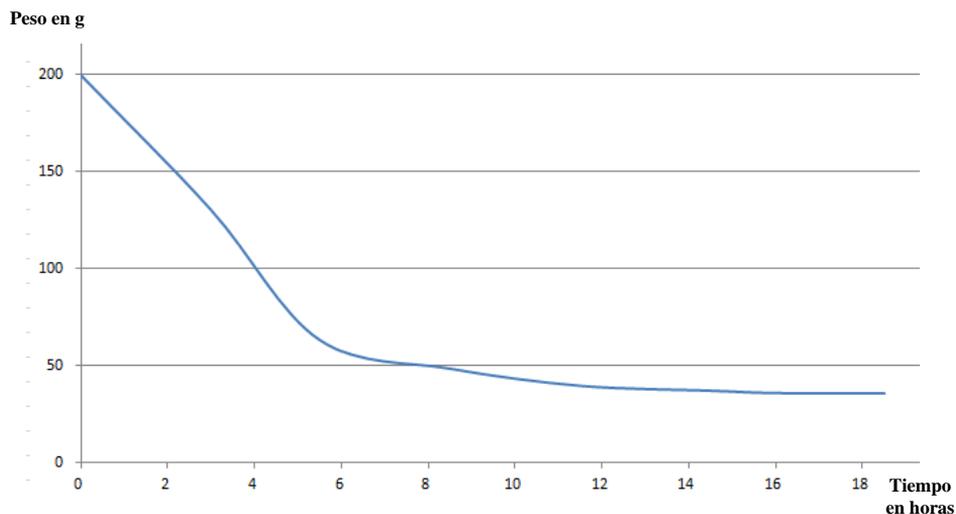


Figura 257. Gráfica de deshidratación de mango en julio de 2016

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	200,0	0,00	100,00	0,00
3,0	130,6	34,70	65,30	34,70
5,5	63,7	68,15	31,85	33,45
8,5	48,9	75,55	24,45	7,40
11,5	40,1	79,95	20,05	4,40
14,5	37,6	81,20	18,80	1,25
16,0	36,4	81,80	18,20	0,60
18,5	36,2	81,90	18,10	0,10

Tabla 26. Datos de la deshidratación de mango en julio de 2016, con porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento

El proceso se prolongó durante un día y medio, de los que el primer día estuvo el cielo nublado, mientras que en el segundo hubo sol a primera hora de la mañana y se fue nublando progresivamente hasta quedar el cielo completamente cubierto a mediodía.

La gráfica del proceso de secado de la coliflor se puede ver en la *figura 258*, mientras que los datos del proceso se muestran en la *tabla 27*. Se observa que

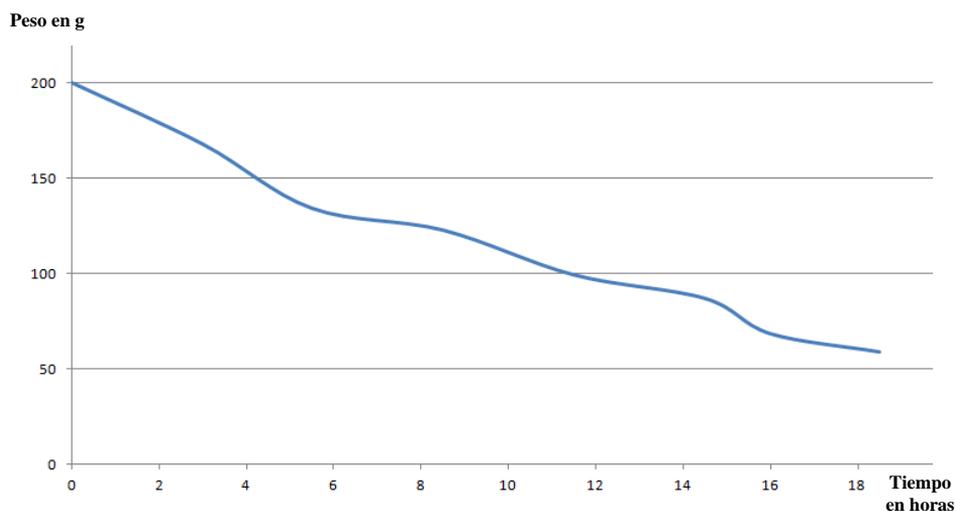


Figura 258. Gráfica de deshidratación de coliflor en julio de 2016

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	200,0	0,00	100,00	0,00
3,0	167,8	16,10	83,90	16,10
5,5	134,2	32,90	67,10	16,80
8,5	122,8	38,60	61,40	5,70
11,5	99,3	50,35	49,65	11,75
14,5	87,0	56,50	43,50	6,15
16,0	68,5	65,75	34,25	9,25
18,5	58,9	70,55	29,45	4,80

Tabla 27. Datos de la deshidratación de coliflor en julio de 2016, con porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento

la gráfica no consiguió estabilizarse, llegando en su parte final a una forma asintótica, por lo que hubiera necesitado más horas de secado, dado que la mayor parte del tiempo estuvo nublado.

La gráfica del proceso de secado de la patata se puede ver en la *figura 259*, mientras que los datos del proceso se muestran en la *tabla 28*. En este caso sí que se llegó a un punto estable, tal como se observa en la gráfica y también en

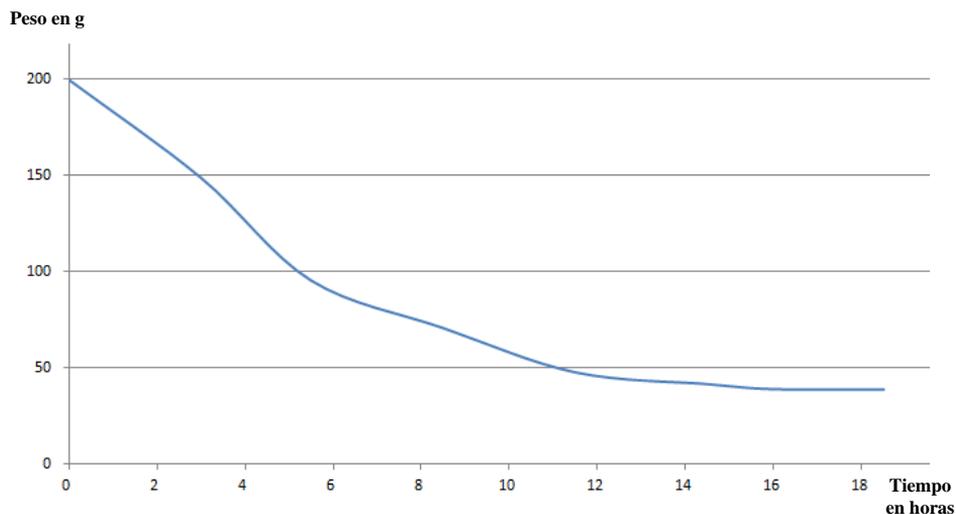


Figura 259. Gráfica de deshidratación de patata en julio de 2016

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	200,0	0,00	100,00	0,00
3,0	149,1	25,45	74,55	25,45
5,5	95,8	52,10	47,90	26,65
8,5	71,1	64,45	35,55	12,35
11,5	48,1	75,95	24,05	11,50
14,5	42,0	79,00	21,00	3,05
16,0	39,4	80,30	19,70	1,30
18,5	39,2	80,40	19,60	0,10

Tabla 28. Datos de la deshidratación de patata en julio de 2016, con porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento

los datos, que muestran cómo en la penúltima medida solo hubo una variación del 1,3 % en el peso, mientras que en la última el valor se situó en un 0,1 %, frente al 4,8 % que perdió la coliflor en el mismo intervalo de tiempo.

La gráfica del proceso de secado del melón se puede ver en la *figura 260*, mientras que los datos del proceso se muestran en la *tabla 29*. También alcanzó un valor estable, dado que en las dos últimas horas y media perdió también un

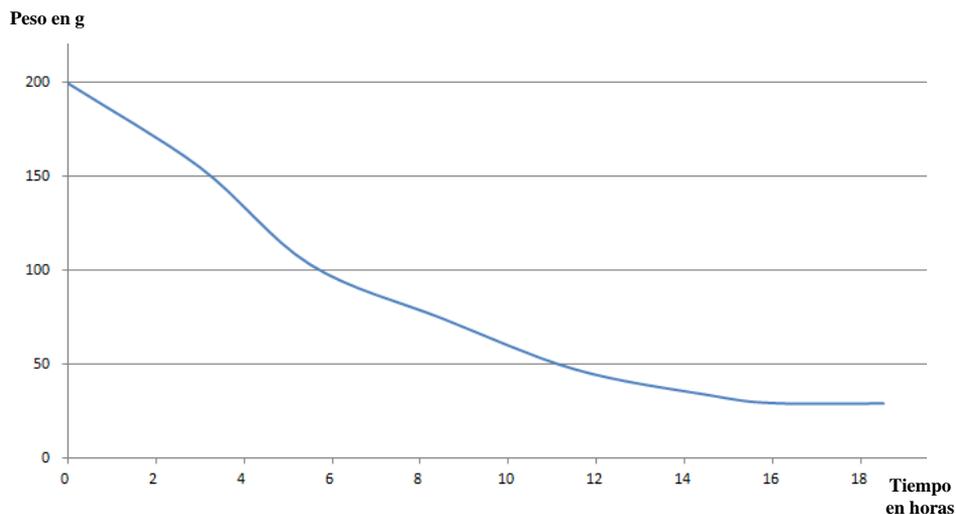


Figura 260. Gráfica de deshidratación de melón en julio de 2016

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	200,0	0,00	100,00	0,00
3,0	155,2	22,40	77,60	22,40
5,5	103,5	48,25	51,75	25,85
8,5	74,8	62,60	37,40	14,35
11,5	47,8	76,10	23,90	13,50
14,5	34,2	82,90	17,10	6,80
16,0	29,8	85,10	14,90	2,20
18,5	29,6	85,20	14,80	0,10

Tabla 29. Datos de la deshidratación de melón en julio de 2016, con porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento

0,1 % de su peso, habiendo acumulado una pérdida de peso de un 85,2 %, para quedarse en 29,6 gramos, de los 200 gramos iniciales de los que partíamos.

En el caso de la nectarina, tenemos su gráfica en la *figura 261*, mientras que los datos del proceso se muestran en la *tabla 30*. El descenso de peso respecto al valor inicial es más acusado que en los alimentos anteriores, perdiendo el 87,35 % del peso inicial, para quedarse en 25,3 gramos. La curva muestra un

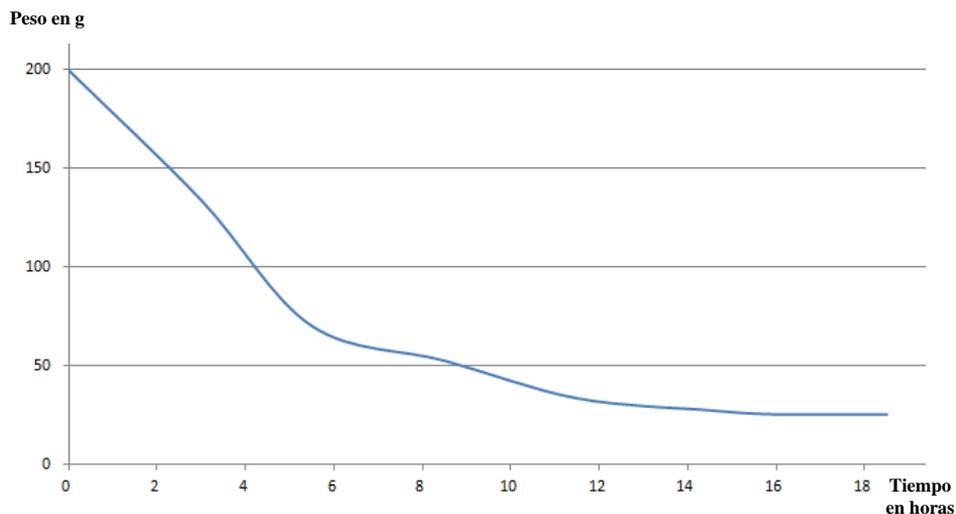


Figura 261. Gráfica de deshidratación de nectarina en julio de 2016

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	200,0	0,00	100,00	0,00
3,0	134,0	33,00	67,00	33,00
5,5	70,2	64,90	35,10	31,90
8,5	52,6	73,70	26,30	8,80
11,5	33,5	83,25	16,75	9,55
14,5	27,4	86,30	13,70	3,05
16,0	25,4	87,30	12,70	1,00
18,5	25,3	87,35	12,65	0,05

Tabla 30. Datos de la deshidratación de nectarina en julio de 2016, con porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento

comportamiento final claramente asintótico, hasta el punto de que en la última medición solo perdió un 0,05 % adicional de peso, que en valor absoluto fueron 0,1 gramos.

La zanahoria siguió una evolución parecida a la nectarina. Tenemos su gráfica en la *figura 262*, mientras que los datos del proceso se muestran en la *tabla 31*. El peso final se quedó reducido a 23,6 gramos, inferior incluso al de

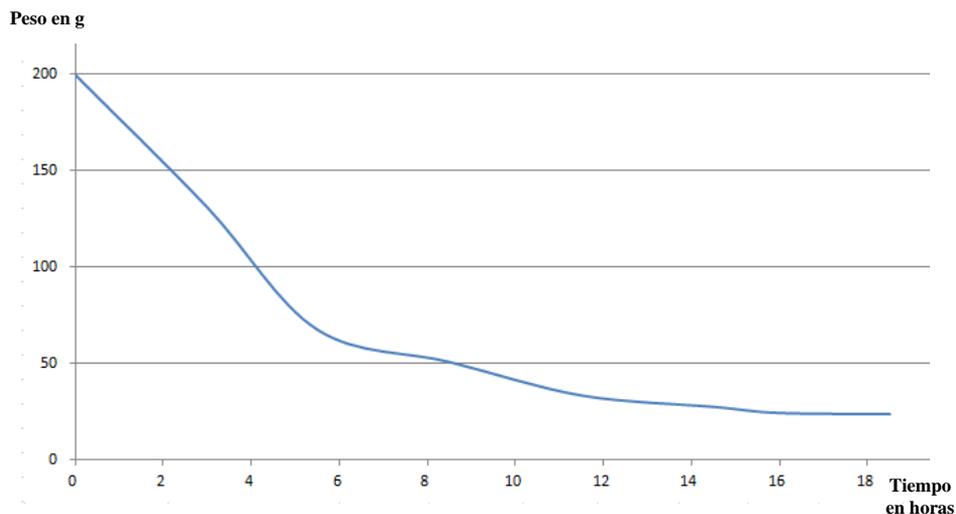


Figura 262. Gráfica de deshidratación de zanahoria en julio de 2016

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	200,0	0,00	100,00	0,00
3,0	131,1	34,45	65,55	34,45
5,5	67,5	66,25	33,75	31,80
8,5	50,7	74,65	25,35	8,40
11,5	33,3	83,35	16,65	8,70
14,5	27,4	86,30	13,70	2,95
16,0	24,2	87,90	12,10	1,60
18,5	23,6	88,20	11,80	0,30

Tabla 31. Datos de la deshidratación de zanahoria en julio de 2016, con porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento

la nectarina, aunque en el último intervalo porcentualmente tuvo una pérdida de peso un poco superior que aquella, de un 0,3 %, acumulando una pérdida de peso total del 88,20 % del peso inicial, la mayor de todos los productos tratados ese día.

La cereza tuvo un comportamiento similar a la coliflor. Tenemos su gráfica en la *figura 263*, mientras que los datos del proceso se muestran en la *tabla 32*.

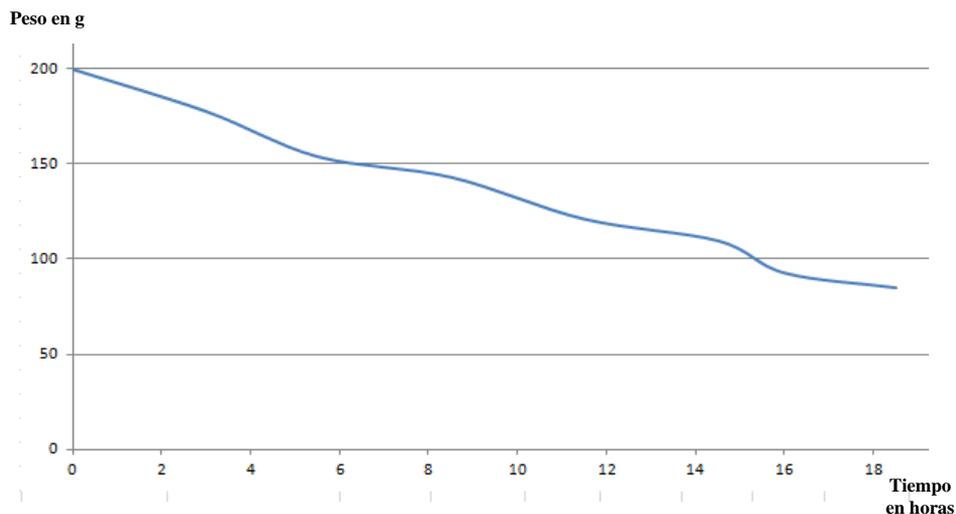


Figura 263. Gráfica de deshidratación de cereza en julio de 2016

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	200,0	0,00	100,00	0,00
3,0	177,8	11,10	88,90	11,10
5,5	154,0	23,00	77,00	11,90
8,5	143,1	28,45	71,55	5,45
11,5	121,0	39,50	60,50	11,05
14,5	109,6	45,20	54,80	5,70
16,0	92,6	53,70	46,30	8,50
18,5	84,8	57,60	42,40	3,90

Tabla 32. Datos de la deshidratación de cereza en julio de 2016, con porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento

Se observa que el proceso no llegó a completarse, dado que la curva no alcanza un valor asintótico y que el porcentaje de pérdida de peso en la última medición todavía se situó en un 3,9 %. Hubiese necesitado para completar su secado entre cuatro y seis horas adicionales o que los días hubiesen estado despejados.

Por último tenemos los datos de secado de la ciruela roja, con su gráfica en la *figura 264* y los datos del proceso en la *tabla 32*. Es otro de los casos en los

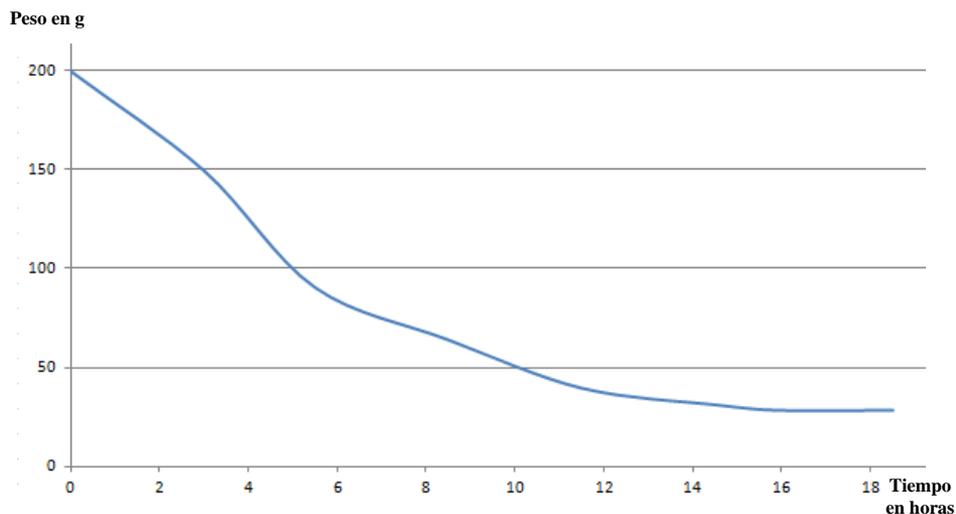


Figura 264. Gráfica de deshidratación de ciruela roja en julio de 2016

Tiempo en horas	Peso del alimento en gramos	% de peso perdido	% de peso restante	Variación respecto a la medida anterior
0,0	200,0	0,00	100,00	0,00
3,0	149,8	25,10	74,90	25,10
5,5	90,7	54,65	45,35	29,55
8,5	64,2	67,90	32,10	13,25
11,5	39,8	80,10	19,90	12,20
14,5	31,4	84,30	15,70	4,20
16,0	28,6	85,70	14,30	1,40
18,5	28,6	85,70	14,30	0,00

Tabla 33. Datos de la deshidratación de ciruela roja en julio de 2016, con porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento

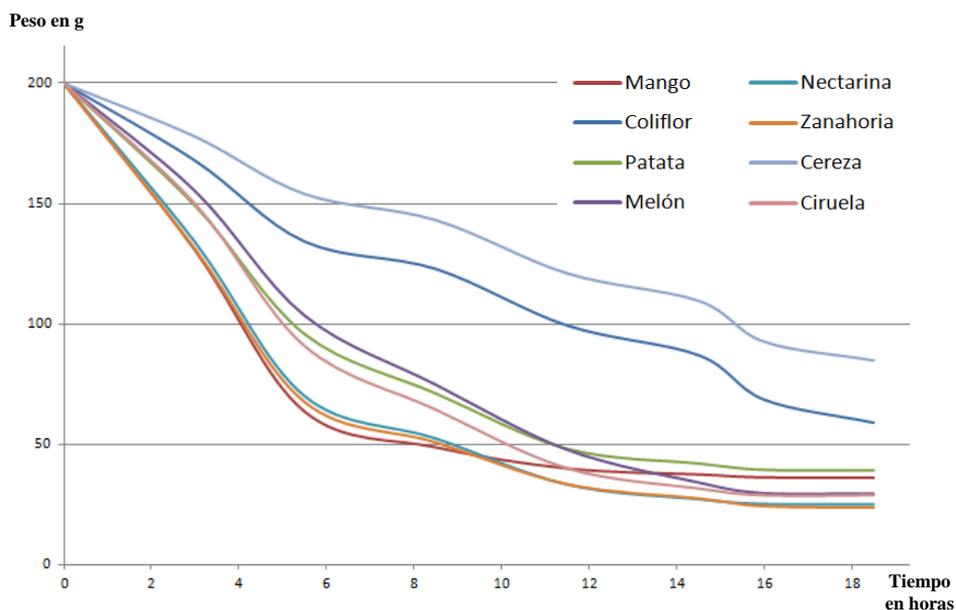


Figura 265. Gráficas superpuestas de todos los alimentos deshidratados simultáneamente el 21 de julio de 2016

que sí se llegó a completar el proceso, dado que entre la penúltima y la última medida no hubo variación en el peso. Su peso final es superior a los que se obtuvieron para la nectarina y la zanahoria, lo que nos recuerda que el contenido en agua de cada alimento es diferente del de cualquier otro.

Si superponemos las gráficas de los ocho alimentos tratados en esta sesión, tenemos un balance visual comparativo del proceso de secado. Lo podemos ver en la figura 265. Tal como hemos podido apreciar en sus gráficas individuales, aquí podemos ver con más claridad que cada alimento tiene un comportamiento diferente ante las mismas condiciones de secado.

Esto también lo podemos ver con claridad en la actividad del agua al final del proceso para cada uno de los alimentos, que se recoge en la tabla 34. Se

Alimento	Mango	Coliflor	Patata	Melón
Aw %	50	85	50	49
Alimento	Nectarina	Zanahoria	Cereza	Ciruela Roja
Aw %	52	52	77	51

Tabla 34. Actividad del agua de cada alimento al final del proceso de secado

obtienen buenos resultados para seis de los alimentos, cuya actividad del agua se sitúa entre el 49 y el 52 %, mientras que la cereza y la coliflor tienen valores del 77 % y del 85 %. Al estar por encima del 60 %, confirma lo que señalábamos a partir de las graficas, en el sentido de que el proceso de secado no había concluido correctamente.

La medición se realizó con higrómetros oh haus & co OH 513, introduciendo la sonda externa que poseen en la bolsa cerrada con el alimento secado, o bien introduciendo el medidor junto al alimento en un recipiente de cristal herméticamente cerrado, tal como se puede ver en la *figura 266*, aplicado a la medición de la actividad del agua de boniato y jengibre, deshidratados en agosto de 2016.



Figura 266. Higrómetros oh haus & co OH 513 midiendo la actividad del agua en boniato (bolsa) y jengibre (recipiente de cristal)

Tª exterior °C	28	35	33	29	35	36	33
Tª interior °C	36	46	46	38	46	49	43

Tabla 35. Temperatura en el exterior y en el interior de la cámara de secado

Humedad ext. %	70	45	56	63	50	42	49
Humedad int. %	48	30	29	43	28	22	26

Tabla 36. Humedad relativa en el exterior y en el interior de la cámara de secado

Esta sesión de deshidratación, en la que el cielo estuvo cubierto la mayor parte del tiempo, permite hacer una consideración adicional sobre el equipo, en el sentido de que en condiciones poco favorables sigue funcionando correctamente, aunque el proceso necesitará más horas para completarse.

El aumento de temperatura que consigue respecto a la temperatura exterior es menor que en un día soleado, pero la temperatura se eleva, tal como se puede ver en la *tabla 35*, que recoge las temperaturas en el exterior del equipo y en el centro de la cámara de secado, entre la bandeja segunda y tercera, en los momentos en los que se midió el peso de los alimentos. Las temperaturas se obtuvieron con un medidor Iso-Tech IDM 62T, que se puede ver en la *figura 267*, registrando dos medidas en el colector, en otros procesos de secado.

También disminuye la humedad relativa en el interior del equipo respecto a la del aire exterior, tal como se muestra en la *tabla 36*, esta vez medida con los higrómetros analógicos descritos con anterioridad y que se pueden ver en la *figura 151*.



Figura 267. Iso-Tech IDM 62T midiendo la temperatura en el interior del colector solar, por medio de una sonda que se introduce hasta el punto deseado

10.2. Deshidratación directa al sol.

Son numerosos los estudios en los que se recoge la pérdida de propiedades nutricionales de los alimentos y la retención del color al ser deshidratados (Ochoa-Reyes, E. 2013; Ceballos-Otíz, E. M. 2012. Askari, G. 2009; Rajkumar, P. 2007). En muchos de estos estudios se hace referencia a que cuando el proceso de secado se realiza de forma directa al sol la calidad de los alimentos se deteriora más, siendo un proceso más lento que el que utiliza deshidratadores solares como el diseñado.

En verano de 2016 quisimos comprobar la diferencia en la pérdida de color de los alimentos entre secado directo al sol o con un secador indirecto y, a la vez, verificar la diferencia de velocidad de secado entre ambos métodos. Recogemos a continuación los datos obtenidos el 8 de agosto de 2016.

Aunque no disponíamos de un colorímetro para hacer medidas de color, queríamos comprobar si a simple vista se podía apreciar un cambio en el color. La sesión la hicimos con cuatro alimentos fáciles de conseguir en Burkina Faso: piña, mango, jengibre y papaya, de los que preparamos dos bandejas de cada uno de ellos, con el mismo peso de producto, en cada par de bandejas, y con los cortes de las rodajas de 4 milímetros.

Intentamos optimizar el proceso de secado al sol, mejorando la situación habitual de dejar los alimentos sobre una tela, tal como se ve en la *figura 202*, que muestra el secado al sol de granos de habas. Los alimentos que debían dejarse directamente al sol se prepararon en bandejas similares a las que utilizamos en el deshidratador solar, aunque les dimos la vuelta, para que la madera de cuatro centímetros de ancho impidiese que las rodajas pudiesen ser arrastradas por el viento cuando fueran perdiendo peso.

A las bandejas se les pusieron apoyos de dos centímetros de alto, para facilitar la circulación del aire, de manera que estuviesen ligeramente separadas del punto en el que se apoyasen. Se situaron sobre una mesa de color blanco, que absorbe parte de la radiación, elevando su temperatura, pero refleja otra parte de la radiación que le llega, haciendo que incida sobre los alimentos por su parte inferior, consiguiendo una doble exposición de las rodajas a la radiación solar, directa en su parte superior y reflejada en la parte de abajo.

No hicimos una medición sistemática de la temperatura en las bandejas expuestas al sol, pero sí pudimos comprobar en algunos momentos puntuales que la temperatura en la mesa alcanzaba los 54 °C. Es un valor elevado, mucho más alto que la temperatura ambiente, por lo que no debemos confundir deshidratar directamente al sol con pensar que ocurre a temperatura ambiente, dado que optimizando las condiciones la temperatura será superior.



Figura 268. Secado directo al sol y mediante el deshidratador diseñado

En la *figura 268* tenemos las bandejas en la mesa, que se sitúa al lado del deshidratador solar. En la *figura 269* se puede ver el cambio que se va produciendo en el color de la papaya, cuando estamos a mitad del proceso de secado. Las rodajas que están dentro del deshidratador (las de la derecha) mantienen mejor su color inicial.



Figura 269. Diferencia de color en la papaya al secar directamente al sol (izquierda) o mediante el deshidratador solar diseñado (derecha)

Finalizado el proceso de secado pudimos comprobar que los cambios de color eran visibles a simple vista en la papaya y la piña, mientras que en el jengibre y el mango no eran tan evidentes. En la *figura 270* tenemos fotografías en las que hemos puesto diferentes cortes de papaya una al lado de la otra. A la derecha está la deshidratada en el equipo diseñado, mientras que a la izquierda tenemos la deshidratada directamente al sol. Se aprecia la diferencia de color y la pérdida del mismo en las láminas secadas al sol.

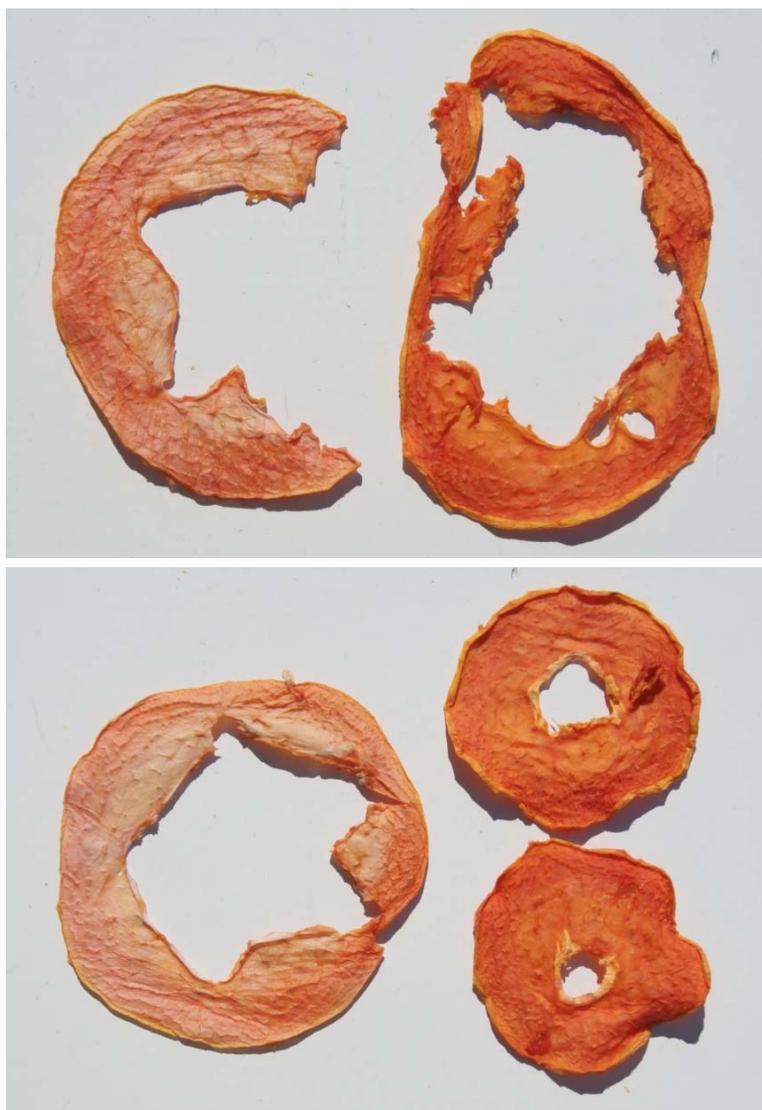


Figura 270. Diferencia de color en la papaya al final del proceso de secado realizado directamente al sol (izquierda) o mediante el deshidratador solar (derecha)

Algo similar ocurre con la piña, de la que tenemos muestras deshidratadas al sol y en el equipo en las imágenes de la *figura 271*. De nuevo se puede observar a simple vista cómo el color se ha perdido en los cortes deshidratados al sol, colocados a la izquierda, mientras que la piña deshidratada en el equipo mantiene mejor su color inicial.

En cualquier caso se hace necesaria la utilización de un colorímetro, que esperamos tener en 2018, para poder medir con precisión los cambios de color, al margen de poder comprobarlo en algunos casos a simple vista. Ésta es una de las líneas de trabajo futuras a la que dedicaremos nuestro tiempo.

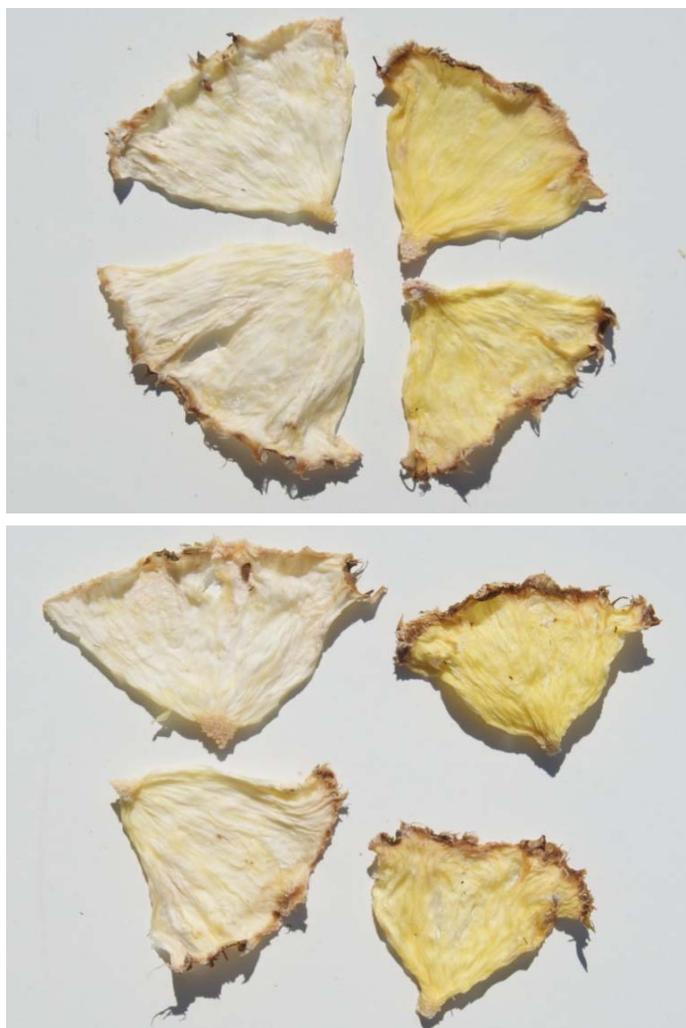


Figura 271. Diferencia de color en la piña al final del proceso de secado realizado directamente al sol (izquierda) o mediante el deshidratador solar (derecha)

Día de secado		Primer día				Segundo día	
Hora de la toma de datos		11:15	13:30	16:30	19:30	10:45	13:30
Horas de secado		0	2,25	5,25	8,25	11,25	14,00
Peso en gramos	Piña deshidratador	450,0	195,4	73,1	56,5	57,7	54,6
	Piña aire libre	450,0	172,7	65,3	62,1	63,9	61,3
	Mango deshidratador	430,0	252,0	87,9	80,9	83,1	80,1
	Mango aire libre	430,0	165,1	75,6	73,9	75,8	73,2
	Jengibre deshidratador	400,0	192,6	78,9	48,4	43,5	41,1
	Jengibre aire libre	400,0	186,2	51,0	42,7	40,3	38,5
	Papaya deshidratador	340,0	163,1	57,1	50,8	53,2	50,5
	Papaya aire libre	340,0	110,0	50,4	49,9	52,5	49,9

Tabla 37. Pérdida de peso en los alimentos secados directamente al sol o mediante el deshidratador solar

Resulta también interesante analizar los datos de disminución de peso que se han producido al secar directamente al sol o mediante el deshidratador solar. Partimos del mismo valor en cada alimento, tal como se ve en la *tabla 37*, yendo desde 450 gramos para la piña hasta 340 gramos para la papaya. De esta manera se puede comparar la pérdida de peso en cada pareja de medidas realizadas. No se ha colocado el mismo peso para todos y cada uno de los alimentos, sino que hemos llenado cada bandeja con el alimento a estudiar, puesto que la comparación la vamos a establecer entre los dos tipos de proceso de secado.

Al comenzar, todos los alimentos disminuyeron su peso más rápidamente en el secado directo al sol que en el deshidratador. Pasadas dos horas y cuarto, las diferencias fueron muy importantes en el mango o la papaya y menos acusadas en el jengibre y la piña. El mango había perdido el 61,6 % de su peso en el secado al sol, frente al 41,3 % en el deshidratador. La papaya había perdido el 67,6 % de su peso en el secado al sol, frente al 52,0 % en el deshidratador. Son valores muy elevados, puesto que solo habían transcurrido dos horas y cuarto desde el comienzo de la sesión de secado, aunque estábamos en las horas centrales del día y con muy buen nivel de radiación, cercano en todos los momentos al máximo de 1000 W/m^2 .

A medida que fue avanzando el proceso las diferencias fueron acortándose, ralentizándose el secado al aire libre respecto al que se estaba produciendo en el deshidratador. Al terminar el proceso de secado la piña secada en el deshidratador tenía un peso menor que la secada al sol. En el mango, jengibre y papaya, el peso final era ligeramente menor en el proceso realizado directamente al sol que en el que se hizo en el deshidratador.

Dado que se detuvo el proceso a las catorce horas de comenzar y hemos visto otras sesiones en las que hemos dejado los alimentos más tiempo secándose, es posible que de haber continuado algunas horas adicionales la pérdida de peso final hubiera sido igual o ligeramente inferior en el deshidratador para todos ellos. Tenemos previsto realizar en el futuro otras sesiones similares a ésta para comprobarlo.

También es significativo el cambio de peso producido entre la cuarta y la quinta toma de datos. Las ocho horas y cuarto iniciales corresponden al primer día del proceso de secado, mientras que la siguiente columna es la obtenida para el peso a la mañana siguiente. Como se observa en la tabla, en todos los casos había aumentado el peso. Se había producido una rehidratación natural de los alimentos, que seguían situados en las bandejas, que se habían guardado en el laboratorio y quedaron expuestas a la humedad ambiente que había durante la noche.

La pérdida de peso había sido tan grande en ese primer día que podemos observar cómo al detener el proceso el peso final es casi el mismo (en el caso de la papaya exactamente el mismo, cuarenta y nueve con nueve gramos) que al final del primer día. No hicimos la medición de la actividad del agua en ese final del primer día, pero se había situado en un nivel inferior al de la humedad ambiente que había durante la noche, lo que provocó la rehidratación de los alimentos y su consiguiente aumento de peso. El incremento no fue importante, pero es un factor a tener en cuenta, dado que se puede evitar guardando los alimentos en un recipiente cerrado.

En las gráficas de las *figuras 272, 273, 274 y 275* tenemos superpuestas curvas de pérdida de peso para cada alimento, mostrando de forma directa lo que se ha comentado en los párrafos anteriores. Recordemos, como se ha comentado, que estos resultados se han producido porque el proceso de secado directo al sol se preparó optimizando sus condiciones.

Además, se eligió un día soleado, completamente despejado y con una humedad ambiente baja, del 46 % al comenzar la sesión, lo que facilitaba el proceso de secado al aire libre. Si la humedad ambiente hubiese sido mayor, el proceso al aire libre se hubiese visto ralentizado y los resultados previsiblemente hubiesen sido diferentes.

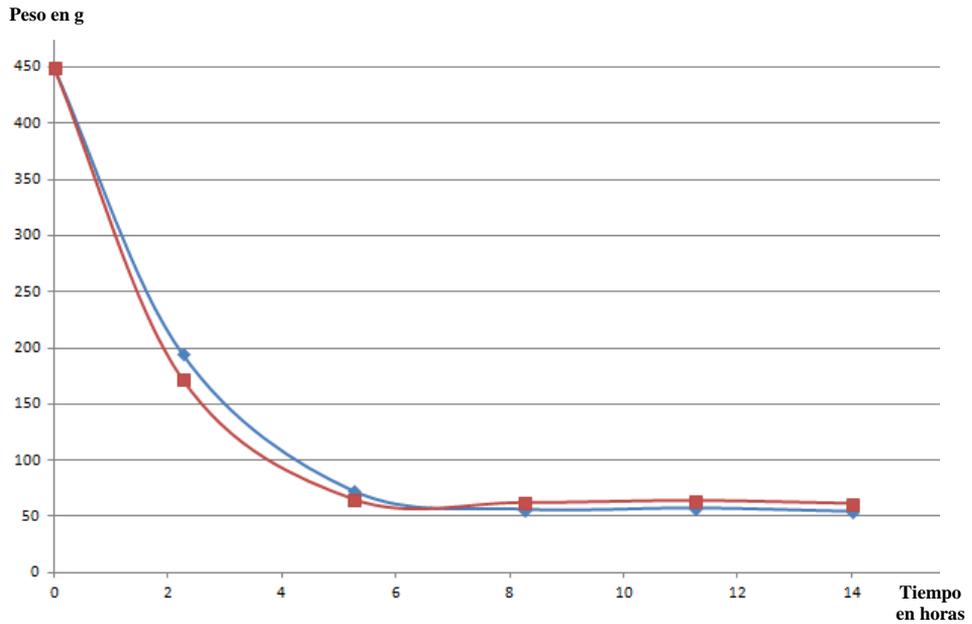


Figura 272. Gráficas superpuestas de la pérdida de peso de la piña, deshidratada al sol (rojo) y en el deshidratador (azul)

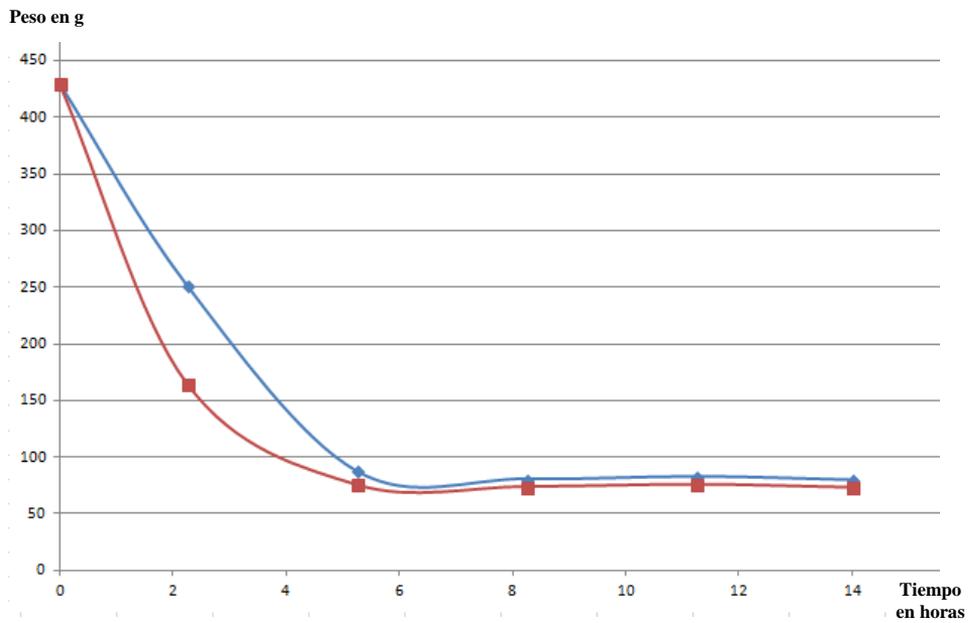


Figura 273. Gráficas superpuestas de la pérdida de peso del mango, deshidratado al sol (rojo) y en el deshidratador (azul)

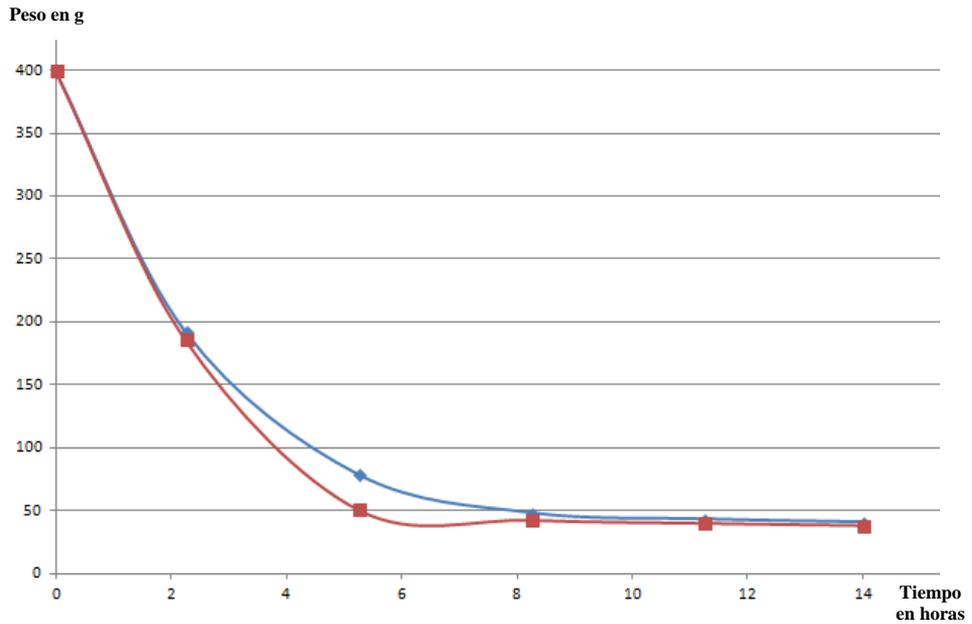


Figura 274. Gráficas superpuestas de la pérdida de peso del jengibre, deshidratado al sol (rojo) y en el deshidratador (azul)

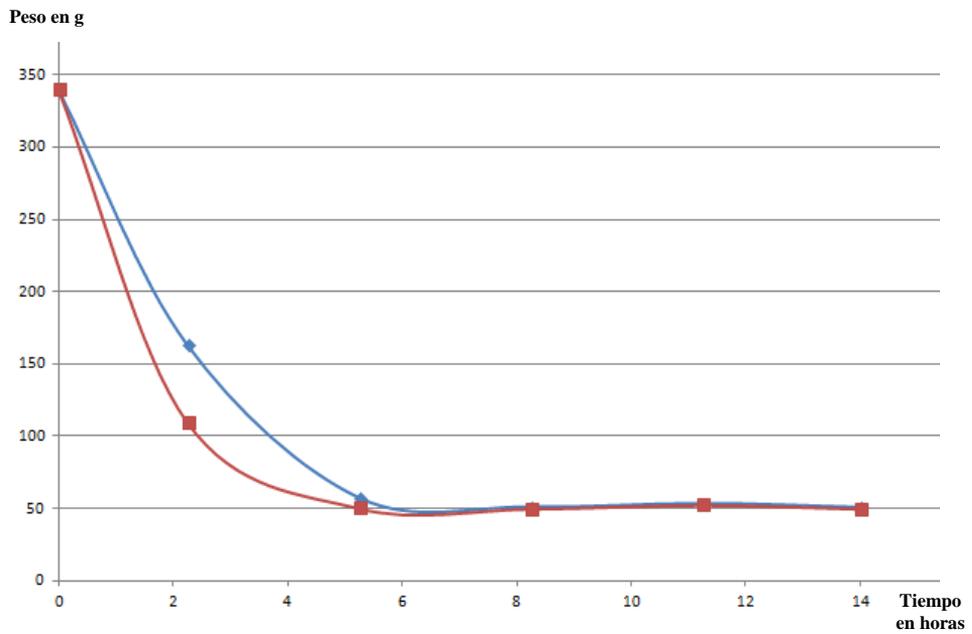


Figura 275. Gráficas superpuestas de la pérdida de peso de la papaya, deshidratada al sol (rojo) y en el deshidratador (azul)

En cualquier caso lo que sí se puede concluir es que optimizando el proceso de secado al sol se obtienen resultados, en cuanto a velocidad, similares a los que tenemos en el deshidratador.

Por tanto, debemos recordar aquí que el motivo fundamental de utilizar un deshidratador respecto al secado directo al sol es para aislar los alimentos del exterior, evitando que queden expuestos a los agentes externos, desde el polvo u otros elementos arrastrados por el aire, hasta los animales e insectos. En esta sesión de deshidratación al sol pudimos comprobar cómo moscas y avispas se situaban sobre los alimentos, pudiendo contaminarlos. También, y como hemos visto en este mismo apartado, el secado mediante un deshidratador indirecto como el diseñado, se realiza para que los alimentos conserven mejor los nutrientes y propiedades como el color, que se deterioran más por exposición directa al sol.

10.3. Medición de datos de temperatura.

La medición de temperaturas en nuestros procesos de secado se venía realizando hasta 2016 en momentos puntuales y con valores discretos correspondientes a un instante concreto. Siempre teníamos la idea de poder diseñar un medidor que tomase datos de forma continua, en intervalos que pudiésemos fijar, de manera que nos permitieran conocer mejor cómo se produce el proceso en el interior del equipo y, por tanto, mejorar dicho proceso.

En 2016 contamos con la colaboración del ingeniero José Manuel Terrés Haro, para desarrollar un sistema de adquisición de datos basado en el microprocesador Arduino, cuyo primer montaje podemos ver en la *figura 276*. Actualmente estamos utilizando el modelo UNO R3, con sensores de temperatura Maxim Integrated DS18B20, que poseen una precisión de 0,5 °C.

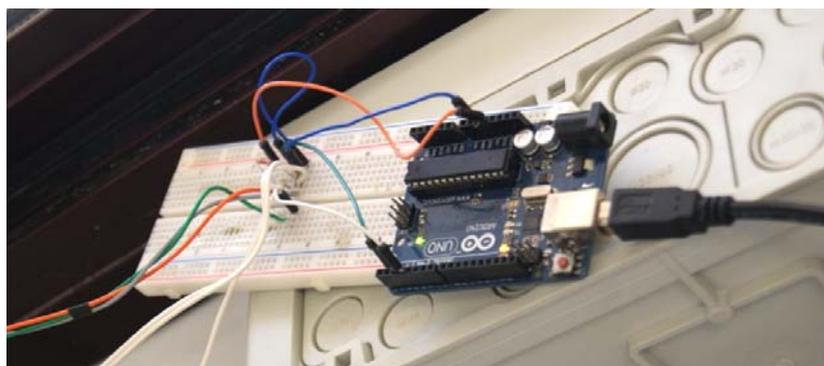


Figura 276. Primer montaje con el microprocesador Arduino para toma continua de datos de temperatura

Utilizamos este microprocesador debido a su bajo coste, apenas diez euros en las versiones básicas y alrededor de veinte en las que tienen prestaciones adicionales, mientras que los sensores sólo costaban dos euros por unidad, valores muy pequeños para las prestaciones que proporciona, puesto que nos permiten tomar datos de forma continua, en intervalos de tiempo que podemos fijar, por ejemplo de un minuto.

Un ejemplo de las mediciones obtenidas lo tenemos en la *tabla 38*, que recoge solo una parte de las 432 tomas de datos realizadas el día 25 de julio de 2016. T1 es la temperatura exterior, medida veinte centímetros por delante de la cámara de secado y en la parte superior de la misma y T2 la temperatura en

Día y hora	T1 °C	T2 °C
25/07/2016 13:24	32,63	48,19
25/07/2016 13:25	31,06	48,56
25/07/2016 13:26	29,94	47,50
25/07/2016 13:27	30,75	46,94
25/07/2016 13:28	31,81	46,75
25/07/2016 13:29	32,00	48,56
25/07/2016 13:30	31,50	49,13
25/07/2016 13:31	33,88	50,25
25/07/2016 13:32	32,06	50,81
25/07/2016 13:33	32,56	50,88
25/07/2016 13:34	33,13	51,44
25/07/2016 13:35	31,12	51,31
25/07/2016 13:36	31,19	50,19
25/07/2016 13:37	30,81	50,06
25/07/2016 13:38	31,00	49,13
25/07/2016 13:39	32,31	49,44
25/07/2016 13:40	31,06	50,44
25/07/2016 13:41	30,31	48,69
25/07/2016 13:42	30,94	48,50
25/07/2016 13:43	31,19	48,81
25/07/2016 13:44	31,44	48,50

Tabla 38. Datos medidos de forma continua cada minuto, con captadores de temperatura y el microprocesador Arduino

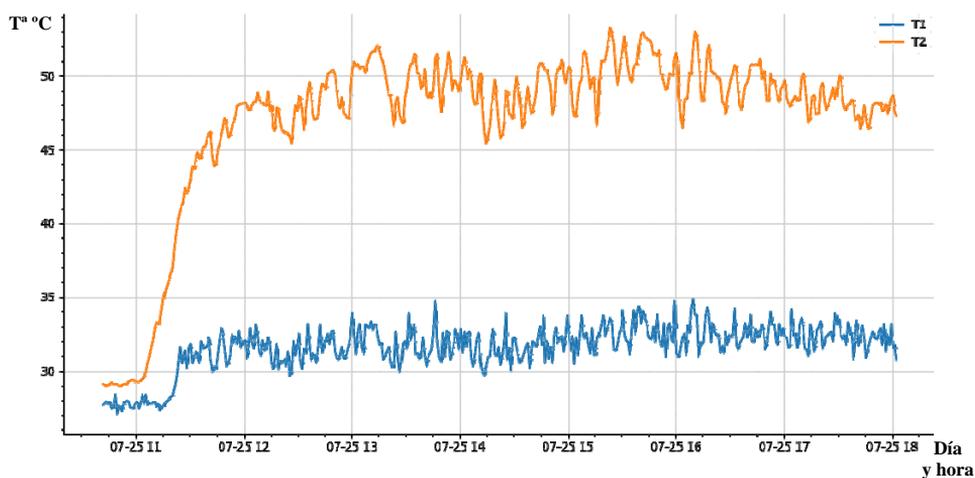


Figura 277. Gráficas superpuestas de la temperatura exterior T1 y la temperatura en la cámara de secado T2

la zona central de la cámara de secado, entre la segunda y la tercera bandeja, ambas en $^{\circ}\text{C}$.

Los datos completos de este día se recogen en la gráfica de la *figura 277*, que permite visualizar el incremento de temperatura conseguido gracias al deshidratador. Al comienzo de las mediciones la diferencia de temperatura es pequeña y posteriormente se va incrementando a medida que el equipo adquiere temperatura y la temperatura exterior va aumentando.

Para entender mejor esta zona inicial de la gráfica hay que explicar que el lugar donde tuvimos que colocar el equipo para poder hacer la toma de datos estaba en sombra a primera hora de la mañana. Después el sol iba progresivamente llegando al colector, hasta cubrirlo por completo, para después llegar hasta la cámara de secado. De ahí que hasta las 11:30 no tengamos medidas significativas, puesto que el equipo estaba total o parcialmente en sombra.

Estas medidas sirvieron para tener unos primeros datos con los que poder hacer una valoración del funcionamiento del deshidratador. Por ejemplo, en ese primer día de toma continua de datos, el máximo incremento de temperatura medido fue de $20,69^{\circ}\text{C}$ y se produjo a las 15:25, con una temperatura exterior de $31,44^{\circ}\text{C}$ y una interior de $52,13^{\circ}\text{C}$, mientras que el incremento medio de temperatura, sin contar la parte inicial en sombra, fue de $16,88^{\circ}\text{C}$.

También resulta llamativo comprobar cómo el equipo tiene una pequeña inercia térmica. En la *tabla 38* se puede ver que a las 13:35 se produce una disminución en la temperatura exterior de más de dos grados, sin embargo en la zona de secado la temperatura solo disminuye $0,13^{\circ}\text{C}$, aunque en el minuto

siguiente disminuye 1,12 °C adicionales. A las 13:40 la temperatura exterior disminuye más de un grado, mientras que en la cámara de secado la temperatura aumenta. La situación también se da a la inversa. Los aumentos de temperatura exterior tardan unos minutos en trasladarse hasta la cámara de secado, llegando suavizados.

Aunque no dispone de elementos que acumulen calor y le proporcionen inercia térmica, la madera y los propios alimentos acumulan una pequeña cantidad de calor, que suaviza los cambios de temperatura exterior. Esto nos hace pensar, en línea con algunos estudios consultados, en la posibilidad de dotar al equipo de algún elemento sencillo de acumulación de calor (Amunugoda, P. N. R. J. 2017), que podría situarse en el camino del aire hacia la cámara de secado. Es una línea de trabajo a la que nos dedicaremos en 2018, dado que el elemento para acumular calor pueden ser piedras pequeñas, fáciles de conseguir en todo el mundo y sin coste.

En los días siguientes pudimos disponer de varios sensores de temperatura recogiendo datos simultáneamente, lo que nos permitió diseñar otros experimentos con los que conocer cómo se repartían las temperaturas en distintas zonas del equipo. Lo aplicamos, por ejemplo, a estudiar la distribución de temperaturas en las bandejas, es decir, conocer si el aire más caliente tiene tendencia a subir por el centro del equipo o se reparte de forma uniforme por toda la superficie de la bandeja.

El día 1 de agosto de 2016 colocamos un sensor para medir la temperatura ambiente y seis sensores adicionales en una misma bandeja, tal como se ve en la *figura 278*. Los situamos a cinco centímetros de los laterales, distribuidos simétricamente en la bandeja, cuatro en los extremos y dos en la parte central, de manera que nos proporcionasen de forma simultánea las temperaturas cada minuto en los seis puntos. Colocamos la bandeja en la posición más elevada de la cámara de secado y se realizaron 462 tomas de datos entre las 11:30 h y las

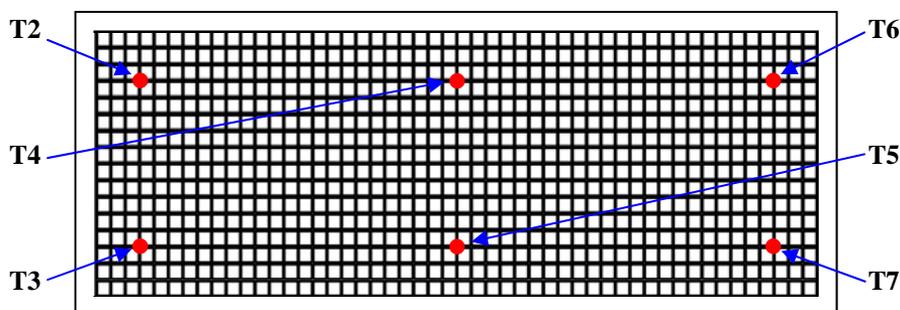


Figura 278. Posición en la bandeja de los sensores de temperatura, marcados en rojo y situados a 5 cm de los laterales

19:16 h, de las que tenemos una parte en la *tabla 39*. El valor medio de la diferencia de temperaturas entre el sensor T5, situado en el centro de la bandeja y el T7, situado en un lateral, fue de 1,21 °C, lo que nos permite modificar la idea que nos hacía pensar que la temperatura en la parte central de la bandeja era

Día y hora	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	T5 °C	T6 °C	T7 °C
01/08/2016 14:12	36,00	44,63	45,31	46,50	46,63	44,50	44,13
01/08/2016 14:13	36,25	45,44	46,38	47,31	47,69	45,81	45,63
01/08/2016 14:14	32,06	45,75	46,56	47,50	47,94	45,50	45,19
01/08/2016 14:15	36,69	45,88	47,00	47,38	48,00	45,63	45,13
01/08/2016 14:16	38,00	46,31	47,81	47,63	48,44	46,75	46,19
01/08/2016 14:17	33,75	46,75	47,94	47,94	48,50	46,69	46,44
01/08/2016 14:18	34,81	46,06	47,06	47,44	48,13	46,13	45,50
01/08/2016 14:19	34,50	45,94	46,81	47,31	48,00	45,88	45,06
01/08/2016 14:20	35,06	45,13	46,13	46,31	46,69	44,88	43,94
01/08/2016 14:21	34,94	45,06	46,13	47,38	47,56	45,75	44,88
01/08/2016 14:22	34,50	44,81	45,81	47,50	47,69	46,19	45,50
01/08/2016 14:23	35,63	45,13	45,94	47,69	47,94	46,50	46,06
01/08/2016 14:24	34,13	45,25	46,06	47,88	47,75	46,69	46,50
01/08/2016 14:25	34,25	45,88	46,69	48,13	48,56	47,25	46,94
01/08/2016 14:26	32,94	45,63	46,31	46,81	46,88	45,06	44,94
01/08/2016 14:27	35,56	45,88	46,69	47,06	47,56	45,56	45,19
01/08/2016 14:28	34,81	45,75	46,63	47,25	47,88	46,06	45,81
01/08/2016 14:29	37,31	45,94	46,88	47,44	48,25	47,00	46,44
01/08/2016 14:30	33,13	46,38	47,44	48,25	49,00	47,38	47,00
01/08/2016 14:31	38,31	46,50	47,88	48,00	48,81	47,56	46,94
01/08/2016 14:32	39,38	46,75	48,19	48,25	49,06	47,81	47,19
01/08/2016 14:33	34,81	46,38	47,81	47,88	48,75	46,88	46,31
01/08/2016 14:34	36,06	45,94	46,88	48,13	48,56	47,00	46,25
01/08/2016 14:35	35,94	45,94	47,13	48,00	48,56	47,31	46,75
01/08/2016 14:36	33,19	44,81	45,25	46,56	46,63	46,00	45,56
01/08/2016 14:37	37,00	45,06	45,88	47,13	47,56	46,88	46,44

Tabla 39. Datos de temperatura exterior y en seis puntos distribuidos a lo largo de la superficie de una bandeja

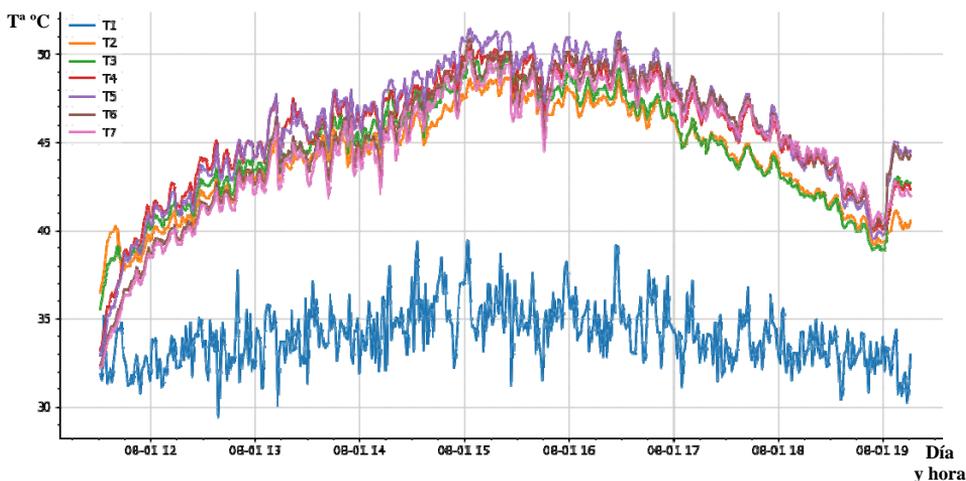


Figura 279. Gráficas superpuestas de la temperatura exterior T1 y las seis temperaturas de los sensores situados en la bandeja, T2 a T7

bastante superior a la que teníamos en los laterales. Los datos completos los podemos ver en la gráfica de la *figura 279*, en la que al final de la gráfica se observa un aumento repentino de la temperatura en los sensores de la bandeja. Fue debido a que mantuvimos el deshidratador orientado al sur durante todo el día y, antes de retirar el equipo lo orientamos hacia el ocaso del sol, buscando la mejor posición relativa posible, lo que dio lugar a un incremento inmediato de las temperaturas en la bandeja.

En la *figura 280* tenemos separada la gráfica de la temperatura ambiente, indicándonos que fue un día poco estable, puesto que en unos minutos llegaba a

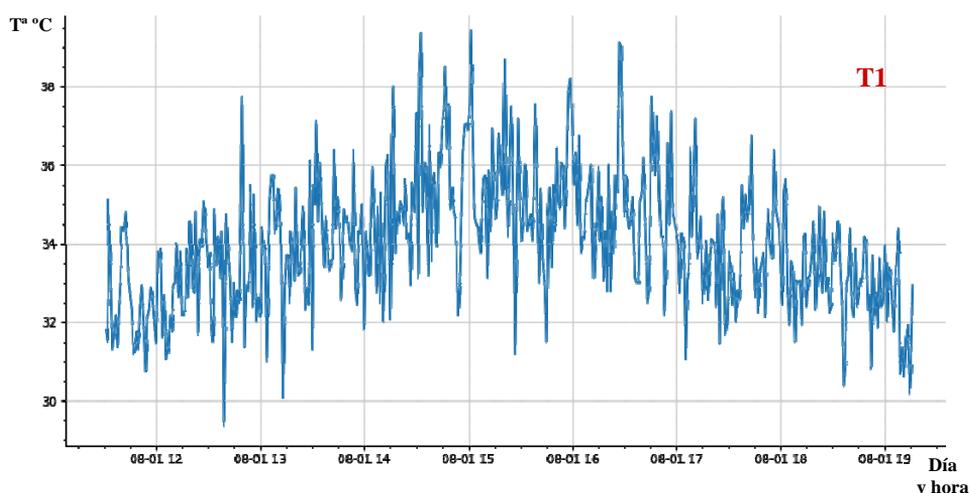


Figura 280. Temperatura ambiente proporcionada por el sensor T1

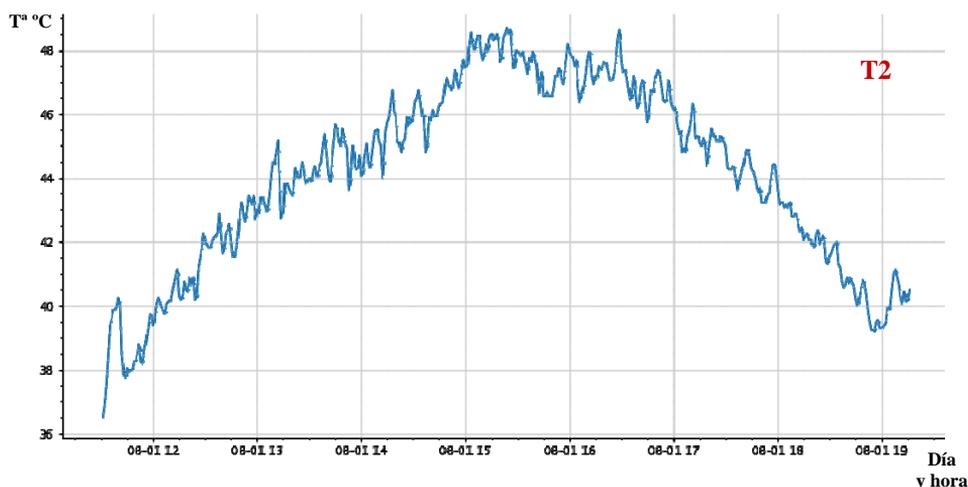


Figura 281. Temperatura del sensor T2

haber variaciones de hasta siete grados, cuestión que también se observa en los datos de la *tabla 39*, en la que en un minuto la temperatura llega a subir o bajar más de cuatro grados y medio.

En las *figuras 281, 282, 283 y 286* tenemos las gráficas individuales de las temperaturas de cada uno de los sensores, en las que se puede observar que las fluctuaciones externas de temperatura se transmiten a la temperatura en el interior del equipo, con esa pequeña inercia térmica que hemos comentado con anterioridad. También se puede ver que, excepto las pequeñas diferencias en el valor de la temperatura que observábamos en la *tabla 39*, la evolución general de las seis temperaturas sigue un patrón similar.

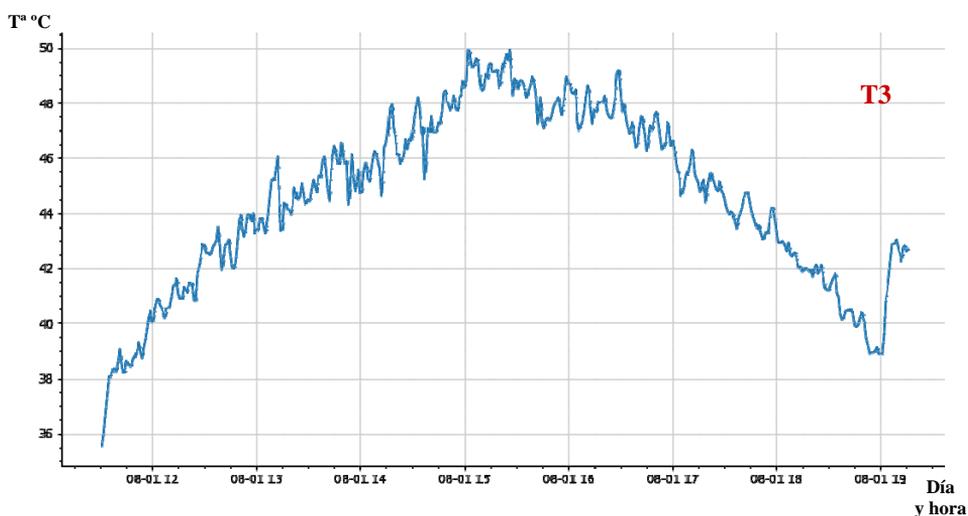


Figura 282. Temperatura del sensor T3

— Trabajos recientes y futuros trabajos —

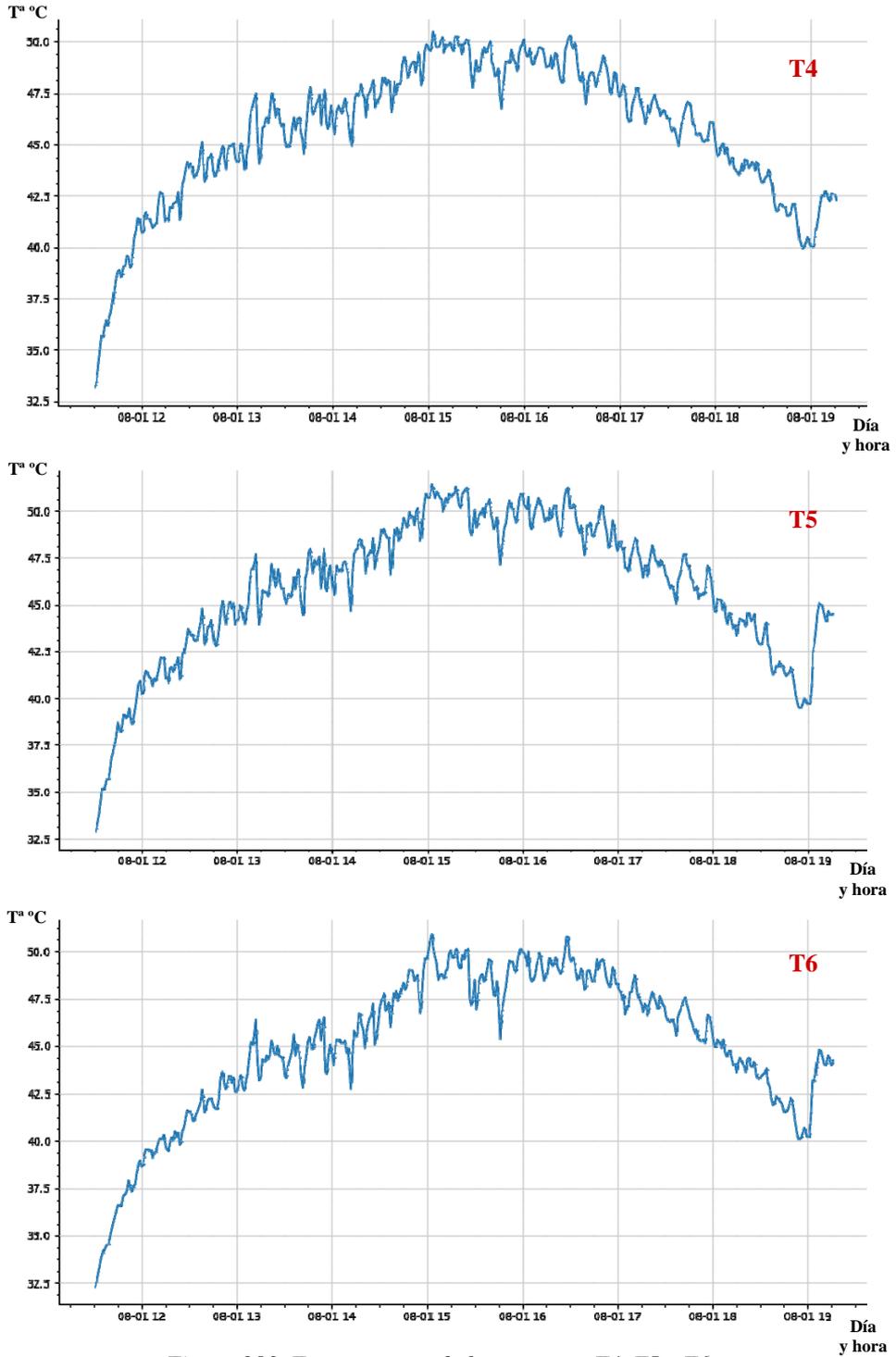


Figura 283. Temperaturas de los sensores T4, T5 y T6

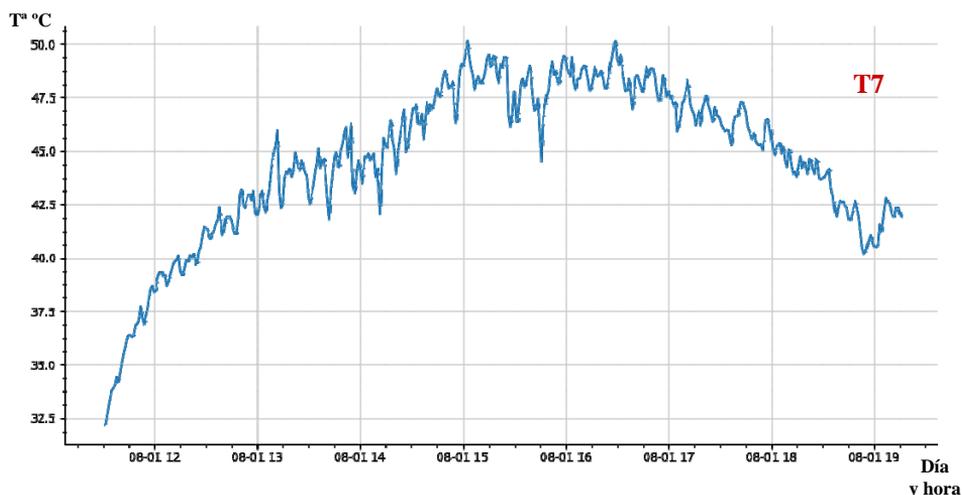


Figura 284. Temperatura del sensor T7

El día 2 de agosto de 2016 volvimos a medir las temperaturas con la misma disposición de los sensores y de la bandeja en la que estaban situados. La gráfica con las temperaturas de los siete sensores se puede ver en la *figura 285*. La parte inicial vuelve a corresponder a los momentos en que el deshidratador está en sombra, por lo que todos los sensores proporcionan temperaturas similares, aunque dentro del deshidratador es ligeramente superior a la temperatura ambiente.

A medida que la radiación solar va llegando al colector, la temperatura en la cámara de secado va subiendo, tal como hemos comentado respecto a los datos recogidos en el día anterior.

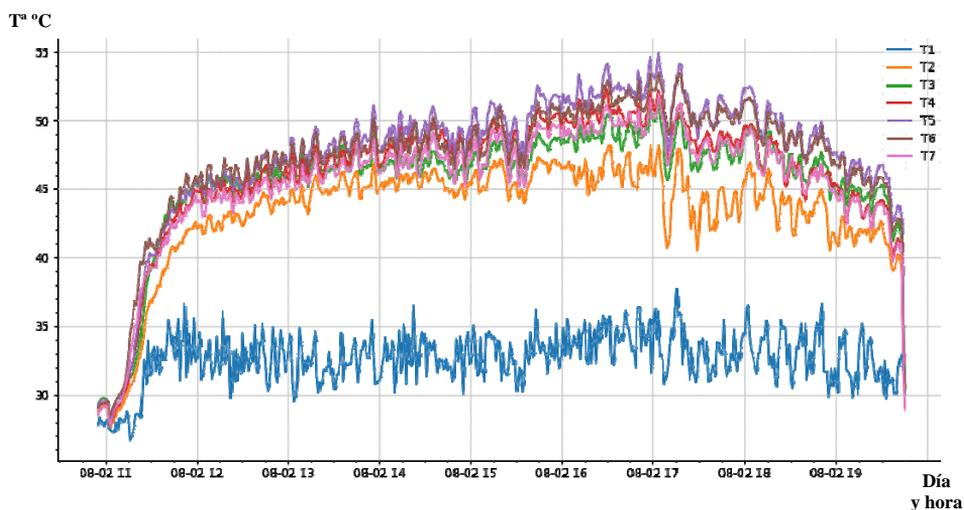


Figura 285. Temperatura de todos los sensores el día 2 de agosto de 2016

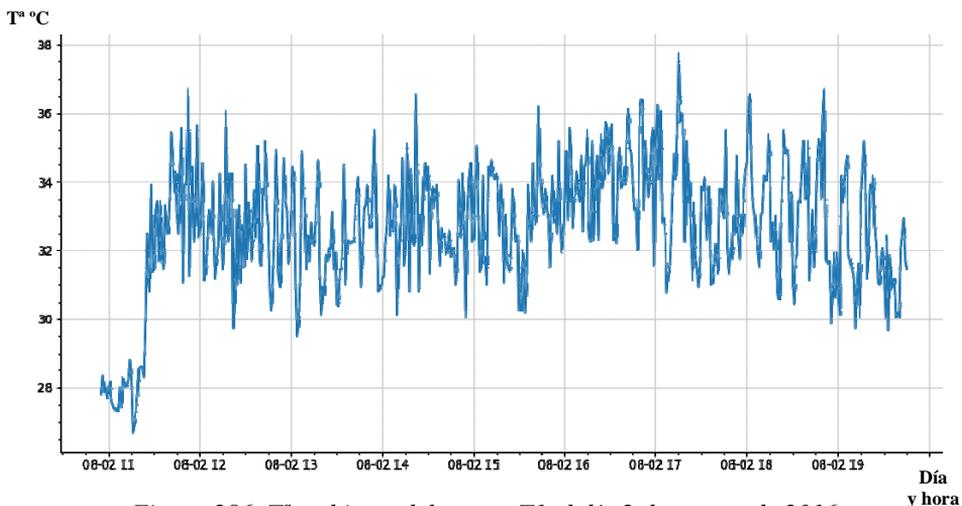


Figura 286. T^a ambiente del sensor T1 el día 2 de agosto de 2016

A diferencia de la gráfica del día 1 de agosto, se observa que la temperatura exterior tiene fluctuaciones un poco más suaves, tal como se ve al separar su gráfica en la *figura 286*. También se advierte cómo la gráfica de la temperatura en los sensores de la bandeja tiene una forma más plana, frente a la que teníamos en la gráfica de la *figura 279*. Esto es debido a que el día 2 de agosto movimos el deshidratador en varias ocasiones para orientarlo hacia el sol, mientras que el día 1 de agosto lo dejamos todo el día fijo con orientación sur.

Lo podemos observar con más claridad separando una de las gráficas, por ejemplo la del sensor T2, que tenemos en la *figura 287*, en la que se percibe mejor el aplanamiento de la forma de la gráfica.

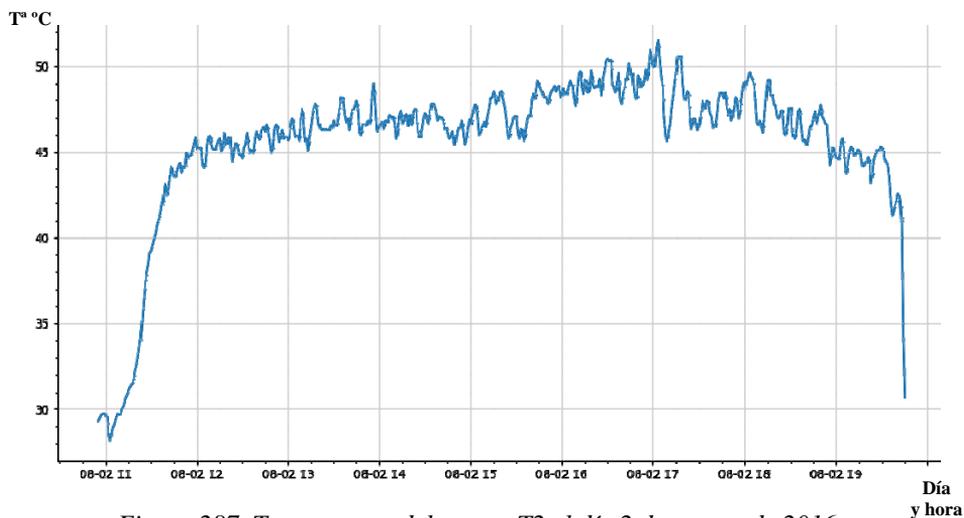


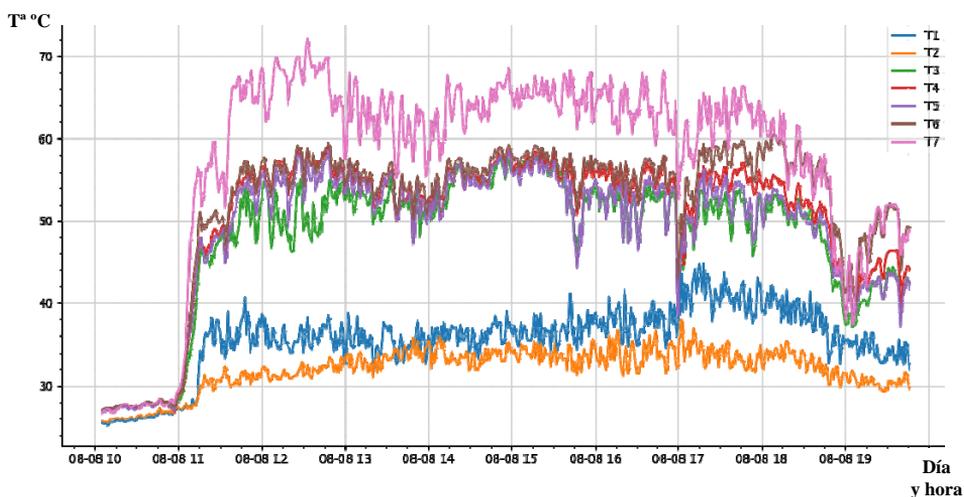
Figura 287. Temperatura del sensor T2 el día 2 de agosto de 2016

Esta forma de onda y los valores que se midieron verifican que optimizamos el funcionamiento del deshidratador orientándolo en varias ocasiones durante el día hacia el sol, puesto que de esta manera la cantidad de energía que llega al colector es mayor, lo que se traduce en un aumento en la temperatura del aire que atraviesa las bandejas y los alimentos.

Vemos también en la gráfica de la *figura 285* que la temperatura del sensor T2 es significativamente inferior a la de los demás. No hemos encontrado una explicación para este hecho, por lo que tendremos que programar nuevos experimentos para poder corroborar cuál es la tendencia general de la distribución de temperaturas en la bandeja.

Recordemos que como norma de trabajo habíamos indicado que a lo largo del proceso de secado se cambiase la posición relativa de los alimentos en la bandeja, al menos dos veces a lo largo de cada sesión de secado. Buscamos con ello que todas las láminas se sequen por igual, pero si la distribución de temperaturas en cada bandeja no tiene variaciones significativas, no sería necesario mover las láminas. En cualquier caso hacen falta más medidas para corroborarlo y sacar conclusiones. Es una línea de trabajo a seguir en 2018.

En estas primeras pruebas de medición continua de temperaturas preparamos un experimento con el que obtener datos sobre la diferencia en la temperatura del aire cuando sale del colector solar, cuando llega a la primera bandeja y cuando atraviesa a la última. El día 8 de agosto de 2016 hicimos una sesión en la que colocamos un sensor en el centro de cada bandeja (T3, T4, T5 y T6), a la altura de las láminas de los alimentos, otro sensor en el centro de la salida del colector solar (T7) y dos más para la temperatura ambiente al sol (T1) y a la sombra (T2). Los resultados se pueden ver en la gráfica de la *figura 288*.



Recogemos en la *tabla 40* algunas de las 582 tandas de datos medidos, en los que se puede observar que la temperatura en la salida del colector supera los 67 °C, mientras que ya en las bandejas, incluso en la que está más abajo, la temperatura disminuye una media de 6,27 °C, entre las 11:30 h y las 19:46 h.

Día y hora	T1 °C	T2 °C	T3 °C	T4 °C	T5 °C	T6 °C	T7 °C
08/08/2016 12:54	35,69	32,5	54,31	55,94	55,06	57,00	64,62
08/08/2016 12:55	34,81	31,56	53,25	55,81	55,06	56,00	65,25
08/08/2016 12:56	36,44	32,94	54,44	56,81	56,25	57,69	65,00
08/08/2016 12:57	37,75	33,50	54,63	56,00	55,81	57,19	63,88
08/08/2016 12:58	35,13	32,44	54,69	56,44	55,88	57,38	63,94
08/08/2016 12:59	32,56	33,06	52,50	53,19	53,25	54,19	57,38
08/08/2016 13:00	35,56	33,75	53,25	53,63	53,31	54,88	60,19
08/08/2016 13:01	38,81	33,75	54,44	55,88	55,88	56,81	64,75
08/08/2016 13:02	36,94	32,19	52,31	57,19	56,56	57,69	67,94
08/08/2016 13:03	34,81	33,75	53,25	55,38	55,56	56,31	61,94
08/08/2016 13:04	34,69	32,44	53,06	54,50	53,44	55,19	62,75
08/08/2016 13:05	34,50	31,50	50,81	54,75	53,13	54,94	65,50
08/08/2016 13:06	36,13	32,19	51,38	56,25	55,19	56,81	67,06
08/08/2016 13:07	36,25	32,19	52,19	56,06	55,50	56,81	67,44
08/08/2016 13:08	38,31	33,06	53,63	56,38	56,06	57,25	66,12
08/08/2016 13:09	34,81	33,81	53,25	53,88	54,00	54,81	60,13
08/08/2016 13:10	35,13	34,06	52,81	52,94	52,81	54,25	59,25
08/08/2016 13:11	36,94	32,81	53,81	54,88	54,94	55,75	63,44
08/08/2016 13:12	35,13	31,94	53,25	55,25	54,94	56,06	65,25
08/08/2016 13:13	36,63	33,31	53,13	55,19	55,06	56,25	62,81
08/08/2016 13:14	34,50	32,88	52,94	54,75	54,44	55,63	62,63
08/08/2016 13:15	35,63	32,75	52,44	53,44	53,31	54,50	60,63
08/08/2016 13:16	34,63	31,62	51,94	54,75	54,56	55,13	64,94
08/08/2016 13:17	36,06	32,50	52,75	55,13	54,56	56,00	63,38
08/08/2016 13:18	35,75	32,69	53,38	54,69	54,44	55,38	62,19
08/08/2016 13:19	32,75	31,00	49,56	52,38	50,75	52,88	62,75

Tabla 40. Datos de temperatura exterior al sol (T1), a la sombra (T2), en las cuatro bandejas (de arriba abajo T3, T4, T5 y T6) y a la salida del colector (T7)

Más interesante que este dato, es la diferencia de temperaturas entre la bandeja inferior, la primera que recibe el aire caliente procedente del colector, y la bandeja superior, la última atravesada por el aire que se encarga de secar los alimentos. El valor medio de esta diferencia de temperaturas en el mismo intervalo de medidas, entre las 11:30 h y las 19:46 h, es de 4,34 °C, un valor alto, pero inferior al que esperábamos.

Esto nos lleva a plantear la posibilidad de incluir al menos dos bandejas adicionales en el deshidratador, y comprobar cómo se distribuyen las temperaturas, entre las bandejas y en la superficie de cada bandeja. Es de nuevo una línea de trabajo futura, puesto que hemos de volver a hacer más sesiones en las que tomemos estos datos en distintas condiciones meteorológicas, para comprobar resultados en distintas situaciones de trabajo del deshidratador.

Las medidas recogidas no modifican nuestra recomendación inicial de cambiar de posición las bandejas al menos dos veces durante la sesión de secado. Consiste en llevar la de más arriba a la posición de abajo y rotar el resto así, subiendo sucesivamente una posición en todas las demás, buscando obtener un resultado de secado sobre las láminas de alimentos lo más uniforme posible.

10.4. Trabajos futuros.

Los resultados obtenidos en estas primeras medidas de temperaturas con el equipo basado en el microprocesador Arduino, nos llevaron a elevar la inclinación del deshidratador a finales de agosto de 2016. Las temperaturas que obteníamos en las bandejas en momentos puntuales de días soleados y a mediodía estaban en el límite de lo que permite el proceso de secado de algunos alimentos, por lo que era aconsejable elevar ligeramente la inclinación del colector para conseguir una mayor velocidad del aire junto a una pequeña disminución de la temperatura.

Entre los trabajos futuros debemos volver a repetir las medidas de temperatura, con suficiente cantidad de experimentos y en condiciones significativamente diferentes, como para sacar conclusiones sobre si se pueden poner dos o más bandejas adicionales, sin aumentar de forma significativa el tiempo necesario para secar los alimentos. Aumentar el número de bandejas significa disponer de más espacio para colocar alimentos y rentabilizar el tiempo empleado en secarlos, mejorando el rendimiento del equipo en la línea de las peticiones realizadas por la APFG de Gaoua.

También estamos comenzando a trabajar con sensores de humedad aplicados al Arduino. Con el nuevo equipo de medida dispondremos de las siete temperaturas de forma simultánea con medidas de humedad en distintos puntos del deshidratador, lo que nos permitirá tener más datos sobre su funcionamiento y

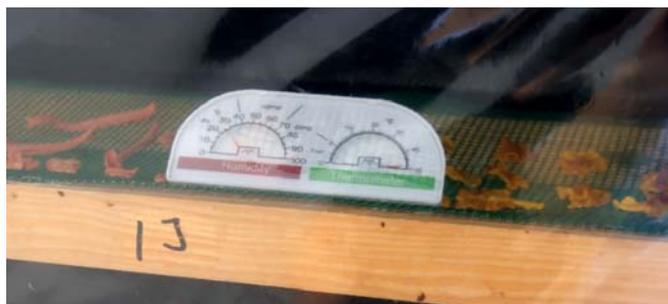


Figura 289. Medidas de humedad y temperatura a mitad del proceso de secado

optimizarlo a partir de los resultados obtenidos. En la *figura 289* tenemos un medidor analógico que nos indica un 25 % de humedad a mitad del proceso de secado, que acaba situándose en un valor de menos de un 5 % al final del mismo. Disponer de una medición continua de la humedad en la cámara de secado nos proporcionará datos adicionales con los que mejorar el deshidratador y entender mejor cómo se produce el proceso en su interior.

Junto a estas tareas, recogemos a continuación los trabajos de investigación en los que estamos inmersos, que en algunos casos se han mencionado en distintas partes de la tesis, y que constituyen las líneas de trabajo futuras:

1.- Búsqueda de una relación entre la disminución del peso de los alimentos y la actividad del agua en los mismos. En 2016 estuvimos trabajando en este campo, pero la falta de un dispositivo de medición rápida y precisa de la actividad del agua hizo inviable obtener conclusiones fiables. Tenemos previsto adquirir un medidor de actividad del agua para establecer una primera línea de toma de datos sobre alimentos habituales en Burkina Faso, como piña, mango, papaya o jengibre.

El objetivo es obtener el valor de la disminución del peso del alimento respecto a su valor inicial, para el que la actividad del agua se sitúe por debajo del máximo para que no se deterioren los alimentos. De cada fruta o verdura deberemos probar con distintas variedades y estados de maduración, y en días con distintas condiciones meteorológicas, para intentar conseguir un valor seguro de peso perdido que nos garantice que la actividad del agua se sitúa por debajo del 60 %.

2.- Medir la variación del color de los alimentos para obtener datos que complementen los resultados que tuvimos ocasión de visualizar directamente sobre frutas como la papaya o la piña. Para ello vamos a adquirir un colorímetro con el que poder obtener resultados concluyentes, más allá de lo que se puede ver a simple vista. A la vez vamos a continuar trabajando en comprobar las condiciones óptimas de secado al aire libre, para poder ofrecer un conjunto de

medidas a tomar para optimizar el secado directo al sol. Sabemos que no es la mejor opción, tal como se ha descrito con anterioridad, pero también tenemos la certeza de que hay personas que no van a tener acceso ni siquiera a un equipo como el que hemos diseñado. Disponer de unas recomendaciones para optimizar el proceso de secado directo al sol redundará en que los alimentos estén menos tiempo expuestos y el producto seco obtenido tenga mejor conservados sus nutrientes (Burden, J. 1993).

3.- Elaborar un manual completo sobre nuestro deshidratador, mejorando significativamente el que tenemos en la actualidad, para traducirlo a francés e inglés y ponerlo a disposición de ONGs y organizaciones de cualquier tipo que puedan y quieran aplicarlo en las comunidades con las que trabajan.

La preparación de una web con toda la información que incluyamos en el manual será complementaria a la preparación del mismo, de manera que pueda ser compartido de forma gratuita con todos los que puedan hacer un buen uso de los resultados de nuestra investigación.

4.- Preparar un catálogo con la evolución del aspecto de los alimentos durante el proceso de secado, en la línea de las aportaciones que se han podido ver en distintos capítulos de esta tesis. Es uno de los resultados en los que queremos hacer hincapié en el futuro, aportando elementos gráficos que visualicen también la disminución en el tamaño de los alimentos. Es un campo en el que hemos estado trabajando, aunque no lo hayamos incluido en esta tesis, puesto que está todavía en una etapa inicial.

En la *figura 290* se puede ver la disminución del tamaño de una muestra de boniato, cortada a 4 mm de espesor, que pasa de tener aproximadamente 7 x 7,5 centímetros a quedar en un tamaño aproximado de 4 x 4 centímetros. Al haberse retorcido la muestra, debido al proceso de secado, no se observa bien

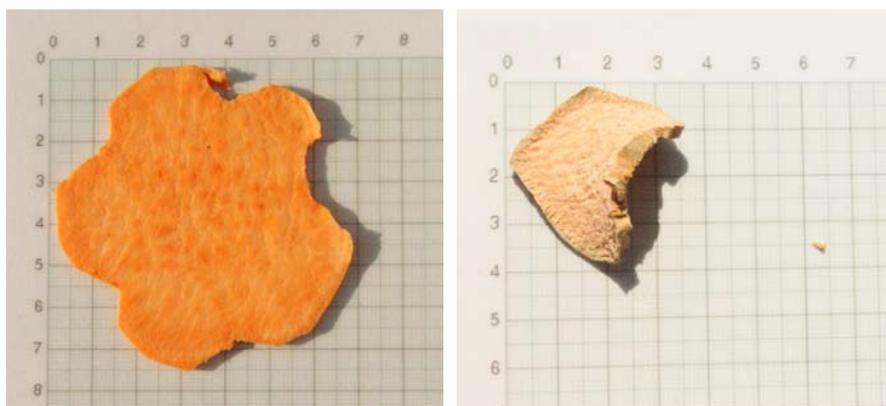


Figura 290. Disminución del tamaño del boniato al secarlo

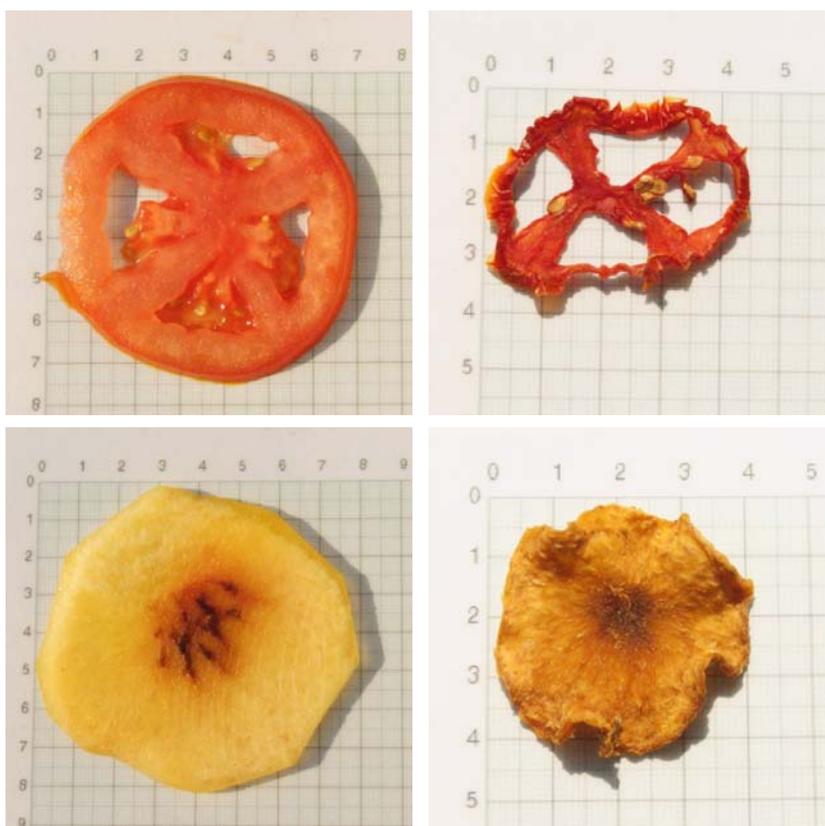


Figura 291. Disminución del tamaño de tomate y melocotón al secarlos

su tamaño final, pero su disminución es tan significativa que pensamos que resulta interesante obtener esta información e ilustrarla mediante fotografías, para que se pueda ver como actúa el secado sobre los alimentos. En la *figura 291* podemos ver dos ejemplos más de disminución del tamaño, sobre muestras de tomate y melocotón.

5.- Preparar un documento escrito y un vídeo sobre la práctica de deshidratación diseñada, de forma que esté disponible también para todos los que quieran aplicarla en sus estudios, sean del tipo que sean. En este mismo sentido tenemos la intención de preparar vídeos individuales del proceso de secado de distintos alimentos, de manera que quien no pueda realizar una práctica sí pueda al menos hacérselo ver a sus estudiantes, o que directamente pueda ser consultado a través de Internet por cualquier persona interesada en este tema.

7.- Continuar con el seguimiento del proceso de implantación del deshidratador en Burkina Faso. En septiembre enviamos un nuevo alumno a Arbolle, que debe comprobar el estado en que se encuentra el deshidratador que se

montó a finales de 2016 y el uso que se le ha dado. También tenemos dos alumnos adicionales que se van a desplazar hasta Senegal y Ghana. Aunque su trabajo va en otra dirección, vamos a dejar abierta la posibilidad de que expliquen el funcionamiento del deshidratador en escuelas y asociaciones, nos trasladen la impresión que reciben y estudiemos la posibilidad de dejar un equipo en funcionamiento, sobre el que hacer un seguimiento con los alumnos que enviemos al año siguiente.

A la vez estamos trabajando en el deshidratador de mayor tamaño que nos solicitó la APFG, del que esperamos poder tener un prototipo en 2018, sobre el que poder hacer mediciones para comprobar su funcionamiento y decidir fechas y condiciones para su montaje en Gaoua.

A estas líneas de trabajo habrá que añadir otras que puedan ir surgiendo en el futuro, además de continuar con el trabajo de diseño del horno solar, mencionado también en esta tesis y consecuencia de la puesta en marcha del deshidratador solar en Burkina Faso.

11. Conclusiones.

Con los datos expuestos en esta tesis podemos concluir que el trabajo realizado en el diseño de un deshidratador solar de alimentos de uso familiar y con destino a personas pobres y países en vías de desarrollo ha alcanzado un resultado satisfactorio.

Las mediciones realizadas en la UPV y las que se han hecho en Burkina Faso nos indican que el equipo funciona correctamente. Cumple con el requisito de secar los alimentos en un tiempo breve, pudiendo a partir de ese momento conservarse durante meses en buen estado para su consumo, sin utilizar ningún otro medio de conservación adicional.

Tal como era nuestro propósito, utiliza como fuente de energía el sol, recurso gratuito e inagotable a escala humana, que se encuentra disponible con buenos niveles de radiación en Burkina Faso. También tenemos alto nivel de radiación en otros países en los que se puede implantar el deshidratador, como Perú, Venezuela, Mozambique, Marruecos o Nepal, desde los que nos han pedido tanto personas particulares como asociaciones información sobre las condiciones de funcionamiento del deshidratador.

Su implantación en Burkina Faso está siguiendo un camino positivo, tanto en las mejoras que hemos ido introduciendo en el equipo como en su utilización por las personas a las que va destinado. Queda todavía trabajo por hacer, para conseguir dar continuidad al uso de los equipos, una vez pasada la primera etapa de interés que hemos comprobado que despierta entre los grupos de personas a las que se les explica su funcionamiento, sobre todo cuando comienzan a trabajar con el deshidratador.

Va a ser importante comprobar a finales de 2017 como se mantienen los equipos en Gaoua y Arbollé, de manera que podamos definir un protocolo de trabajo para intentar conseguir que las personas que muestran ese interés inicial por el deshidratador lo mantengan posteriormente, incluso cuando durante largos periodos de tiempo no lo van a estar utilizando.

En línea con el objetivo fijado, el coste del montaje y puesta en marcha del deshidratador es muy bajo, aunque puede no resultar asequible para las personas a las que va destinado, dado que son pobres y viven en países con pocos recursos. Sin embargo ONGs que trabajan en el ámbito de la mejora de la alimentación en países en vías de desarrollo pueden utilizar el equipo y suministrarlo a familias o asociaciones a un coste asequible, dado que está por debajo de los cien euros, asumibles para entidades europeas o de países desarrollados.

Desde ese punto de vista el manual que hemos ido elaborando y ampliando, a medida que hemos ido avanzando en el trabajo, ha cumplido con la misión de dar la información de cómo construir y utilizar el deshidratador. Debemos mejorarlo de forma significativa, para enviarlo a las entidades y personas que trabajan en el ámbito de la cooperación y para poder dejar la información en Internet, de manera que esté disponible para cualquier persona interesada en este tema.

La utilización del equipo para realizar una práctica de secado de alimentos en la UPV también ha producido resultados satisfactorios, aunque queremos mejorarla. Ha contribuido a que nuestros estudiantes tomen conciencia de las condiciones de vida de millones de personas en todo el planeta y ha despertado el interés por involucrarse en cooperación en algunos de ellos.

Por todo ello pensamos que, en general, los objetivos que nos habíamos marcado se han cumplido satisfactoriamente, y permiten que nos planteemos abordar nuevos objetivos en el futuro.

12. Referencias bibliográficas.

Abbas, K. A., Saleh, A. M., Mohamed, A., Lasekan, O. 2009. The relationship between water activity and fish spoilage during cold storage: A review. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, vol.7, pgs. 86-90. WFL Publisher. Helsinki. Finland.

Acosta, R., Montoya, J. A., Orozco, C. A. 2009. Modelado dinámico de un secador híbrido para *Guadua angustifolia* Kunth. *Scientia et Technica*, vol. 2, n°. 42, pgs. 345-350. ISSN 0122-1701. Pereira. Colombia.

Almada, M., Cáceres, M. S., Machaín-Singer, M., Pulfer, J. C. 2005. Guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes. UNESCO Paraguay. Fundación Celestina Pérez de Almada. Paraguay.

Andión, R., Suárez, J. A., Bergues, C. C. 2010. Diseño y construcción de un secador solar tipo gabinete para el secado de hollejos de naranja. Cuba. Consultado online. <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar36/HTML/Articulo03N.html>

Amunugoda, P. N. R. J., Senanayake, N. S., Kulathunga, K. D. G. 2017. Solar rack dryer with supplementary heat storage and evaluation of dried food quality. *International Journal of Scientific and Research Publications*, vol. 7 n° 7. pgs. 219-224. ISSN 2250-3153. India.

APFG, 2017. Association pour la Promotion Féminine de Gaoua. Información disponible en Internet <http://www.asso-apfg.org/>

Askari, G., Emam-Djomeh, Z., Tahmasbi, M. 2009. Effect of various drying methods on texture and color of tomato halves. *Journal of Texture Studies* 40, pgs. 371-389. John Wiley & Sons, Inc. USA.

Askari, G., Emam-Djomeh, Z. y Mousavi, S. 2009. An investigation of the effects of drying methods and conditions on drying characteristics and quality attributes of agricultural products during hot air and hot air microwave assisted dehydration. *Drying Technology* 27, pgs. 831-841. Taylor & Francis Group. USA.

Bala, B. K., Janaji, S. 2009. Solar drying of fruits, vegetables, spices, medicinal plants and fish: Developments and Potentials. *International Solar Food Processing Conference*.

Bala, B. K. 1997. *Drying and storage of cereal grains*. Oxford & IBH Pub. Co. Pvt. Ltd. India y Science Publishers Inc. ISBN: 978-1-119-12423-8. New Hampshire. USA.

Bano, T., Goyal, N., Kumar Tayal, P. 2015. Innovative solar dryers for fruits, vegetables, herbs and ayurvedic medicines dry. *International Journal of Engineering Research and General Science*, vol. 3, n° 5, pgs. 883-888. ISSN 2091-2730. Katmandu. Nepal.

Beaudry, C., Raghavan, G. S. V., Ratti, C., Rennie, T. J. 2004. Effect of four drying methods on the quality of osmotically dehydrated cranberries. *Drying Technology* n° 22, pgs. 521-539. Taylor & Francis Group. USA.

Belessiotis, V., Delyannis, E. 2011. Solar drying. *Solar Energy*, n° 85, pgs 1665-1691. Elseiver. Amsterdam. Países Bajos.

Bergues, C., Berriz, L., Griñan, P. 2010. Generalización de secadores solares directos en Cuba. Análisis numérico de sus tendencias actuales. *Desarrollo Local Sostenible (DELOS)*. Eumed, 2010 vol.3, n° 8, pgs. 30-40. ISSN: 1988-5245. Malaga. España.

Burden, J., Wills, R. B. H. 1993. *Prevención de pérdida de alimentos poscosecha*. Frutas, hortalizas, raíces y tubérculos. ISBN 92-5-302766-5. FAO. Roma, Italia.

Canelo, sin fecha de publicación. Consultado en Internet por última vez en mayo de 2017. <http://www.elcanelo.cl/deshidratadores.html> Chile

CEAS Burkina. 2015. Association Centre Ecologique Albert Schweitzer du Burkina Faso. <http://www.ceas-burkina.org/>

Ceballos-Ortiz, E. M., Jiménez-Mungía, M. T. 2012. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, vol. 6, n° 1, pgs. 98-110. México.

Conafor, 2008. *Deshidratador solar de alimentos*. Comisión Nacional Forestal Zapopan. Jalisco. México. www.conafor.gob.mx y <https://youtu.be/1cZPdauq-Q>

De Michellis, A., Ohaco, E. 2008. *Deshidratación y secado de frutas, hortalizas y hongos*. ISSN 1667-4014. Inta ediciones. Argentina.

Díaz, G. E., Condorí, M. A., Altobelli, F. N., Durán, G. J. 2010. Estudio de un sistema de acumulación de calor con cambio de fase para secado solar. IV

Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII- SPES), Cusco. Perú.

Dinga, S. H., Ana, K. J., Zhaoa, C. P., Li, Y., Guoa, Y. H., Wanga, Z. F.. 2012. Effect of drying methods on volatiles of Chinese ginger. *Food and Bio-products Processing*, n° 90, pgs. 515-524. Elseiver. Amsterdam. Países Bajos.

Dudez, P., Thémelin, A., Reynes, M. 2000. Le séchage solaire à petite échelle des fruits et légumes, *Expériences et procédés*, pgs. 110-126. Editions du GRET, Ministère de la Coopération. París. Francia.

Duran, G. J., Condorí, M. A., Echazú, R., Diaz, G. 2010. Secador solar híbrido para la producción continua a escala industrial de pimiento para pimentón. IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII- SPES). Cusco. Perú.

Ehiem, J. C., Irtwange, S. V., Obetta, S. E. 2009. Design and Development of An Industrial Fruit and Vegetable Dryer. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, n° 1, pgs 44-53. Maxwell Scientific Organization. ISSN: 2040-7467.

El-Sebaili, A. A., Shalaby, S. M. 2013. Experimental investigation of an indirect-mode forced convection solar dryer for drying thymus and mint. *Energy Conversion and Management*, n° 74, pgs. 109-116. Science Direct. Elseiver. Amsterdam. Países Bajos.

FAO. Sin fecha de publicación. Fruit and vegetable processing. Consultado en Internet por última vez en mayo de 2017. ISBN: 92-5-103657-8 <http://www.fao.org/3/a-v5030e/V5030E0c.htm>

Fito, P., Andrés-Grau A., Barat, J., Albors, A. 2001. *Introducción al Secado de Alimentos por Aire Caliente*. Universidad Politécnica de Valencia. ISBN 84-9705-025-8. Valencia. España.

Folk-Aard, G. K., Sutherland, J. P. 1994. Moringa oleifera a multipurpose tree. *Agroforestry Today*, vol. 8, n° 3, pgs. 5-8. Nairobi. Kenia.

Fudholi, A., Sopian, K. B., Ruslan, M. H., Alghoul, M. A., Sulaiman, M. Y. 2010. Review of solar dryers for agricultural and marine products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n° 14 (1), pgs.1-30. ISSN 1364-0321. Elseiver. Amsterdam. Países Bajos.

Fudholi, A., Sopian, K., Bakhtyar, B., Gabbasa, M., Othman, M. Y., Ruslan, M. H., 2015. Review of solar drying systems with air based solar collectors in

Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, nº 51, pgs.1191-1204. Elsevier. Amsterdam. Países Bajos.

Fuselli, S. R., Filsinger, B., Fritz, R., Yeannes, M. I. 2004. Estudio microbiológico de ajo (*Allium sativum* L.) y cebolla (*Allium cepa* L.) deshidratados. *Revista argentina de microbiología*, vol. 36, nº 3. Versión On line ISSN 1851-7617. Buenos Aires. Argentina.

Gascón, A., Muravnick, N., Andreuccetti, C. 2013. Desección y deshidratación de vegetales. Universidad Nacional de Cuyo. Argentina.

George, S. D., Cenkowski, S., Muir, W. E. 2004. A review of drying technologies for the preservation of nutritional compounds in waxy skinned fruit. North Central ASAE/CSAE Conf. Winnipeg, Manitoba, Canada, 24-25 September, MB 04.104.

Gopalakrishnan, L., Doriya, K., Kumar, D. S. 2016. *Moringa oleifera*: A review on nutritive importance and its medicinal application. *Food Science and Human Wellness*, nº 5, pgs. 49-56. Elsevier. Amsterdam. Países Bajos.

Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., Chatzitakis, P. C., Nikas, V. A. 2005. Prediction of lycopene degradation during a drying process of tomato pulp. *Journal of Food Engineering*, nº 74, pgs. 37-46. Elsevier. Amsterdam. Países Bajos.

Hernández, J., Quinto, P., Flores, F. Acosta, R., Aguilar, J. 2010. Cinética del secado de productos agrícolas. Congreso Nacional de Ingeniería Electromecánica y de Sistemas. México.

Hernández, L. M. 2007. Energía, energía fotovoltaica y celdas solares de alta eficiencia. *Revista Unam - Revista Digital Universitaria*, vol. 8, nº 12. ISSN: 1607-6079. México. <http://www.revista.unam.mx/vol.8/num12/art89/int89.htm>

Imre, L. L. 1987. *Handbook of Industrial Drying, Solar Drying*, pgs. 357-417. Marcel Drekker Inc. Nueva York. USA.

Janjai, S., Bala, B. K. 2012. *Solar Drying Technology*. *Food Eng Rev*, vol. 4, pgs. 16-54. Springer Science+Business Media. Nueva York. USA.

Jahan, S. 2016. Informe sobre el desarrollo humano. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Nueva York. USA.

Kumar, M., Sansaniwal, S. K., Khatak, P. 2016. Progress in solar dryers for drying various commodities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, nº 55, pgs. 346-360. Elsevier. Amsterdam. Países Bajos.

López, D. M. 2015. Datos tomados en la UPV y fotografías procedentes de la estancia en Burkina Faso del alumno David Manuel López Fernández, con una Beca Meridies de la UPV coordinada por el profesor Daniel José Vidal Brotons y con la colaboración de Juan Ángel Saiz Jiménez en la implantación del deshidratador.

Lozano, I. 2013. Fotografías procedentes de la estancia en Burkina Faso del alumno Iván Lozano Marco, con una Beca Meridies de la UPV coordinada por el profesor Daniel José Vidal Brotons y con la colaboración de Juan Ángel Saiz Jiménez en la implantación del deshidratador.

Maltini, E., Torreggiani, D., Venir, E, Bertolo, G. 2003. Water Activity and the Preservation of Plant Foods. *Food Chemistry*, nº 82, pgs. 79-6. Elsevier. Amsterdam. Países Bajos.

Marchand, S. 2012. The relationship between technical efficiency in agriculture and deforestation in the Brazilian Amazon. *Ecological Economics* 77, pgs. 166-175. Elsevier. Amsterdam. Países Bajos.

Marín, E., Lemus, R., Flores, V., Vega, A. 2006. La rehidratación de alimentos deshidratados. *Revista chilena de nutrición*, vol. 33, nº 3. Santiago, Chile. http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-75182006000500009.

Márquez, M. N. 2016. Fotografías procedentes de la estancia en Burkina Faso de la alumna María Noel Márquez Rivero, con una Beca Meridies de la UPV coordinada por el profesor Juan Ángel Saiz Jiménez.

Mayor, L., Sereno, A. M. 2004. Modelling shrinkage during convective drying of food materials. *Journal of Food Engineering*, nº 61, pgs. 373-386. Elsevier. Amsterdam. Países Bajos.

Moragues, B. 2016. Rediseño de un deshidratador de alimentos DIY de bajo coste para países en vías de desarrollo. Trabajo final de grado del alumno Borja Moragues Martínez, dirigido por los profesores Begoña Saiz Mauleón y Juan Ángel Saiz Jiménez. ETSID. UPV. Valencia. España.

Motaveli, A., Minaei, S., Khoshtagaza, M. H. 2011. Evaluation of energy consumption in different drying methods. *Energy conversion and management*, vol. 52, pgs. 1192-1199. Elsevier. Amsterdam. Países Bajos.

Mujumdar, A. S. 2015. Handbook of Industrial Drying. Pgs. 12-13. Taylor & Francis Group. USA.

Muratore, G., Rizzo, V., Licciardello, F., Maccarone, E. 2008. Partial dehydration of cherry tomato at different temperature, and nutritional quality of the products. Food Chemistry, n° 111 (4), pgs. 887-891. Elsevier. Amsterdam. Países Bajos.

Mustayen, A., Mekhilef, S., Saidur, R. 2014. Performance study of different solar dryers: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 34, pgs. 463-470. Elsevier. Amsterdam. Países Bajos.

Navale, S. R., Supriya, U., Harpale, V. M., Mohite, K. C. 2014. Effect of Solar Drying on the Nutritive Value of Fenugreek Leaves. International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT), vol. 4, n° 2. ISSN: 2249 - 8958. Blue Eyes Intelligence Engineering & Sciences Publication Pvt. Ltd. Bhopal. India.

Navarro, C. 2012. Construir un deshidratador solar. Consultado en Internet en marzo de 2017 en <http://www.elcorreodelsol.com/articulo/construir-un-deshidratador-solar>

Nindo, C. I., Sun, T., Wang, S. W., Tang, J., Powers, J. R. 2003. Evaluation of drying technologies for retention of physical quality and antioxidants in asparagus. LWT - Food Science and Technology, vol. 36, n° 5, pgs. 507-516. Elsevier. Amsterdam. Países Bajos.

Ochoa-Reyes, E., De Jesús Ornelas-Paz, J., Ruiz-Cruz, S., Ibarra-Junquera, V., Pérez-Martínez, J. D., Guevara-Arauza, J. C., Aguilar, C. N. 2013. Tecnologías de deshidratación para la preservación del tomate. Biotecnia / XV (2): pgs. 39-46. México.

Ojike, O., Nwoke, O. O., Okonkwo, W. I. 2011. The influence of different solar drying systems on the vitamin content of Pawpaw. Australian journal of agricultural engineering. Australian journal of agricultural engineering, vol. 2, pgs. 8-11. Australia.

Olney, D. K., Bliznashka, L., Pedehombga, A., Dillon, A., Ruel, M. T., Heckert, J. 2016. A 2-Year Integrated Agriculture and Nutrition Program Targeted to Mothers of Young Children in Burkina Faso Reduces Underweight among Mothers and Increases Their Empowerment: A Cluster-Randomized. The Journal of Nutrition, vol. 146, n° 5, pgs. 1109-1117. ISSN: 0022-3166. Rockville. USA.

Otte, P. P. 2014. A (new) cultural turn toward solar cooking - Evidence from six case studies across India and Burkina Faso. *Energy Research & Social Science* 2, pgs. 49-58. Elsevier. Amsterdam. Países Bajos.

Oyuke, A., Penar, P. H., Howard, B. 2016. Off-grid or 'off-on': Lack of access, unreliable electricity supply still plague majority of Africans. *Afrobarometer Dispatch*, n° 75. <http://www.afrobarometer.org/>

Pérez-Reyes, M. E., Sos-Morales, M. E. 2013. Mecanismos de transferencia de calor que ocurren en tratamientos térmicos de alimentos. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos* 7 - 1, pgs. 37-47. Puebla. México.

PVGIS, 2017. Photovoltaic Geographical Information System. European Commission, Joint Research Centre Institute for Environment and Sustainability Renewable Energies Unit. Italia. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>

Ragai. A., Rigit, H., Jakhrani, A. Q., Kamboh, S. A., Low, P., Kie, T. 2013. Development of an Indirect Solar Dryer with Biomass Backup Burner for Drying Pepper Berries. *World Applied Sciences Journal*, vol. 22, n° 9, pgs. 1241-1251. ISSN 1818-4952. IDOSI Publications. Deira. Dubai.

Rajkumar, P., Kulanthaisami, S., Raghavan, G. S. V., Gariépy, R. Y., Orsat, V. 2007. Drying Kinetics of Tomato Slices in Vacuum Assisted Solar and Open Sun Drying Methods. *Drying Technology*, vol. 25 n° 7-8, pgs. 1394-1357. Taylor & Francis Online. USA.

Ramteke, R. T., Gangde, S. N., Kalbande, S. R., 2016. Potential and development of solar drying technology: A Review. *IJMTER International Journal of Modern Trends in Engineering an Research*, Vol. 03, Issue 06. ISSN (Online):2349-9745 and ISSN (Print):2393-8161. Bhavnagar. India.

Ríos, E., Giraldo, G. Duque, A. L. 2007. Predicción de la Actividad de Agua en Frutas Tropicales. *Revista de Investigaciones*, n° 17 - Universidad del Quindío, pgs. 27-32. ISSN 1794-631 X. Armenia. Colombia.

Roca, L., Miralles, J. 2002. Cocinas solares. *Perspectiva ambiental* n° 25. Fundación Terra. Barcelona. España. <http://www.fundaciontierra.es/>

Rodríguez, M. M. 2014. Obtención de Frutos Deshidratados de Calidad Diferenciada Mediante la Aplicación de Técnicas Combinadas. Tesis doctoral de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata. Argentina.

Sagar, V. R., Suresh Kumar, P. 2010. Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review. *Food Science Technology*, nº 47, pgs. 15-26. Springer Science + Business Media. Nueva York. USA.

Savy, M., Martin-Prével, Y., Traissac, P., Eymard-Duvernay, S. Delpuech, F. 2006. Dietary Diversity Scores and Nutritional Status of Women Change during the Seasonal Food Shortage in Rural Burkina Faso. *The Journal of Nutrition*, vol. 136, nº 10, pgs. 2625-2632. ISSN: 0022-3166. Rockville. USA.

Scott, W. J. 1956. Water relations of food spoilage microorganisms. *Advances in Food Research*, vol. 7, pgs 83-127. Elsevier. Amsterdam. Países Bajos.

Sharma, P. D. 2015. Solar tunnel drier - A futuristic approach for drying. *Newsnewa*, consultado en Internet en febrero de 2017 http://newsnews.perfectinter.net/articles.php?posted_id=972

Shrivastava, V., Kumar, A., Baredar, P. 2014. Developments in Indirect Solar Dryer: A Review. *International Journal of Wind and Renewable Energy*, vol. 3, nº 4, pgs. 67-74. ISSN: 2277-3975. Ankara. Turquía.

Sitiosolar 2013. Los deshidratadores solares. Consultado en abril de 2017. <http://www.sitiosolar.com/los-deshidratadores-solares/>

Terra.org, Conservar frutas y verduras con energía solar. Consultado en enero de 2017. <http://www.terra.org/categorias/articulos/conservar-frutas-y-verduras-con-energia-solar>

Torres-Gallo, R., Miranda-Lugo, P. J., Martínez-Padilla, K. A. 2017. Diseño y construcción de un sistema híbrido de calentamiento de aire por combustión de biomasa y radiación solar, utilizando PCM como fuente de almacenamiento térmico, para secado de yuca. *TecnoLógicas*, vol. 20, no. 39. Colombia.

Valero, J. 2016. Mejora del estado nutricional de la población infantil de Burkina Faso mediante huertos escolares y secadores solares. Trabajo final de grado dirigido por María Luisa Gras Romero y Daniel José Vidal Brotons en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural de la UPV. Valencia. España. Beca Meridies del alumno Javier Valero Relloso coordinada por el profesor Daniel José Vidal Brotons y con la colaboración de Juan Ángel Saiz Jiménez en la implantación del deshidratador.

Velasco, L. 2011. El movimiento del aire condicionante del diseño arquitectónico. Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Fomento de España. NIPO 161-14-135-X. Madrid. España.

VijayaVenkataRamana, S., Iniyanb, S., Goicc, R. 2012. A review of solar drying technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, nº 16, pgs. 2652-2670. Elsevier. Amsterdam. Países Bajos.

Weiss, W., Buchinger, J. 2012. Solar Drying. *Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie - Institute for Sustainable Technologies*, pgs. 13-40. Gleisdorf. Austria.

Wentzel, M., Pouris, A. 2007. The development impact of solar cookers: a review of solarcooking impact research in South Africa. *Energy Policy*, vol. 35, nº 3, pgs 1909-1919. Elsevier. Amsterdam. Países Bajos.

Wikispaces, sin fecha. <http://procesosbio.wikispaces.com/Secado>, Consultado en enero de 2017.