



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**

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 20 de junio 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 busca 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 secan 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 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 como 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, per la qual cosa aquesta deshidratació s'ha de fer utilitzant l'energia solar. A més, la situació alimentària és precària, sobretot en xiquets de poca edat, per la qual cosa 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. Se cerca 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 a calfar l'aire amb el qual s'assequen els aliments. A més se 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 engegat per a 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.

Índice.

Certificado	I
Resumen	II
Resum	III
Abstract	IV
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	51
4.1. Primer modelo	51
4.2. Inconvenientes del primer diseño y continuación del proyecto	57
4.3. Deshidratador diseñado	59
4.4. Dimensiones y disposiciones constructivas.....	61
4.5. Bandejas	66

4.6. Estructura del equipo	67
4.7. Modificación de la inclinación del equipo	69
4.8. Plásticos utilizados y unión al resto del equipo	70
4.9. Despiece del deshidratador	71
5. Puesta en marcha de equipo y mediciones	78
5.1. Primeras medidas	78
5.2. Metodología de trabajo	83
5.3. Datos de pérdida de peso de los alimentos	86
5.4. Deshidratación de pepino	95
5.5. Deshidratación de kiwi	97
5.6. Deshidratación de tomate	99
5.7. Deshidratación de ciruela	101
5.8. Evolución del aspecto de los alimentos durante el secado	103
6. Implantación del deshidratador en Burkina Faso	111
6.1. Primera fase en 2013	111
6.2. Cuestiones planteadas desde Burkina Faso	114
6.3. Primeros alimentos deshidratados con nuestro equipo en Burkina Faso	117
6.4. Problemas planteados en el deshidratador en Burkina Faso	124
6.5. Segunda fase en 2015	126
6.6. Tercera fase en 2016	133
7. Manual de construcción del deshidratador	139
8. Aplicación del deshidratador a la docencia	158
9. Conclusiones	166
11. Referencias bibliográficas	167

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.

El acceso a la electricidad en muchas zonas del planeta y particularmente en países en vías de desarrollo está a menudo restringido para grandes cantidades de personas y, especialmente, para los 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 este 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.

Debido a ello se plantea este trabajo de investigación para diseñar y desarrollar un equipo de deshidratación que permita mejorar el 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 un poder adquisitivo bajo.

El punto de partida del trabajo se sitúa en la petición directa de un grupo de profesores y técnicos de la Universidad Politécnica de Valencia (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 suele producirse a partir de energía eléctrica y lo impulsan hasta una zona en la que están depositados los alimentos, normalmente en bandejas.

La electricidad se puede obtener del sol con las placas fotovoltaicas y almacenarla en baterías o aplicarla directamente. 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 en lo referente a electricidad 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 habían 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 tramites de aduanas, puesto que la gestión en el país de destino en África dista mucho de los tramites 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 también al lugar en que se van a apli-

car, normalmente 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 utilizase 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:

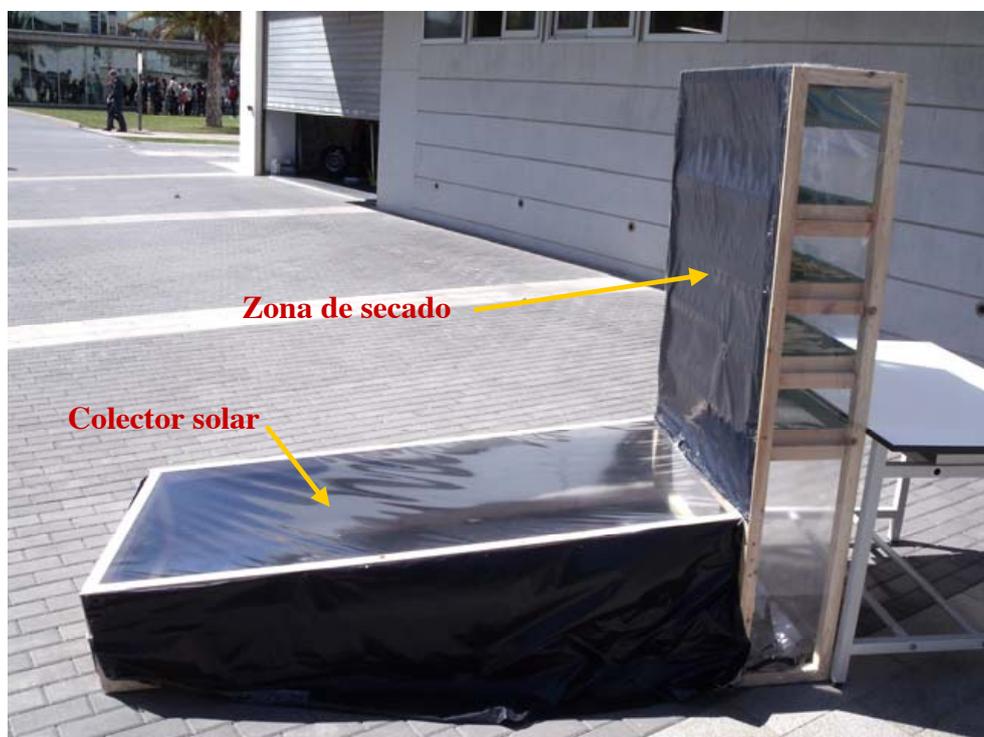


Figura 1. Primer equipo montado del deshidratador de alimentos

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 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.

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, para que los alimentos puedan 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.



Figura 2. Bandeja sobre la que se depositan los alimentos.



Figura 3. Vista posterior del equipo diseñado.

Se puede observar en la fotografía de las *figuras 1 y 3* como 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, que se depositan ya cortados 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 los laterales y la zona trasera.

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. Este es el objetivo inicial buscado en este trabajo de investigación, la conservación de los alimentos en condiciones óptimas mediante un proceso de secado con energía solar.

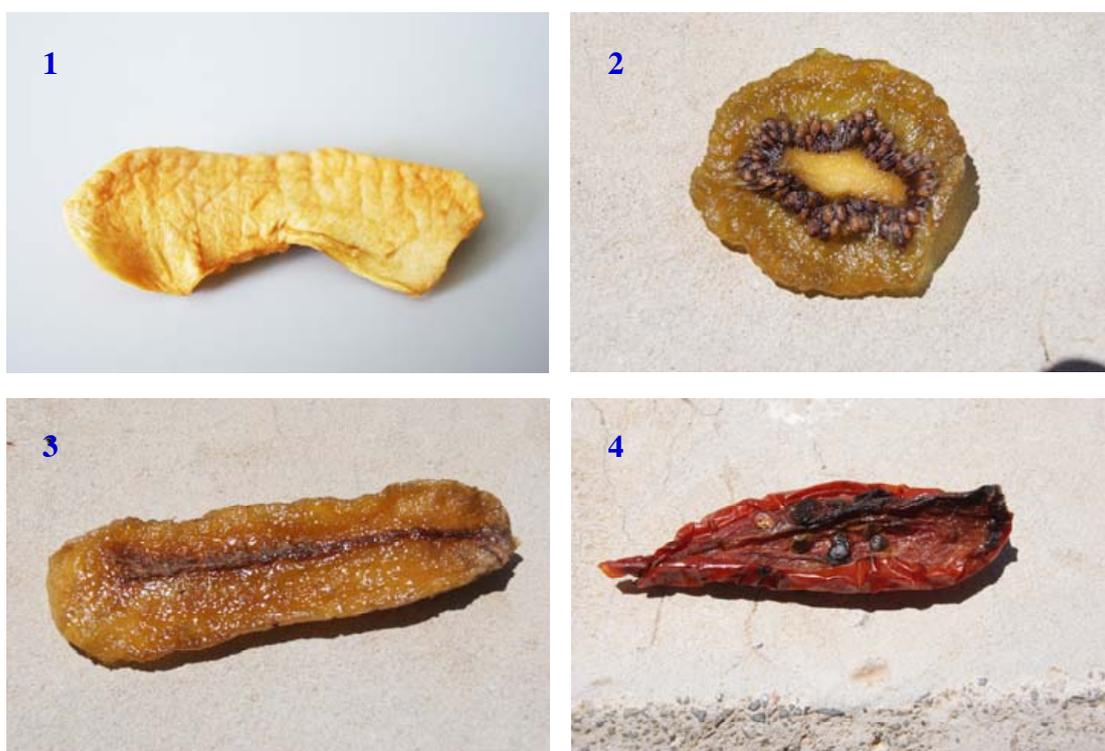


Figura 4. Manzana (1), kiwi (2), plátano (3) y tomate (4) deshidratados con el equipo diseñado.

2. Objetivos.

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

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 utilizado 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 las personas es bajo.
- Preparar los planos del equipo y un manual básico, que pueda ser enviado 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.

Objetivos

- Realizar un prototipo en la Universidad Politécnica de Valencia (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 como 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.

- Introducir el deshidratador en Burkina Faso, haciendo un seguimiento de su implantación y de cómo se produce el proceso, para observar el grado de aceptación del mismo, así como los problemas que puedan surgir, para establecer las posibles soluciones.

- Diseñar e implementar 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 bajos. 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 bajo, 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). Las frutas y verduras, productos agroalimentarios a los que inicialmente va destinado el equipo a diseñar, son sólidos, por lo que la deshidratación consiste en transferir el agua que contienen hacia el 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 (Maltini, E., 2003). La función de cualquier proceso de deshidratación consiste en dejar

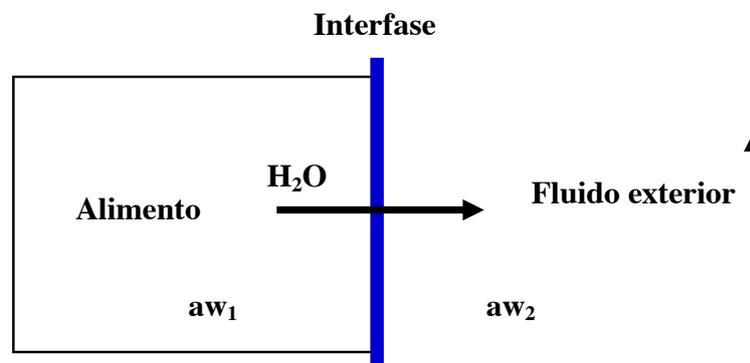


Figura 5. Transferencia del agua entre el alimento y el fluido exterior

en el valor más bajo posible la actividad del agua, de manera que los microorganismos no puedan desarrollarse y el alimento se mantenga estable. Aunque existen diferentes métodos para conseguir la deshidratación, 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 extraemos el gas 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 arrastrada 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. 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 la ventajas de la deshidratación y particularmente la que se realiza mediante energía solar:

- Conserva los alimentos durante largos periodos de tiempo, sin necesidad de 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* pueden ver dos bolsas con tomate y jengibre deshidratados, 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. 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.

Como hemos comentado, la deshidratación o secado 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 la del sol (VijayaVenkataRamana, S. 2012). 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 (Ceballos-Ortiz, E.M., 2012. Askari, G. 2009) y quedan expuestos, tal como se



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



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

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 los 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*. 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 y con el proceso de secado por exposición directa al sol, no se puede garantizar la calidad del producto final deshidratado, que queda por debajo de los estándares internacionales y que puede quedar contaminado por la acción de los animales 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 solo son posibles si el agricultor o las personas que realizan la deshidratación entienden que los costes asociados son bajos 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 solo será posible si el coste es bajo y 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 buena parte de los inconvenientes. 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 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

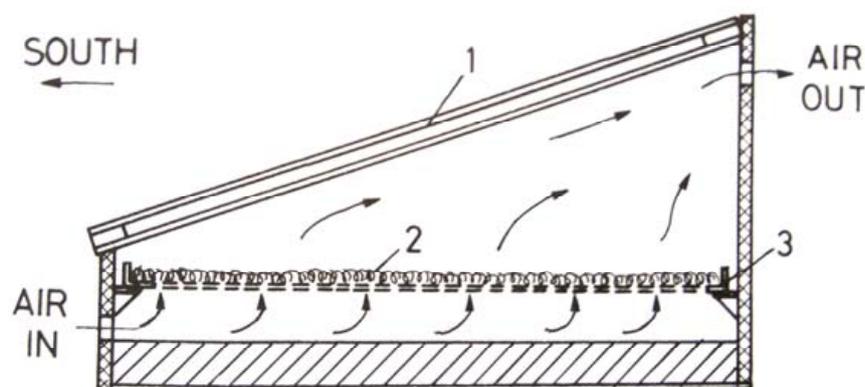


Figura 10. Deshidratador básico de gabinete (Imre, L. L. 1987)

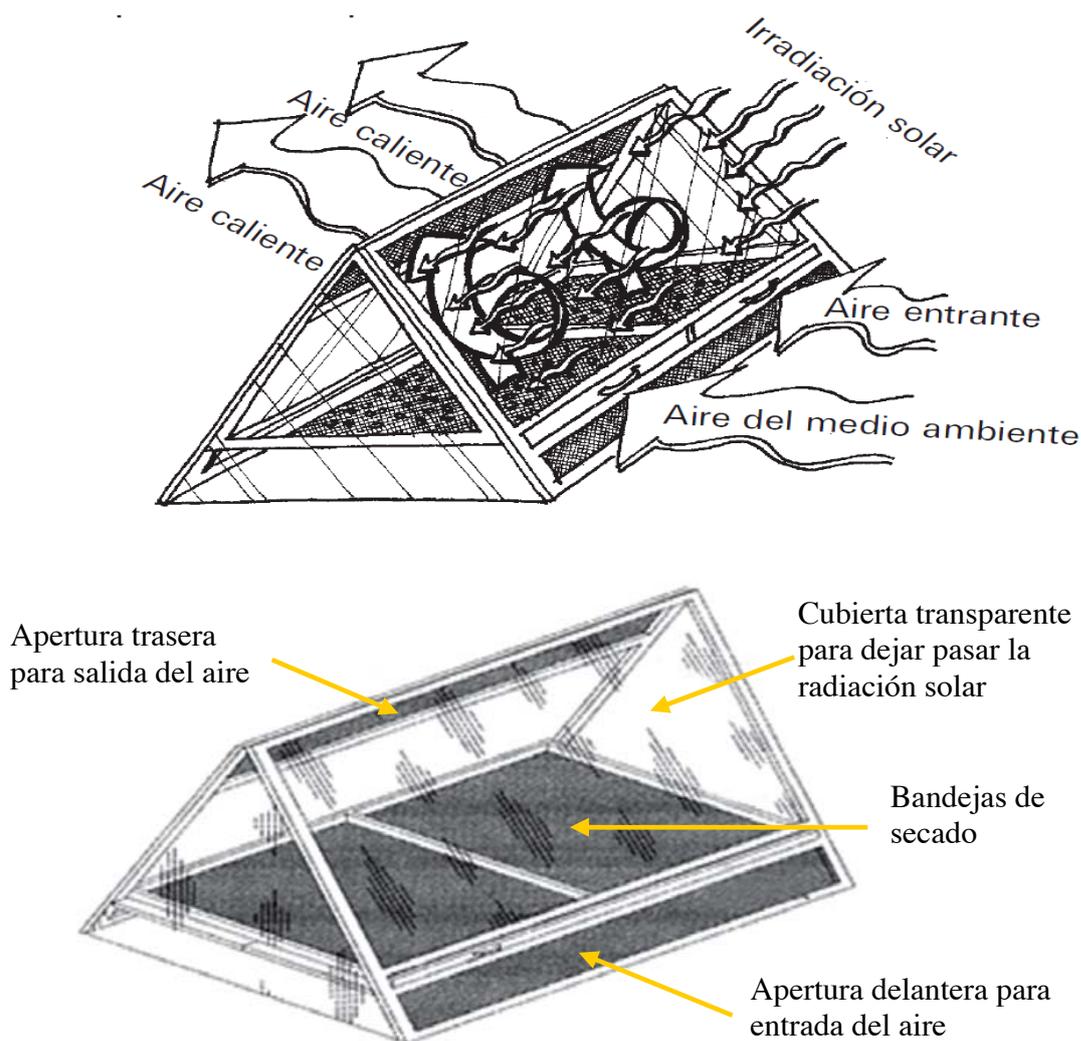


Figura 11. Deshidratador de gabinete de sección triangular (Almada, M. 2005)

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 y realiza un trayecto en el interior del equipo que va desde la entrada frontal hasta la salida posterior, pasando por la bandeja en la 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 es por convección natural, como explicábamos antes, y debe atravesar tanto la bandeja como los alimentos que se están tratando, dado que es el contacto directo del aire con los alimentos lo que permite extraer su contenido de agua. 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. Debido a ello 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 como 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 el orificio de entrada del aire y, en la parte trasera, el de salida, cubiertos por una malla fina para evitar la entrada de animales e insectos.



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



Figura 13. Otra 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”, además es 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, dado que mejoran de forma importante la captación de la radiación solar y, por tanto, disminuyen el tiempo necesario para el secado.

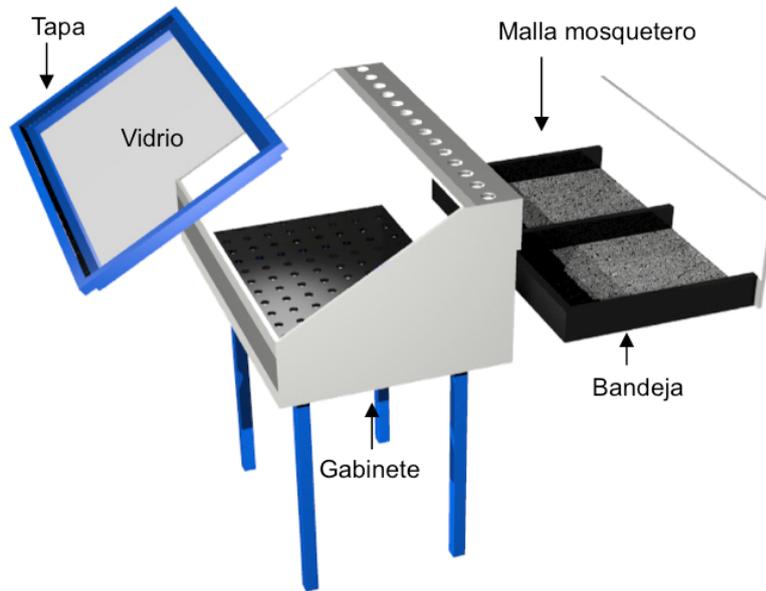


Figura 14. Despiece del deshidratador (Canelo)

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

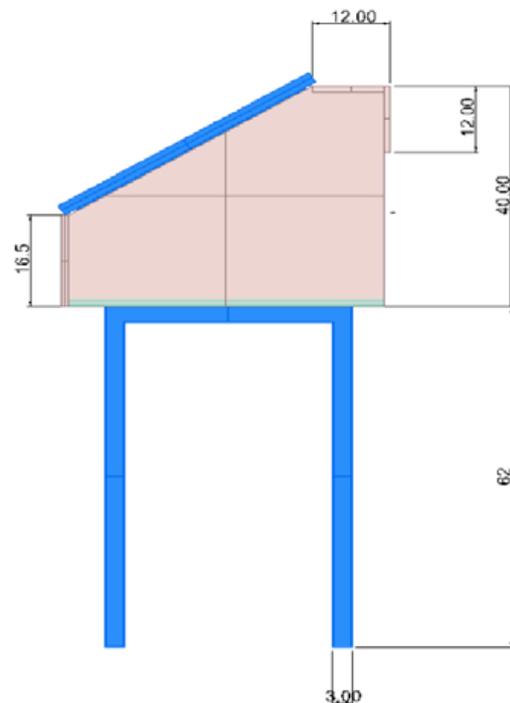


Figura 15. Dimensiones del deshidratador (Canelo)

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 incida 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.

La FAO, en su documento *Fruit and vegetable processing*, muestra 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 infrautilizándose, puesto que no se podría cargar completo. Sin embargo, si se tienen varios equipos de pequeño tamaño, se cargan sólo los que sean necesarios para la cantidad de producto a tratar.

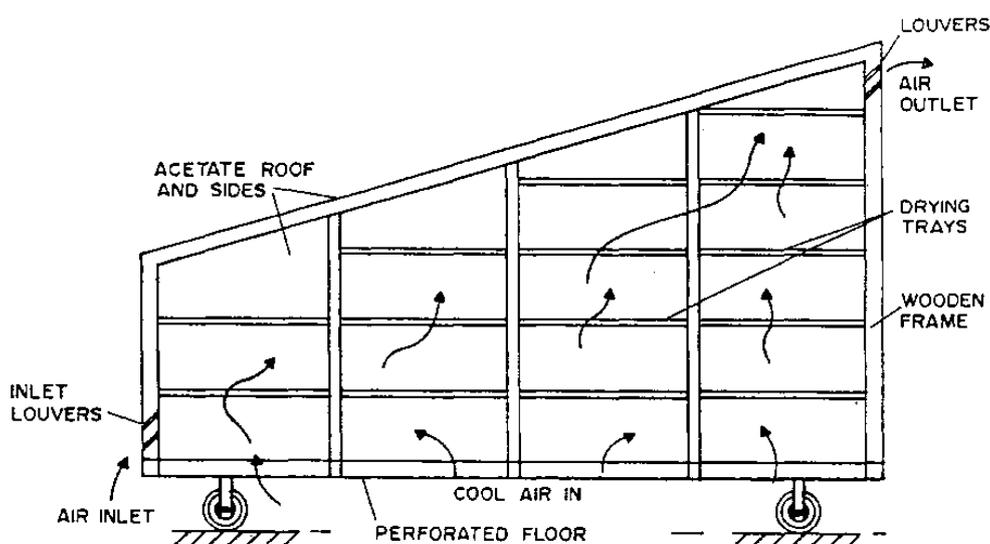


Figura 16. Deshidratador de gabinete de mayor capacidad (FAO)

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 con poco poder adquisitivo, 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 esta 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 disponible, 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 por 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.

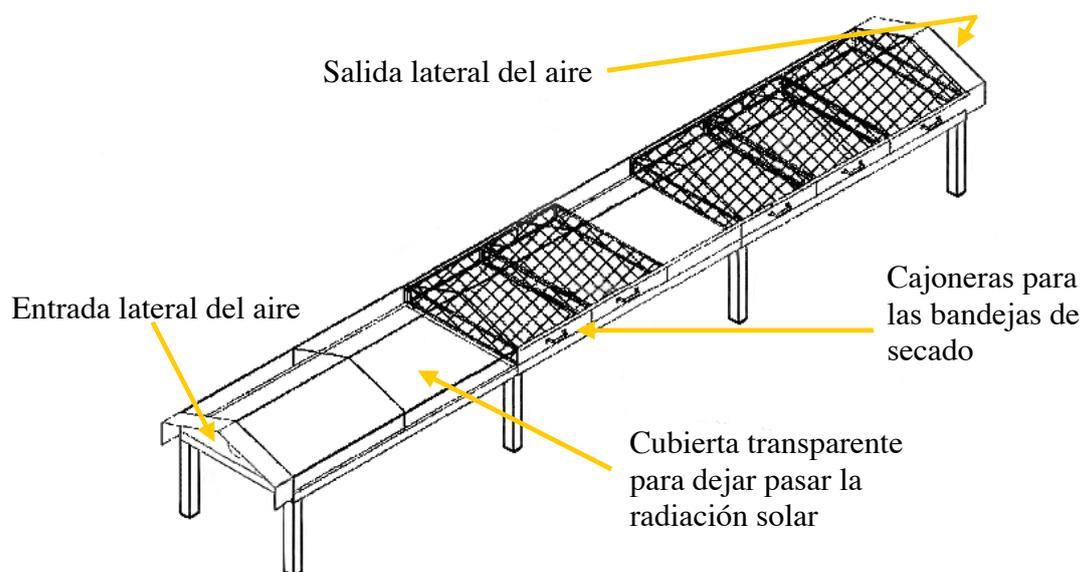


Figura 17. Deshidratador túnel (Almada, M. 2005)

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. 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 electricidad en el lugar en el que se aplica. De no tenerlo se puede disponer 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 túnel comerciales (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 coloca 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 translucido, 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 Zimbabwe (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 Zimbabwe, 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 gran 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. Al ser sus paredes metálicas, el sol no incide directamente sobre los alimentos.

Este es un factor importante, puesto que los secadores de gabinete presentan el inconveniente de dejar que el sol alcance directamente a los alimentos. Esto 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.

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 (Goula, A. M., 2005). 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 elevar su temperatura 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 propio colector ayuda al despla-

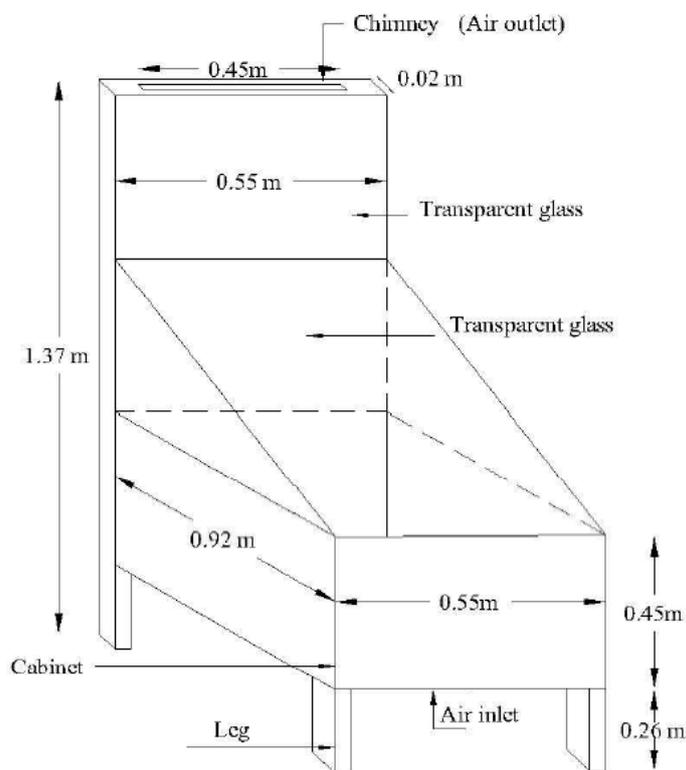


Figura 21. Deshidratador solar indirecto (Navale, S. R. 2014)

miento del aire caliente, que inicia su ascensión por la zona de secado, poniéndose en contacto con los alimentos y deshidratándolos, dado que 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 era 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 mediante el deshidratador. El contenido en carbohidra-

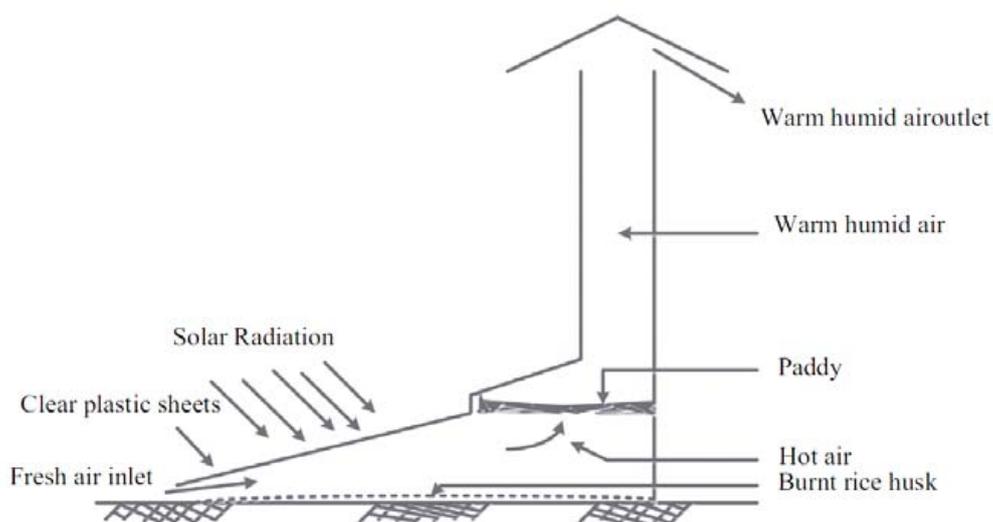


Figura 22. Representación esquemática del deshidratador indirecto (Mustayen, A. 2014)

tos, 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 como 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 como la superficie inferior de la zona de captación debe ser de color negro para conseguir una mayor eficiencia del equipo. La aceleración del proceso de seca-

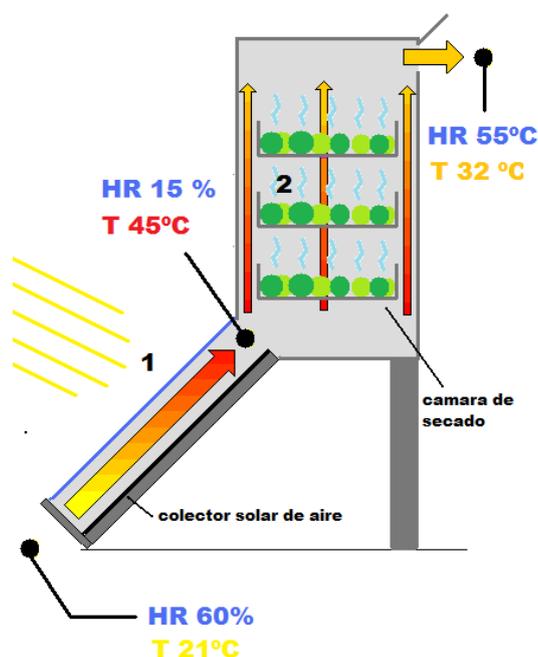


Figura 23. Deshidratador indirecto y rangos de valores de temperatura y humedad (Sitiosolar 2013)

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 redundaría 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 temperatura de 21 °C. En el colector disminuye la humedad hasta el 15 % mientras que la temperatura se eleva hasta los 45 °C. El aire caliente y seco tiene mayor capacidad para extraer la humedad de los productos con los que interacciona. Cuando el aire 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 pierde 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. Modelo de deshidratador indirecto desarrollado en México (Conafor, 2008)

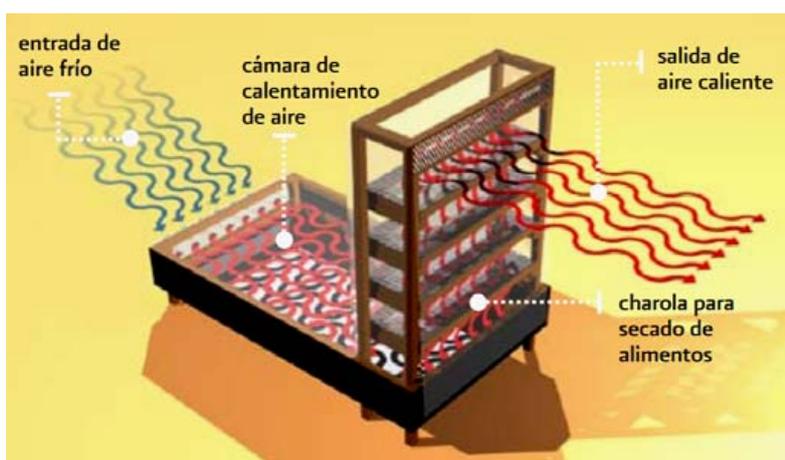


Figura 27. Deshidratador indirecto Conafor, en el que se observa que la radiación solar incide directamente sobre las bandejas en las que se depositan los alimentos

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 tienen 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 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 sólo 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

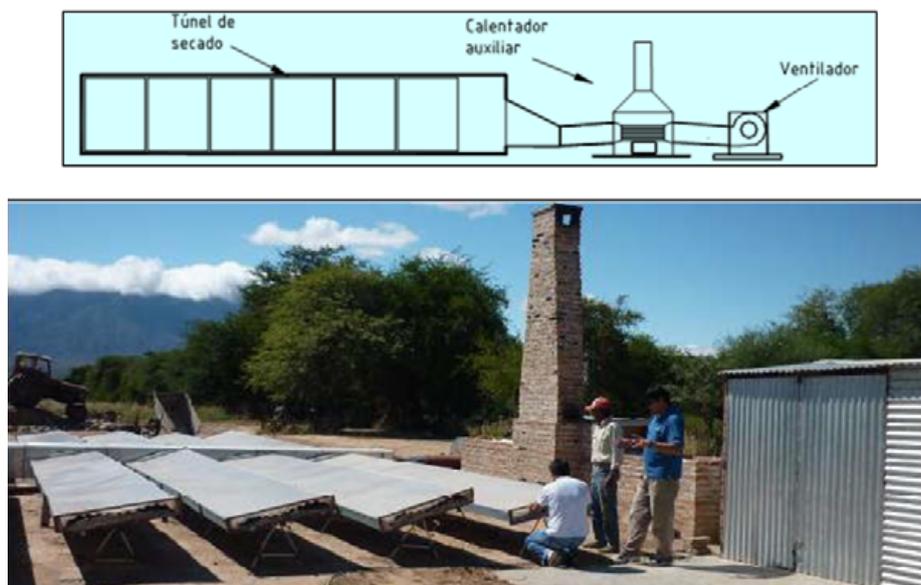


Figura 28. Esquema de un deshidratador híbrido industrial y vista de sus colectores solares (Durán, G. J. 2010)

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. 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. 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 (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 pedidos 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.

Conseguieron 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 energía mediante electricidad 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 electricidad, que no suelen encontrarse disponibles entre 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 electrici-

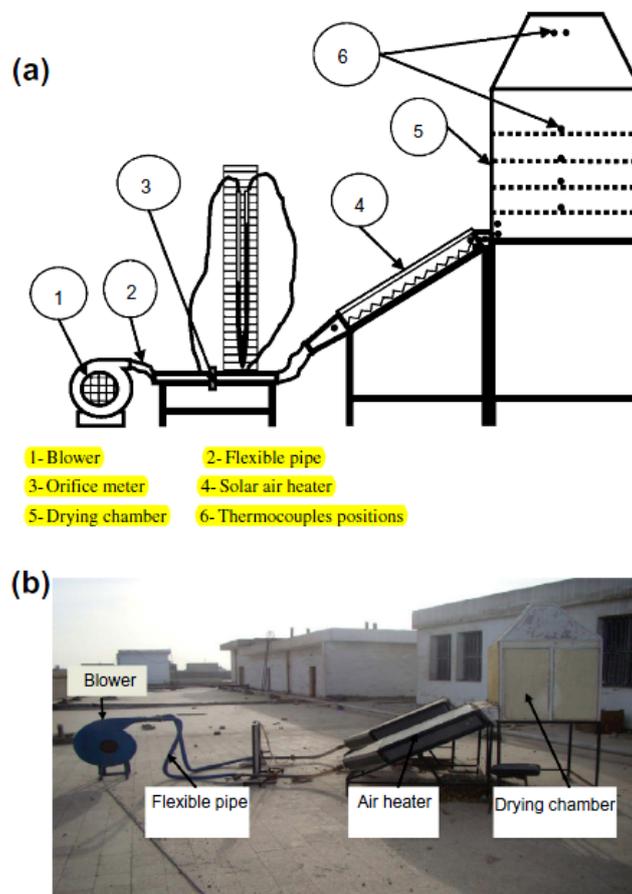


Figura 30. Deshidratador indirecto de aire impulsado (El-Sebaili, A. A. 2013)



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

dad 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 sólo 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 esta 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 idéntica. 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 100 kg 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

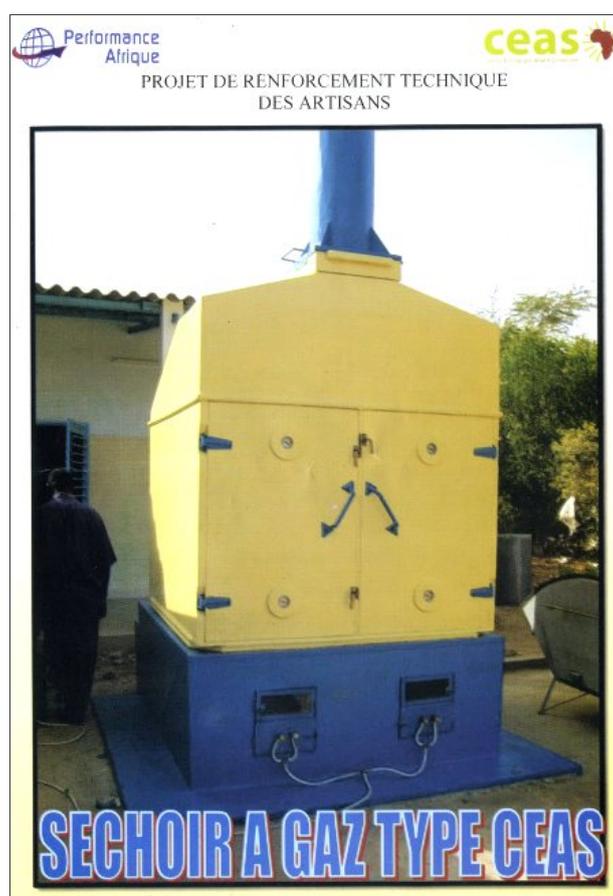


Figura 32. Secador a gas de CEAS

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 20 kg, 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 grados, 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. Tiene 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 a 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 100 kg de alimento en una sola vez, por lo que no está destinado al uso familiar, y trabaja a temperaturas de 40 a 50 grados. 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.

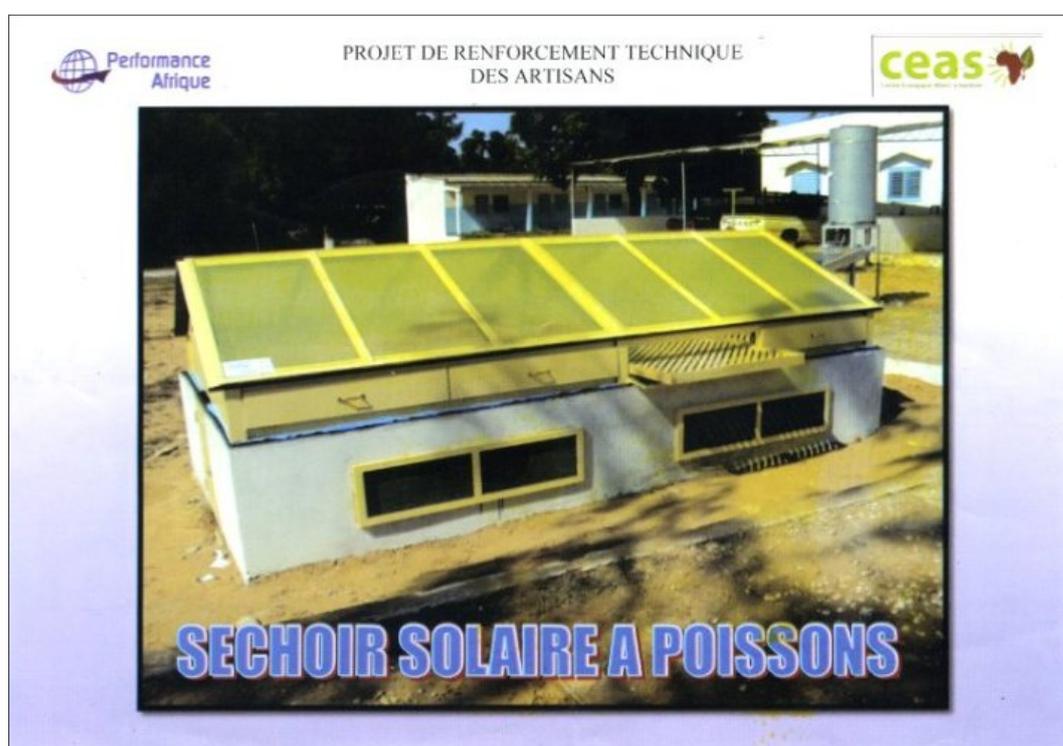


Figura 34. Secador solar para pescado, frutas y legumbres de CEAS

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 proceso. 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 tabs for 'Estimación FV', 'Radiación mensual', 'Radiación diaria', and 'FV autónomo'. The main content area is divided into two sections: a map on the left and a configuration panel on the right. The map shows Africa with a cursor positioned over a location. The configuration panel includes fields for 'Base de datos de radiación', 'Tecnología FV' (Silicio cristalino), 'Potencia FV pico instalada' (1 kWp), and 'Pérdidas estimadas del sistema' (14%). It also has sections for 'Opciones de montaje fijo' (Inclination and Azimuth settings) and 'Opciones del sistema de seguimiento' (Tracking system options). At the bottom, there are 'Formatos de salida' (Output formats) and a 'Calcular' button.

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

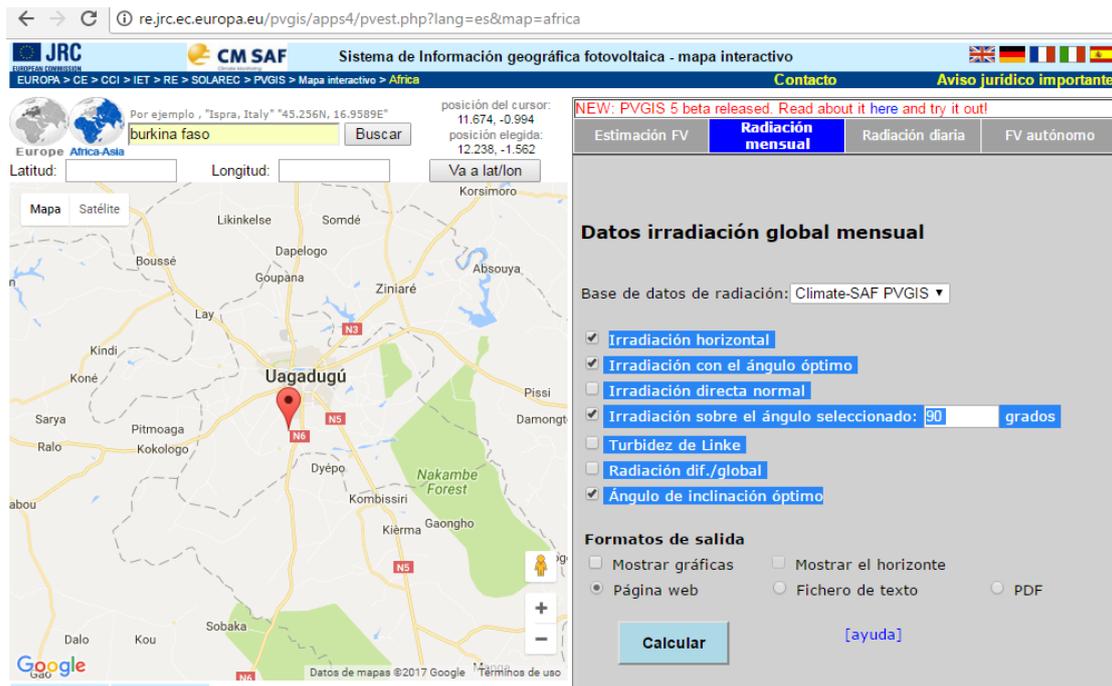


Figura 36. Acceso a los valores de radiación solar en Burkina Faso (PVGIS, 2017)

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 marcado en azul para que destaque más. Podemos obtener un solo valor, como por ejemplo la radiación para un ángulo determinado, o bien marcar todos los indicadores y obtener 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 plano horizontal (Wh/m² por día)

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

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

A pesar de que se trata de valores mensuales, 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 pueden estar en kWh/m² por mes, un valor que se suele 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_{opt}	$H(90)$	I_{opt}
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_{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 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 proceso 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 la 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 carozo, necta-

rinas Caldesi 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 como 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)

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
Cereza y guinda	85	18
Ciruela	82	20
Damasco	84	20
Durazno	90	20
Higo	78	14
Manzana	84	20
Pera	83	20
Uva	78	13

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

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 Oha-co (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. Sirven 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 y, por tanto, 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 un parámetro adicional que 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).

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 el valor de 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.

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°_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. En este sentido la medida no es inmediata, hay que dejar el recipiente cerrado y observar la evolución del medidor de humedad, 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.

3.12. Burkina Faso.

El equipo diseñado tenía como destino inicial Burkina Faso, un país situado el centro de la altiplanicie de África Occidental. Su capital es Ouagadougou, tiene una superficie de 274.500 km² y no tiene salida al mar. El idioma oficial es el francés, aunque el noventa por ciento de la población habla distintas lenguas, como el diula o el moré, dependiendo de la etnia a la que pertenece.

La economía del país mantiene un crecimiento que se mantiene desde hace más de diez años entre el 3 % y 5 % anual, pero se trata de uno de los países más pobres del planeta. En el Índice de desarrollo humano de las Naciones Unidas, que recoge indicadores como tener una vida larga y saludable, posibilidad de adquirir conocimientos o disfrutar de un nivel de vida digno, siempre se encuentra en una de las última posiciones del planeta. Ha mejorado un poco en los últimos años, pero desde 2010 a 2015 su valor no ha conseguido superar los 0,40 puntos, muy lejos de los 0,944 que tenía Noruega en 2014 (ocupando el primer lugar del mundo). De los 187 países del mundo en los que se estudia éste índice, suele situarse entre los ocho últimos.

Burkina Faso no ha sido un país con el que España haya mantenido una política de cooperación habitual, de hecho ni siquiera tenemos embajada en el



Tabla 39. Mapa de Burkina Faso (fuente CIM Burkina, www.cim-burkina.com)

país. 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, que 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. 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. El poco poder adquisitivo de la población, que en más de un 46 por ciento 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 grave 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. Permite a las poblaciones rurales de Burkina Faso poder almacenar deshidratadas las frutas y verduras. En determinados momentos del año pueden obtenerlas a bajo precio o pueden ser excedentes de producción propia. De no consumirlas en el momento en que se recogen, se pierden o se deshidratan por exposición directa al sol, perdiendo parte de sus propiedades nutricionales.

En Burkina Faso se ha contado con la Association pour la Promotion Féminine de Gaoua (APFG), creada en 1990, y que desarrolla su actividad en la zona de Gaoua. Cuenta con más de dos mil personas en activo y miles de simpatizantes adicionales, repartidos por las aldeas de la región del Suroeste. En el tiempo que lleva en funcionamiento ha trabajado en la integración de las mujeres en el tejido económico, social y cultural, intentando y consiguiendo mejorar sus condiciones de vida.

4. Diseño del deshidratador.

4.1. Primer modelo.

En octubre de 2012 el profesor Daniel José Vidal Brotóns, 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 técnicos informáticos del ASIC de la UPV, con una larga experiencia en cooperación en África. También estaban varios profesores del IIAD. A ellos había que sumar profesores de la Universidad de Valencia (UV) coordinados por Jesús Blesa Jarque, del Departamento de Medicina Preventiva y Salud Pública, Ciencias de la Alimentación, Toxicología y Medicina Legal y miembro del Instituto de Investigación Sanitaria La Fe.

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 conservación 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 enfocado a la utilización de placas solares fotovoltaicas.

En un primer momento la propuesta me sorprendió, por mi desconocimiento de este 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 en cocina de diseño. En los supermercados se pueden encontrar a la venta productos secos envasados, como to-



Figura 40. Alimentos deshidratados comercializados en nuestro país (fuente Carrefour)

mate, plátano, frutas del bosque... Pero me habían pasado inadvertidos a pesar de haber estado frente a ellos en muchas ocasiones e incluso habiendo consumido algunos de ellos 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 electricidad 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 sentido en el que se orientaba el 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 41. 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 41*, aunque en el caso de frutas como cerezas o uva, se pueden dejar enteros. 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 electricidad en calor. El flujo de aire caliente está dirigido hacia las bandejas, entrando en contacto con los alimentos, extrayendo su contenido en agua. Una vez ha pasado por los alimentos 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 electricidad generada por placas solares fotovoltaicas. El primer diseño realizado está representado de forma esquemática en la *figura 42* de la página siguiente. Está formado por:

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

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

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

D) Ventiladores para impulsar el aire hacia la zona en la que están las bandejas con los alimentos.

E) 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 electricidad 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 41*, su contenido en agua, que es evacuado del equipo

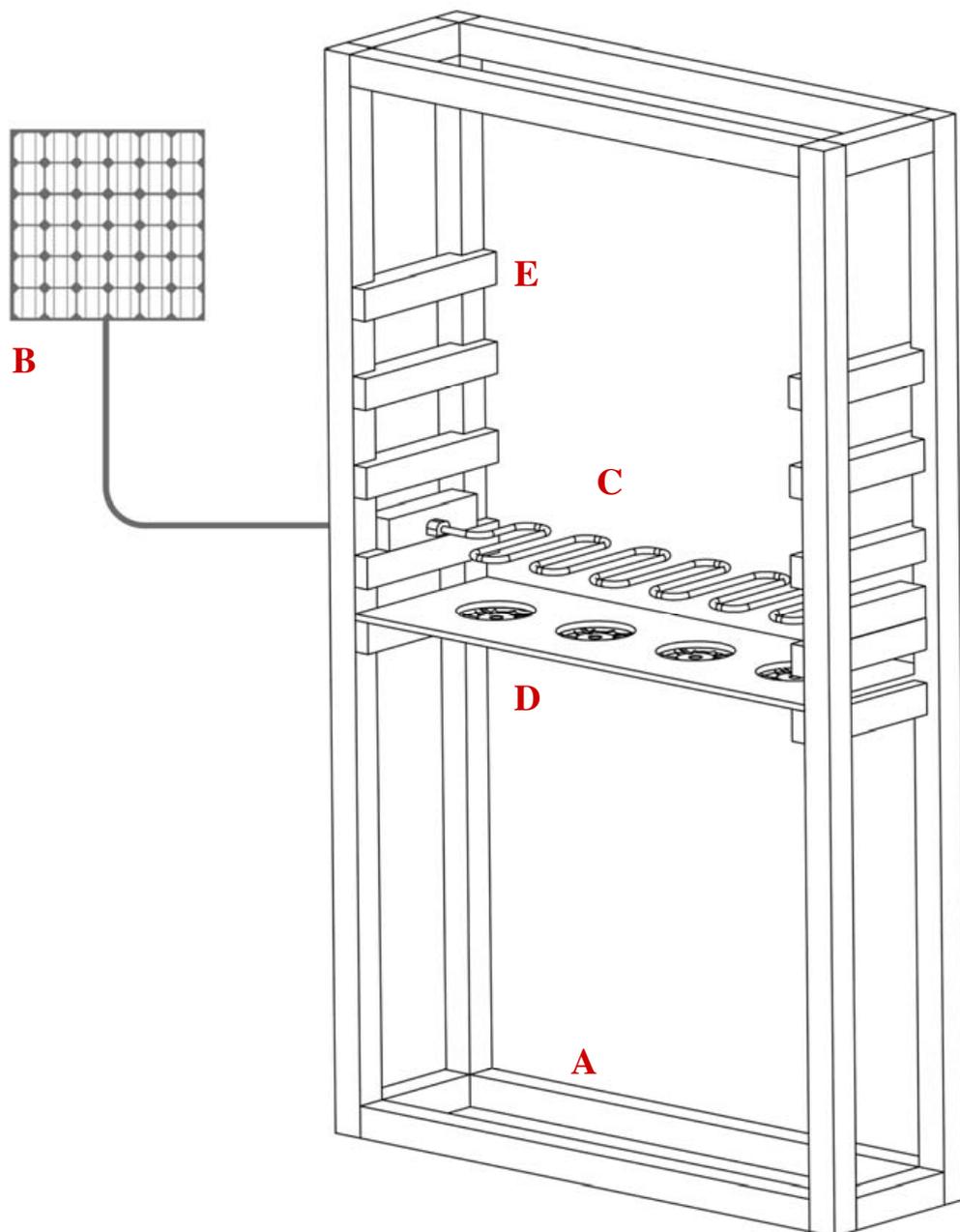


Figura 42. Primer boceto del deshidratador solar de alimentos

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

Recordemos que todo el equipo está cerrado lo más herméticamente posible, para evitar que escape el aire caliente por los laterales. Como se ha comentado el material para realizar el sellado 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 depositan 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 cerraba 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 utiliza 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 continúa 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 en número de placas a utilizar para conseguir optimizar el proceso de secado. En cuanto a medidas 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 42* 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 estabilidad.

El hecho de pensarlo inicialmente con esas dimensiones de un ancho pequeño se debe a que también se hizo un segundo boceto que incorporaba una segunda fuente de aire caliente, producida mediante un colector pasivo expuesto directamente al sol. Al aire caliente que se produce con la energía eléctrica que

producen las placas se un aire caliente producido de forma pasiva por el colector solar, unido al equipo tal como se observa en la *figura 43*. 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.

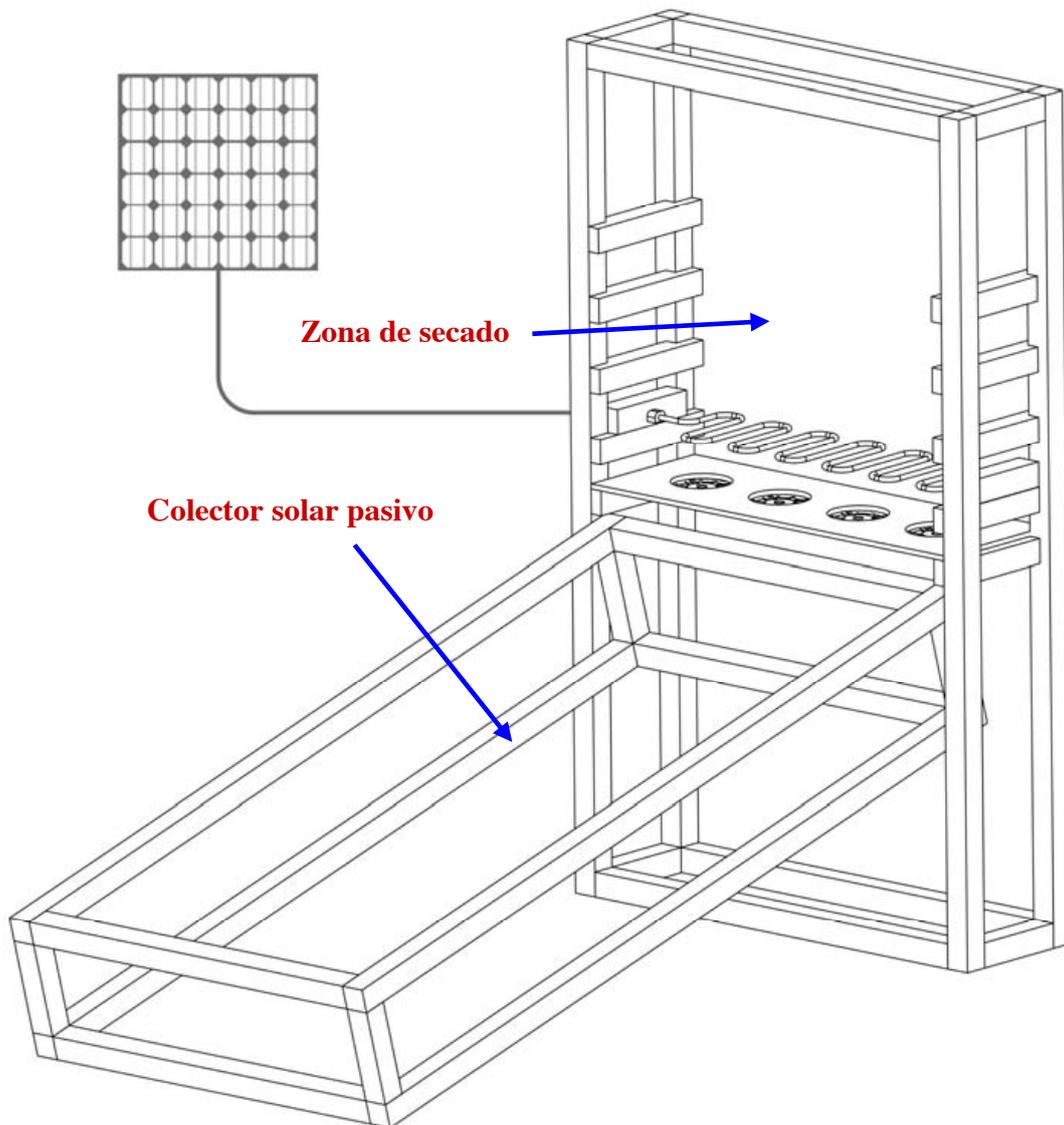


Figura 43. Mejora en el primer diseño del deshidratador solar de alimentos

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 diseño 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 este primer diseño se descartó 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 APFG (Association pour la Promotion Féminine de Gaoua), 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 pasivo indirecto, 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 44. Objetivos del Desarrollo del Milenio de las Naciones Unidas

4.3. Diseño del deshidratador.

El equipo diseñado sigue las pautas indicadas en los apartados anteriores, manteniendo el formato que se puede observar en la *figura 43*, pero eliminado los elementos eléctricos (placa solar fotovoltaica, resistencia y ventiladores), dejando sólo 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 45*, en la que se observan las dos partes 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 zona de secado, dispuesta verticalmente.

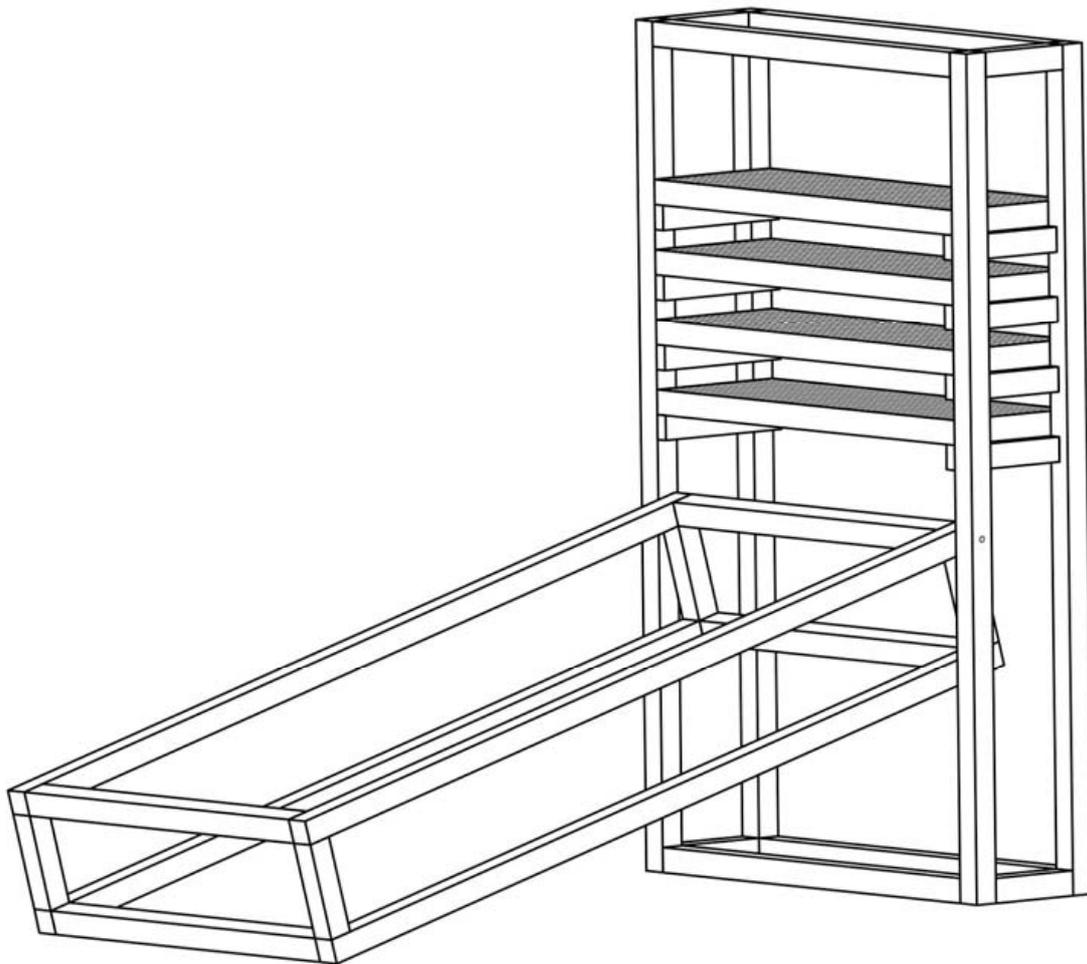


Figura 45. Vista general del diseño final del deshidratador

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 46*, que posee un colector más ancho en la parte frontal y que se va encogiéndose 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 45*.

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 45*, por su mayor facilidad constructiva y también por su mayor facilidad de manejo, puesto que un colector de 180 cm por 180 cm sería difícil de mover y ocuparía más espacio al ser almacenado cuando el equipo no se usa.

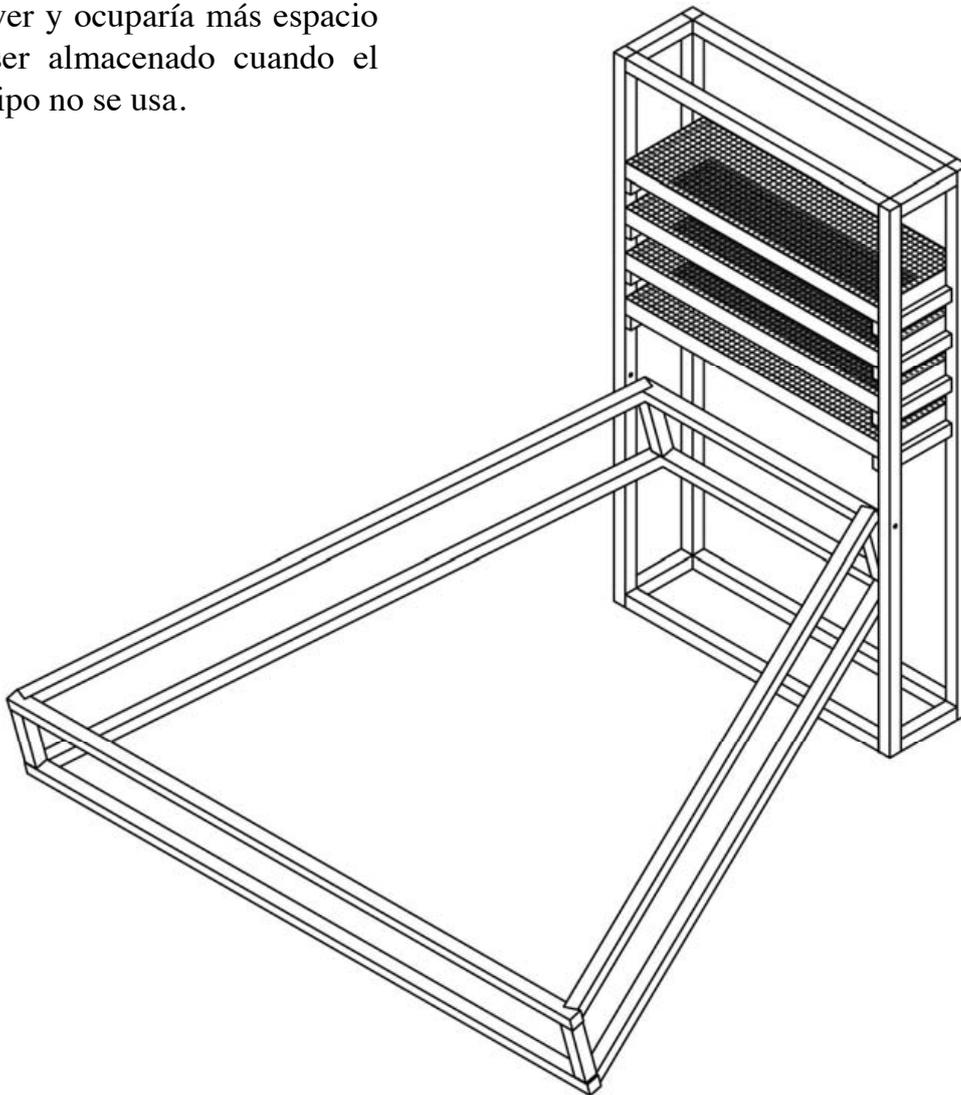


Figura 46. Modelo alternativo de colector solar para el deshidratador

4.4. Dimensiones y disposiciones constructivas.

En la fase inicial de diseño se tuvieron que tomar decisiones en torno al tamaño y las dimensiones del deshidratador, así como 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, que se busca que su montaje y utilización fueran sencillas 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 esqueleto 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 sencilla y directa. Con posterioridad y tras hablar con un carpintero, nos sugirió que la madera fuese de pino 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 47*.

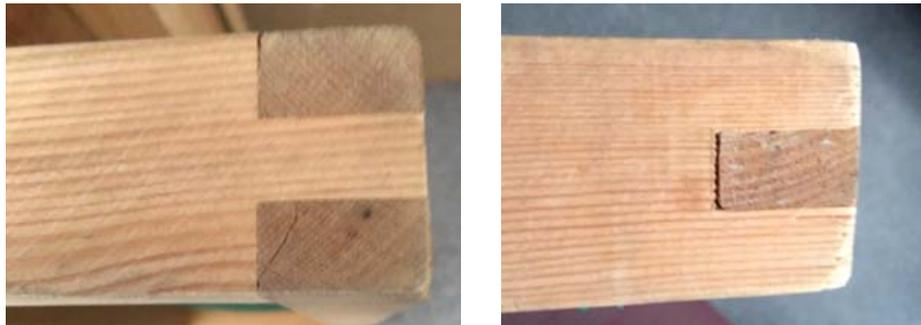


Figura 47. Uniones entre listones, tipo caja y espiga

Hicimos caso de sus sugerencias, aunque en 2016 y debido al uso continuo del equipo tuvimos que reforzar las uniones de la estructura de la zona de secado con tornillos y escuadras, tal como se ve en la *figura 48*.



Figura 48. Refuerzos incorporados al equipo en 2016



Figura 49. Deshidratador solar indirecto

Las dos partes del equipo están construidas a partir de sendos armazones de madera de pino con un formato de prisma rectangular. En la *figura 49* se ve el equipo ya construido. 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 50*.



Figura 50. Frontal del colector, cerrado con rejilla y plástico transparente



Figura 51. Zona de salida del aire calentado en el colector

La parte posterior está abierta, tal como se ve en la *figura 51*, 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 medio metro de plástico transparente 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 también tenemos medio metro adicional de plástico negro, destinado a facilitar el cierre del ensamblaje entre las dos partes del equipo.

La cámara de secado tiene una disposición vertical y está montada sobre un armazón prismático rectangular, tal como se aprecia en la *figura 52*. La parte frontal se cierra con plástico negro, de manera que el sol no incida directamente sobre los alimentos. Como se ha hecho en el colector, se ha dispuesto en ella un sobrante de medio metro del plástico que la cierra, que se unirá con el sobrante que teníamos en el colector.

En la primera etapa de trabajo con el deshidratador la cantidad de plástico sobrante era más pequeña, de veinte centímetros, y se unían mediante cinta adhesi-



Figura 52. Zona de secado: frontal

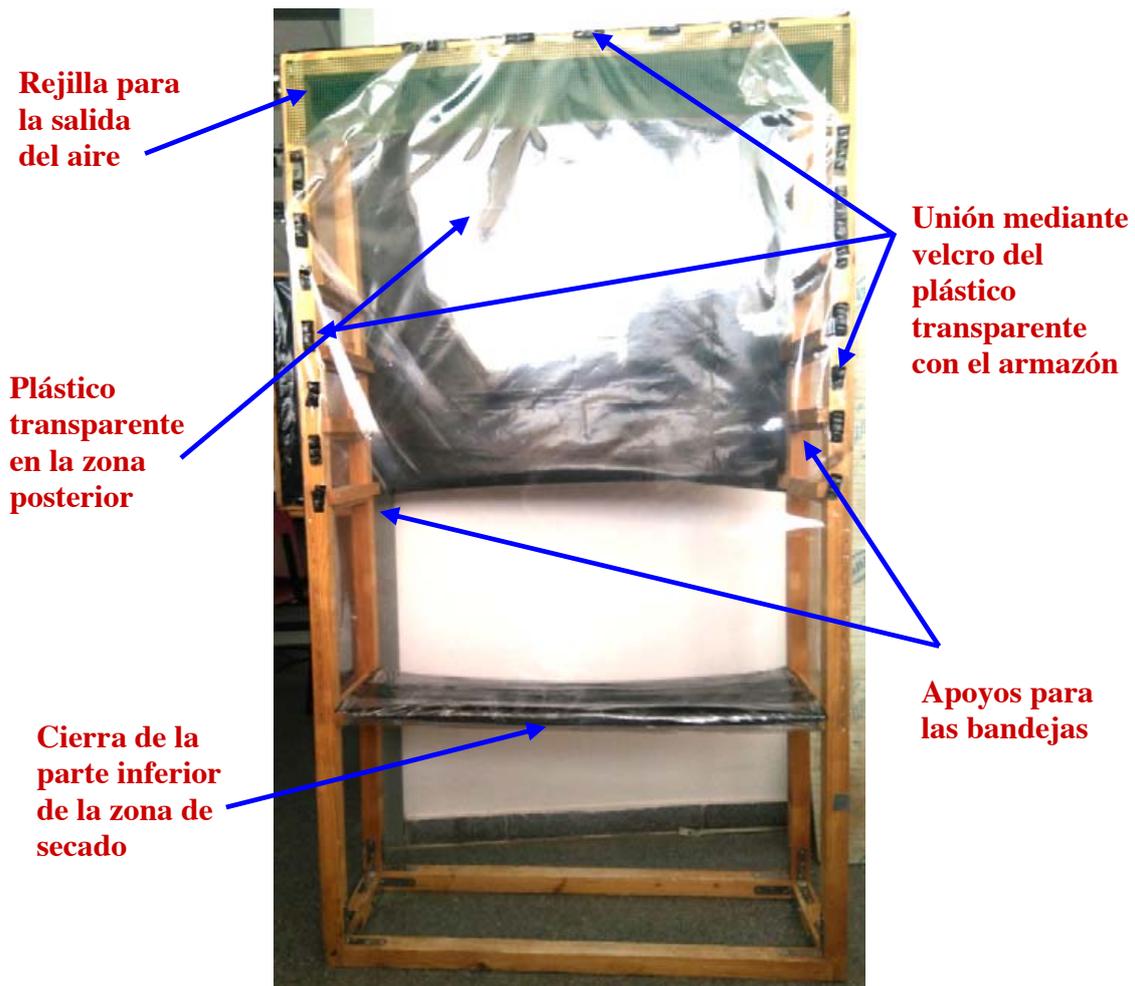


Figura 53. Parte posterior de la cámara de secado

va, 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 utilizando un sistema de enrollado de uno sobre otro, fijando la unión, una vez terminado de enrollar, con tres pinzas, dos en los extremos y una en medio.

La parte trasera de la zona de secado se cierra con plástico transparente, tal como se aprecia en la *figura 53*, 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 unir el plástico al 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



Figura 54. Cierre superior con rejilla de la zona de secado

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 plástico que permita la salida del aire una vez ha pasado por los alimentos, tal como se ve en la *figura 54*. 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.

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 55*. 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 55. Cierre inferior de la zona de secado

4.5. 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 56*. 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 alimentos 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. Hay que tener en cuenta que durante el proceso de secado la actividad del agua sigue siendo alta, sobre todo al principio en que 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 un rectángulo de madera de 90 cm por 30 cm, con una sección rectangular de 4 cm x 2,5 cm. Sobre ella se dispone una



Figura 56. Bandejas en las que se depositan los alimentos



Figura 57. Vista frontal de una bandeja

rejilla fina, tal como se puede ver en la *figura 57*, que deja pasar el aire caliente que procede del colector. Como ya se ha descrito, 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.

4.6. Estructura del equipo.

Los deshidratadores vistos en el apartado 3.4 están contruidos, en general, con un cuerpo único, que incluye tanto la parte 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 las que no se dan las condiciones para poder utilizar el deshidratador, que se debe poder guardar ocupando el menor espacio posible, puesto que en las viviendas no suelen disponer de mucho espacio libre.

Por ello, el equipo se ha diseñado para poder ser desmontado en dos partes independientes, de forma que se puedan guardar verticalmente ocupando poco espacio. Además, cada una de ellas debe poder ser movida por una sola persona, para facilitar la manipulación del equipo. En función de esta idea, 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 sin problemas, e incluso una sola puede hacerlo sin demasiadas complicaciones.

Estas dimensiones se eligieron para facilitar la manejabilidad del deshidratador, pero también por la proporción entre el volumen de la zona de secado y el de la zona del colector, buscando 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 posee un volumen de 0,486 metros cúbicos. La cámara de secado donde se colocan las

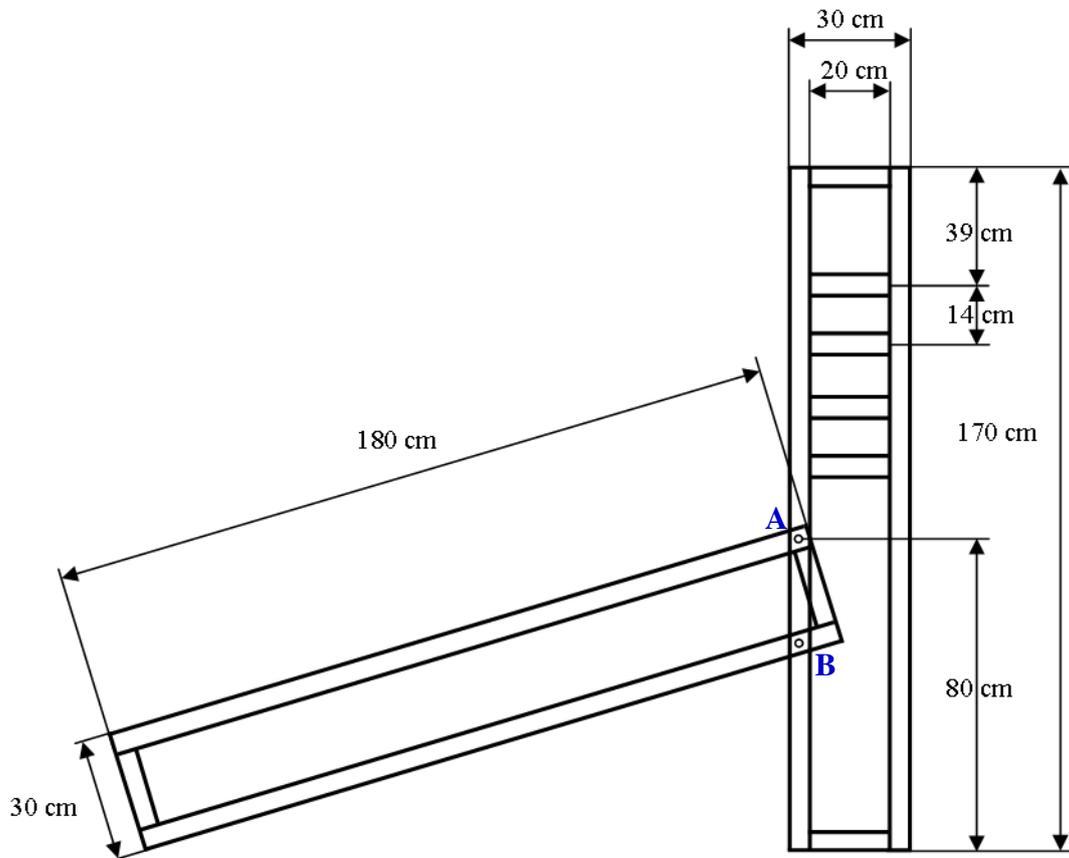


Figura 58. Vista lateral del equipo y sus dimensiones

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, tal como se ha podido apreciar en las explicaciones anteriores y se detallará más adelante.

En la *figura 58* tenemos una vista lateral del equipo, en la que se han incluido las dimensiones 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 atraviesan completamente los dos armazones de la zona del colector y de secado. El superior A está perforado a 80 cm del suelo, mientras que el inferior B está aproximadamente a 58 cm. Para perforar 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.



Figura 59. Orificios para el pasador que une las dos partes del deshidratador

4.7. Modificación de la inclinación del equipo.

Como se comentaba en el párrafo anterior, el ensamblaje entre las dos partes del equipo, se realiza mediante pasadores, que se pueden situar en distintas posiciones, tal como se ve en la *figura 59*. Esto permite elegir la altura a 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.

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 forma, en España la inclinación óptima 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. Para evitarlo poníamos contrapesos en la base del armazón de la zona de secado. Mantuvimos esta disposición durante los tres primeros años, pero finalmente preparamos el colector para que tuviese dos pasadores a cada lado, confiriéndole más estabilidad al equipo.

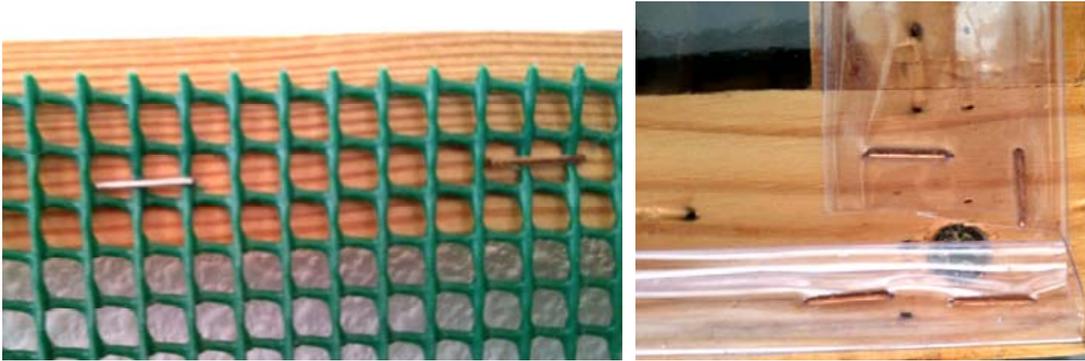


Figura 60. Unión de los plásticos a los armazones

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 casi total.

La unión de los plásticos con el armazón se pensó desde el primer momento en realizarla con grapas, buscando 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 60*. 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 *figura 60*.

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 61.

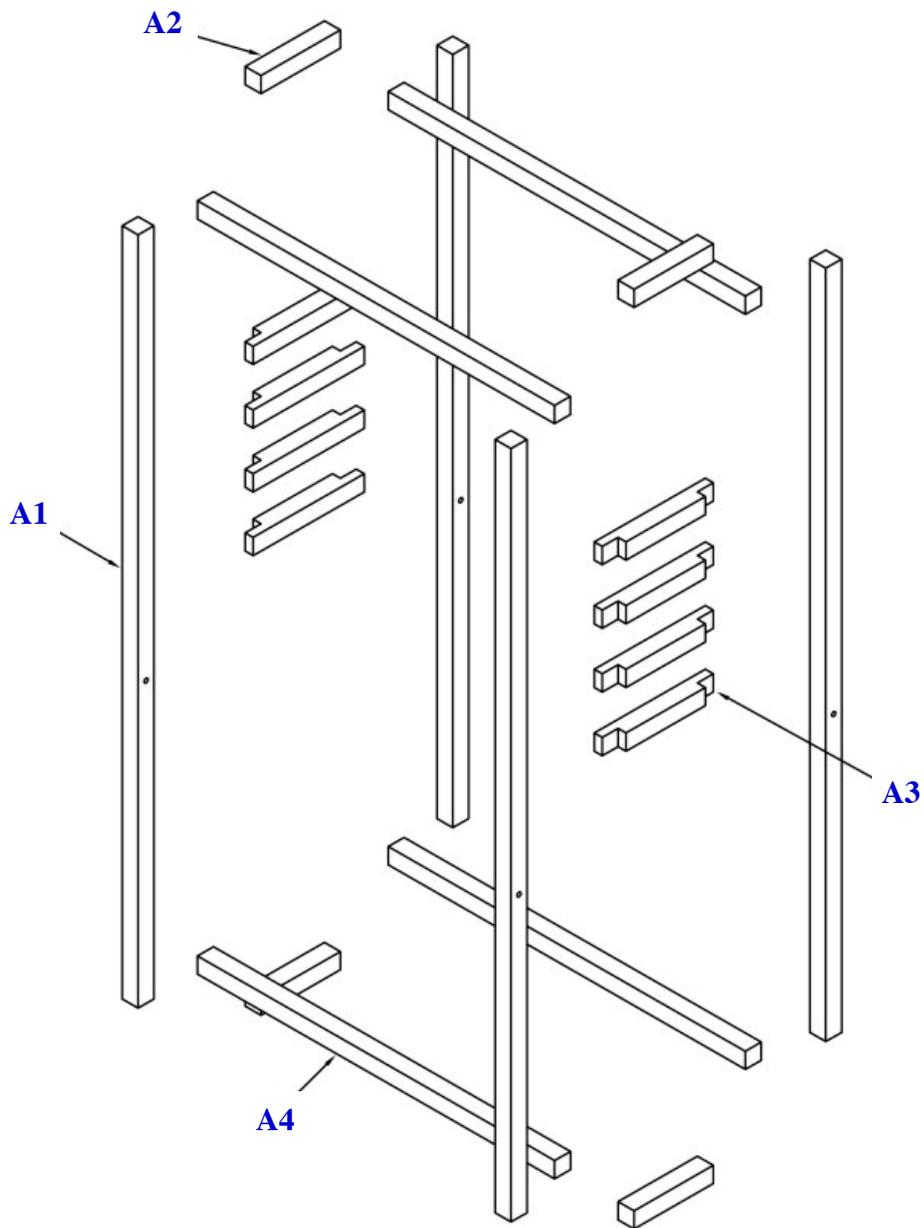


Figura 61. Explosionado de la cámara de secado

Está construida con cuatro tipos de listones diferentes, cuyas dimensiones en milímetros recogemos en las *figuras 62, 63, 64 y 65*.

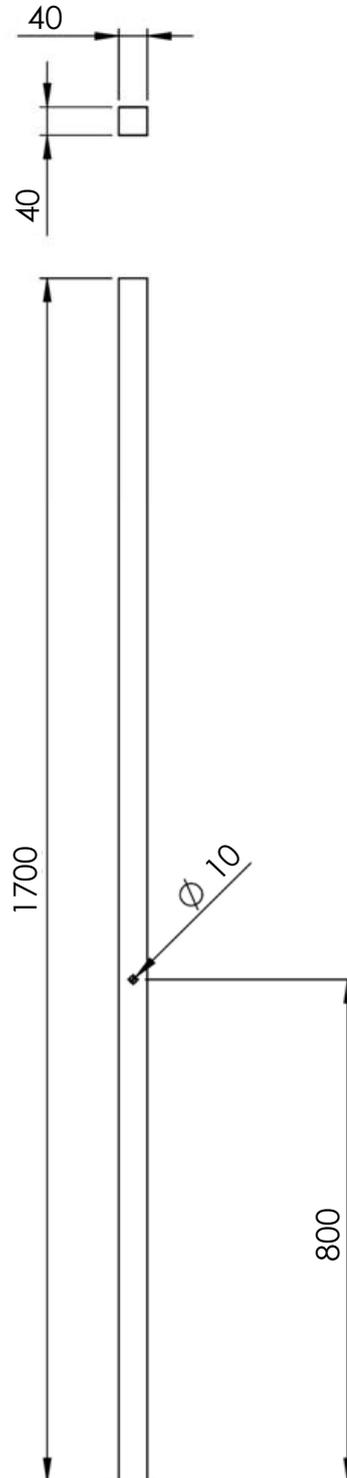


Figura 62. Dimensiones en milímetros de la pieza A1

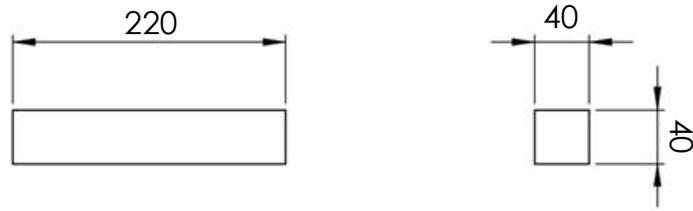


Figura 63. Dimensiones en milímetros de la pieza A2

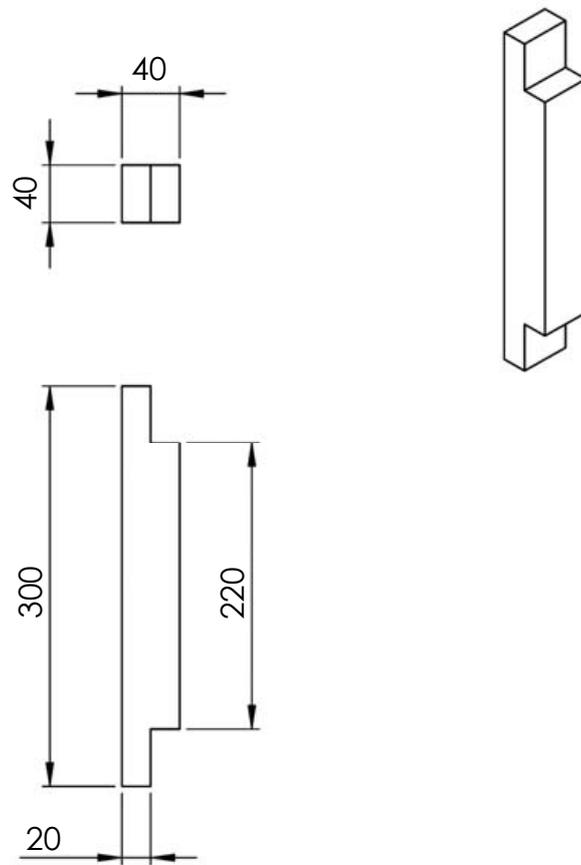


Figura 64. Dimensiones en milímetros de la pieza A3

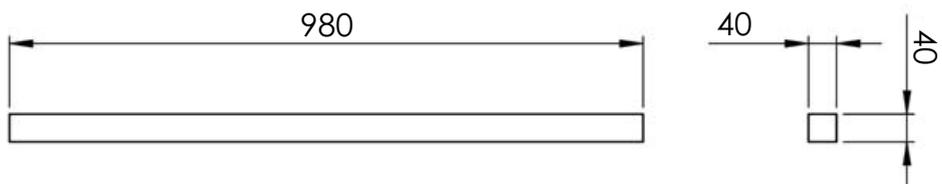


Figura 65. Dimensiones en milímetros de la pieza A4

Continuamos con el colector solar, cuyo explosionado se puede ver en la *figura 66*. Está construido con tres tipos de listones diferentes, cuyas dimensiones se pueden ver en las *figuras 67, 68 y 69*.

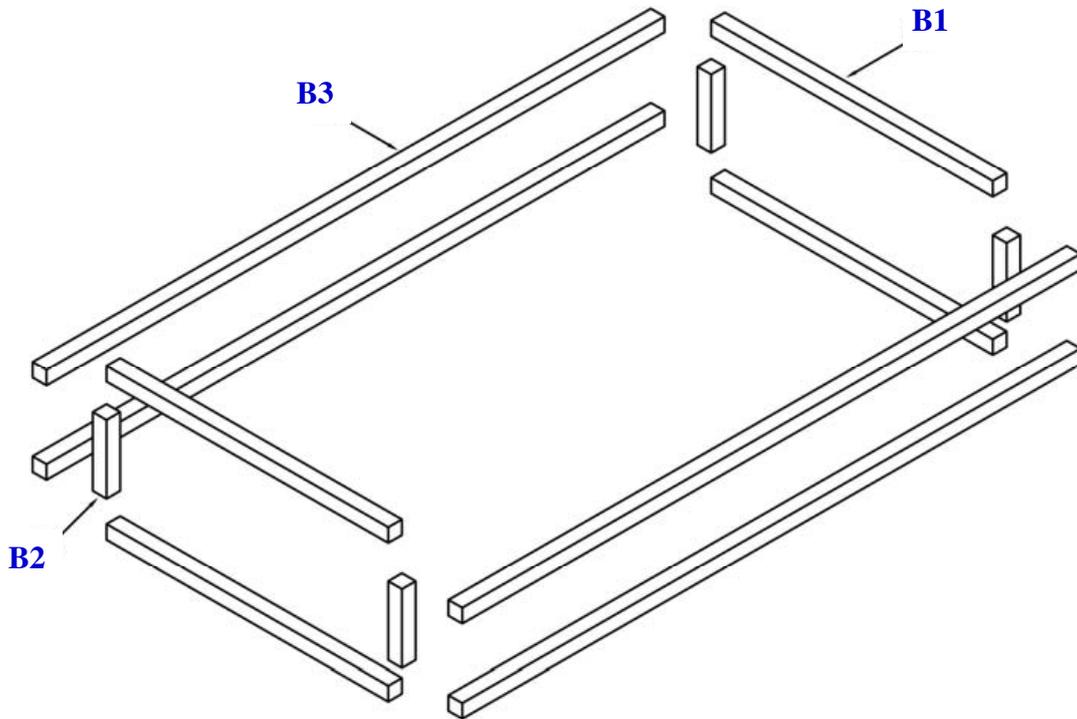


Figura 66. Explosionado del colector solar

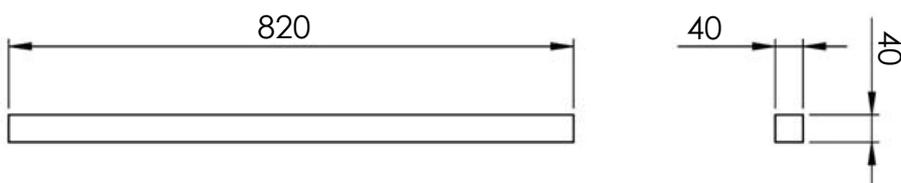


Figura 67. Dimensiones en milímetros de la pieza B1

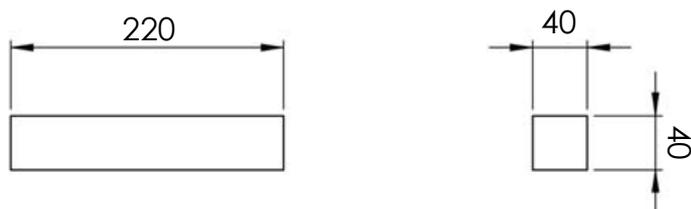


Figura 68. Dimensiones en milímetros de la pieza B2

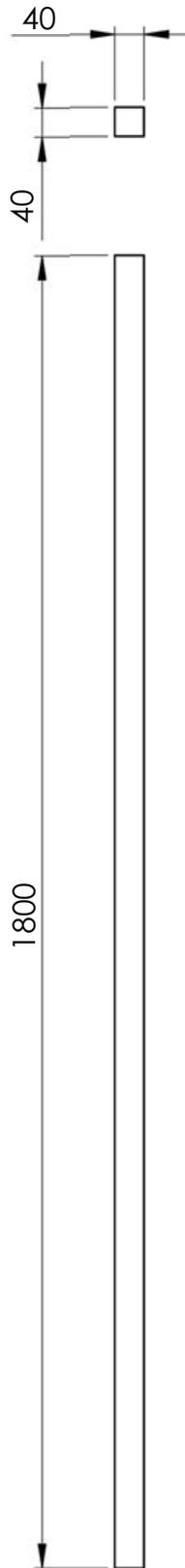


Figura 69. Dimensiones en milímetros de la pieza B3

Finalmente tenemos el explosionado de la bandeja, que se puede ver en la *figura 70*, que está formado por dos únicos listones, cuyas dimensiones son las que se indican en las *figuras 71 y 72*.

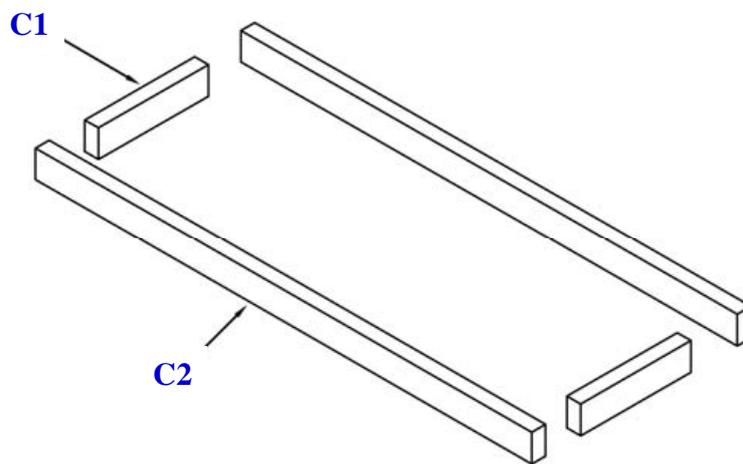


Figura 70. Explosionado de la bandeja

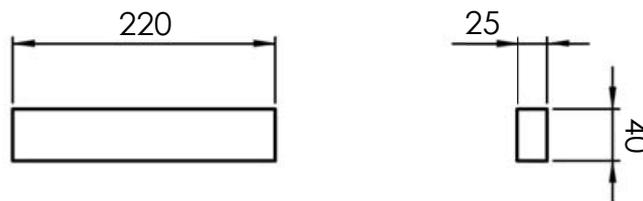


Figura 71. Dimensiones en milímetros de la pieza C1

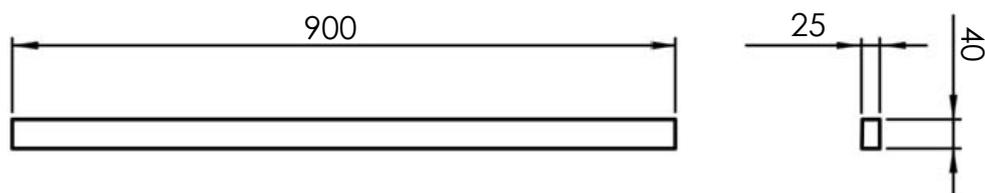


Figura 72. Dimensiones en milímetros de la pieza C2

Por otra parte tenemos las rejillas que se utilizan para cubrir las bandejas y depositar en ellas los alimentos, para la entrada del aire en la parte frontal del colector solar y para la salida del mismo en la parte superior trasera de la cámara de secado.

Sus dimensiones son las que se incluyen en las *figuras 73, 74 y 75*.

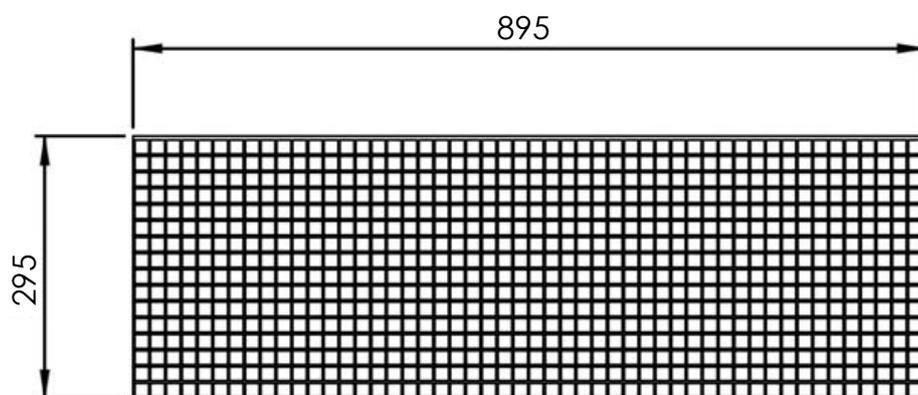


Figura 73. Dimensiones en milímetros de la rejilla de la bandeja

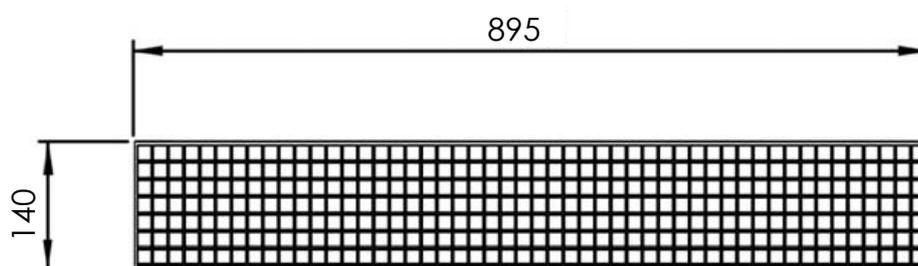


Figura 74. Dimensiones en milímetros de la rejilla del colector

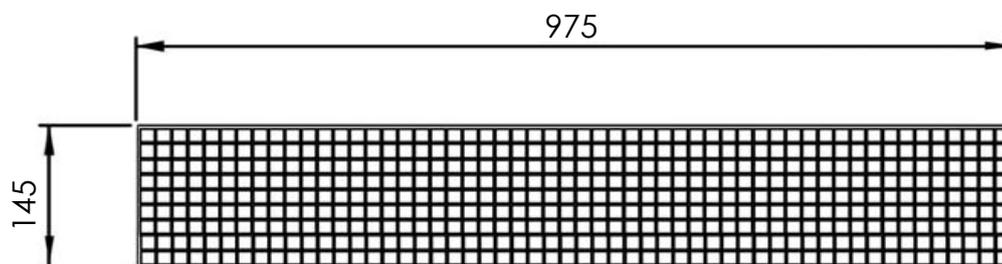


Figura 75. Dimensiones en milímetros de la rejilla de la cámara de secado

No se incluyen planos de los plásticos utilizados para cerrar el colector solar la cámara de secado, puesto que son rectángulos que se adaptan directamente a cada una de las zonas que han de cerrar en el deshidratador.

5. Puesta en marcha de 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 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 comencé a trabajar en el revestimiento de las distintas partes del deshidratador, que estuvo preparado para comenzar a hacer pruebas a comienzos de marzo de 2013.

5.1. Primeras medidas.

La primera prueba con el deshidratador se realizó 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 anemómetro Airflow TA5 y un multímetro ISO-TECH IDM 62T (*figura 76*) que 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 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

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

anemómetro se situó en la parte central de la zona de secado, entrando uno de sus laterales, es decir, a 34 cm del lateral 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 afectan 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 sólo 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 José Vidal Brotóns, que se acercó para ver el funcionamiento del deshidratador, 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

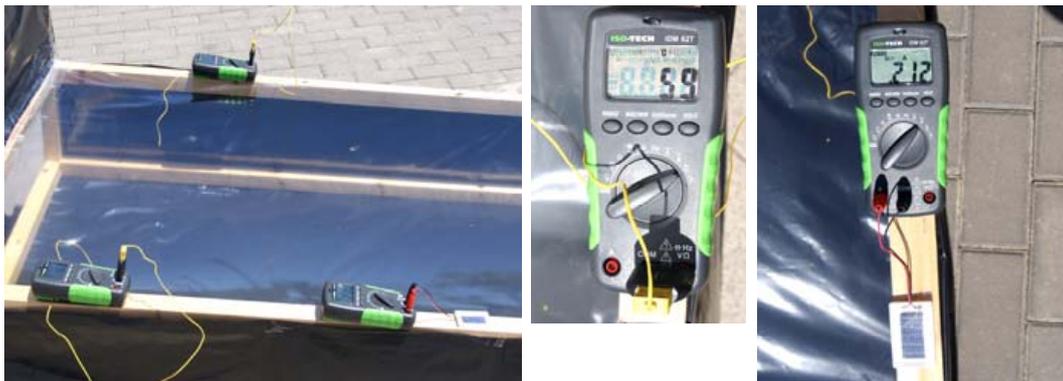


Figura 76. Primeras medidas tomadas

del deshidratador varias veces al día, haciendo un 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 76* se puede ver la disposición de los equipos y dos medidas: $59\text{ }^{\circ}C$ en el colector solar con una radiación incidiendo sobre el equipo de $738,5\text{ }W/m^2$.

La primera fruta que secamos fue manzana, cortada a mano con un cuchillo de cocina en láminas de 3-4 mm. Luego fuimos incorporando otros alimentos, como tomate, pepino, cebolla, 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 todos los procesos de secado que hemos realizado. Lo hemos podido corroborar en alimentos como los citados y también en mango, papaya, piña, cebolla, pimiento, pera, jengibre, etc.

Para poder comprobar cómo se produce el proceso de secado, comenzamos a tomar datos del peso de los alimentos tratados 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 esta situada en el interior del alimento, con lo que debe atravesarlo antes de ser arrastrada por el aire caliente.



Figura 77. Primeros experimentos de secado en marzo de 2013

En la *figura 77* 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 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 4.4 y se puede ver en la *figura 55*. Quedaba así una cámara de secado mucho más grande que la actual. No tenía utilidad y, en principio, no parecía que debiese afectar al proceso de deshidratación, puesto que el aire caliente tiene tendencia a ascender y, por tanto, no se debería ver demasiado 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 realizaba aprovechando los excedentes de plástico que se habían dejado tanto de una zona como de otra. Estos excedentes 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 per-



Figura 78. Cámara de secado cerrada con velcro

fecta 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 bajo, como así era.

Respecto al cierre de la parte trasera, se puede apreciar en la *figura 78* 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 suponía 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 en parte con el propio plástico transparente que cubre la parte trasera, 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 la salida del aire.

Se puede ver también en la *figura 78* 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 va a des-

hidratar 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 estuvimos comiendo los alimentos deshidratados para comprobar como quedaba su sabor y textura. Comprobamos que las frutas y hortalizas que estaban muy maduras proporcionaban unos sabores muy agradables, 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 en esos mismos alimentos.

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. 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 proceso de deshidratado siguiendo las mismas pautas. Queríamos obtener además curvas de secado de los alimentos tratados de una forma sencilla, que permitiese saber cuando se ha completado el proceso 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. En sistema de trabajo se ha definido siguiendo los siguientes pasos:

- 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.

- 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.

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



Figura 79. Bandejas con los manzana (1), kiwi y pepino (2) y tomate (3) dispuestos para su procesado

con cuchillo y se van depositando los alimentos en las bandejas. En el año 2015 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.

Normalmente hemos llenado una bandeja completa con un solo alimento o se colocan dos alimentos por bandeja. La densidad de alimento por bandeja se puede ver para distintos alimentos en la *figura 79*. 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.

- Una vez cubierta la bandeja o la mitad de la misma, se hace un primer pesado del alimento y se anota el peso del que se ha partido antes de la deshidra-

tación. Después se vuelve a depositar el alimento distribuyéndolo en la bandeja que le corresponde. Cuando están completas todas las bandejas se llevan hasta el deshidratador.

- 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.

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. También se deja preparada la célula calibrada. Dependiendo de cada procesado se han colocado todos los medidores o solo una parte de ellos.

- Se dejan pasar dos horas para que el proceso avance. Transcurridas estas dos horas se abre la parte trasera del equipo y se van extrayendo las bandejas. Se pesa cada uno de los alimentos y se vuelven a depositar en la bandeja, que es fotografiada de nuevo e introducida en el equipo. En las horas centrales del día se han realizado medidas con intervalos de tiempo más pequeños, 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.

- Se trasladan los datos recogidos hasta el ordenador, viendo como 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 deshidratado y se puede retirar del deshidratador, para que los demás 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.

De forma habitual hemos necesitado un día y medio para tener los alimentos deshidratados, cuando vamos interrumpiendo el proceso con las pautas descritas para tomar medidas y teniendo un día con sol. A veces hemos completado el segundo día tomando más medidas, para comprobar cómo evolucionaba el peso de los alimentos. Si no se han de hacer medidas, el tiempo necesario es menor, aunque depende, volvemos a insistir en ello, de la cantidad de alimento que ponemos en las bandejas y del grosor del corte de las rodajas.

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 desde las 19:00 o 20:00 en que acabamos el primer día, dependiendo de la época del año y de la horas de sol, y las 9:00 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 un proceso de 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 79*. 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
0,0	489,4
1,0	410,5
2,0	320,7
3,5	277,9
5,7	184
6,7	151,2
8,0	124,9
9,3	105
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 6. Datos de deshidratación de manzana en junio de 2013

Medidas realizadas

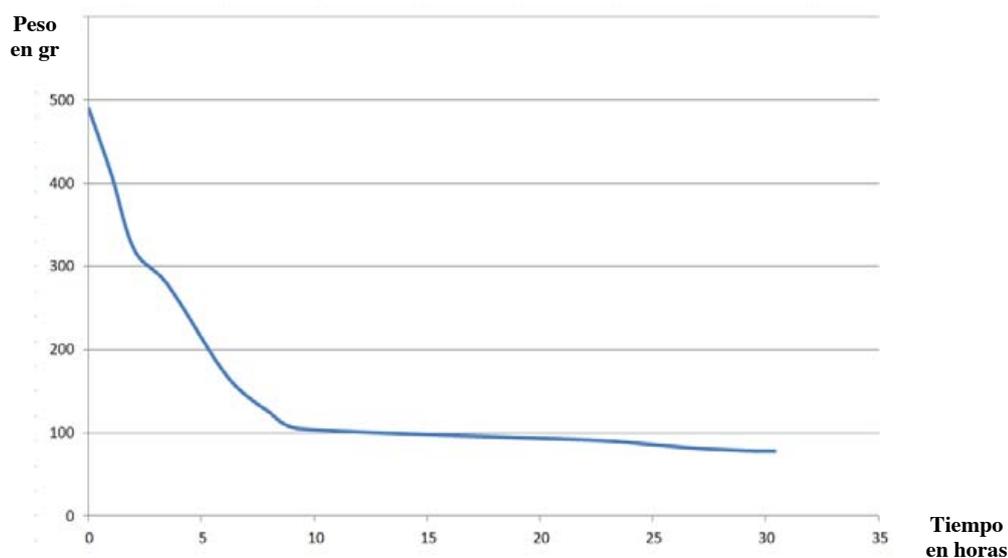


Figura 80. Gráfica de deshidratación en junio de 2013 de manzana

Con estos datos obtenemos la gráfica de la *figura 80*, 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 in-

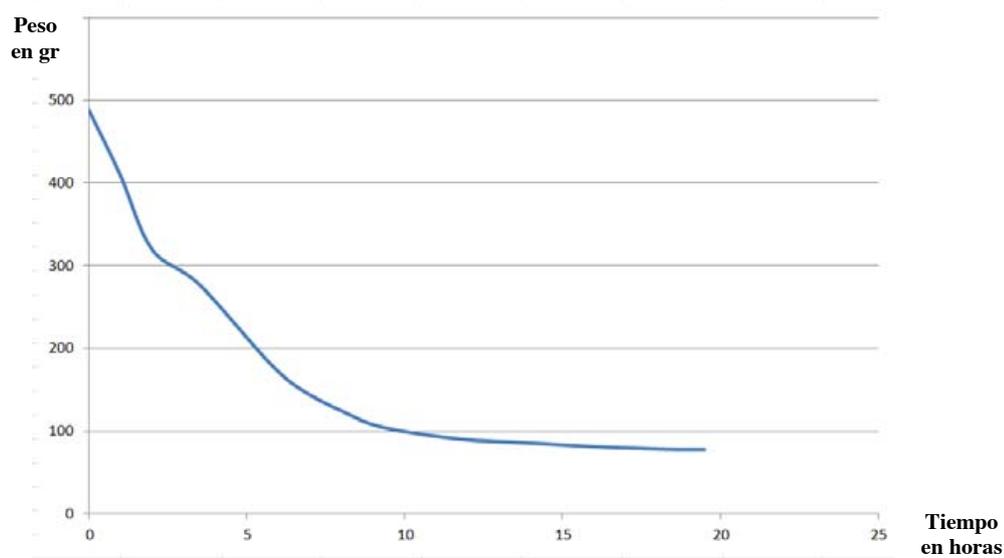


Figura 81. Gráfica de deshidratación en junio de 2013 de manzana, modificando el intervalo nocturno a 2,4 horas

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
6,7	151,2
8,0	124,9
9,3	105
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*

formación sobre cuándo se ha producido la finalización del proceso de secado. En este último aspecto nos da una información 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 81* 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, puesto que 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 82*, muy similar a la de la *figura 81*.

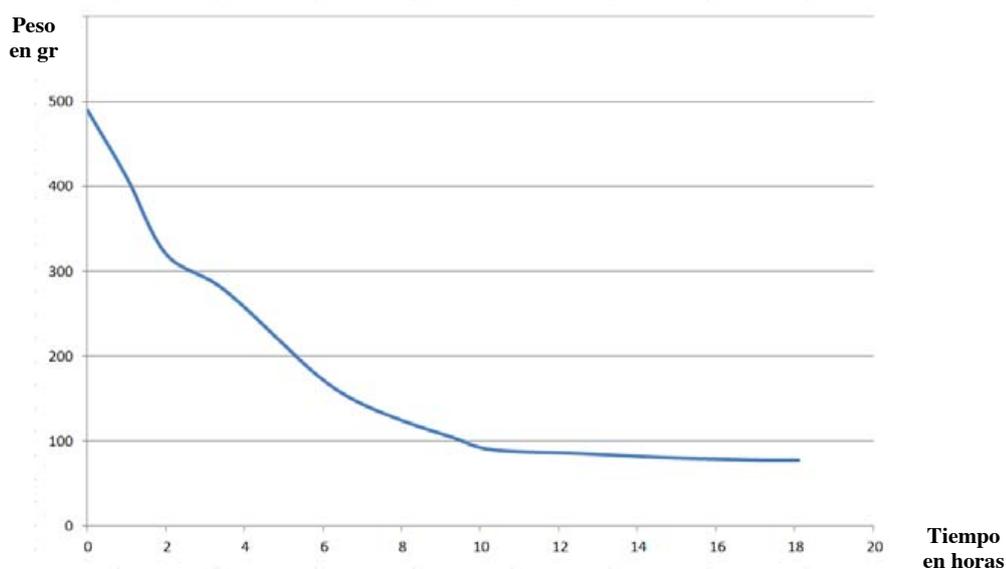


Figura 82. Gráfica de deshidratación en junio de 2013 de manzana, dejando el intervalo nocturno en una hora

Medidas realizadas

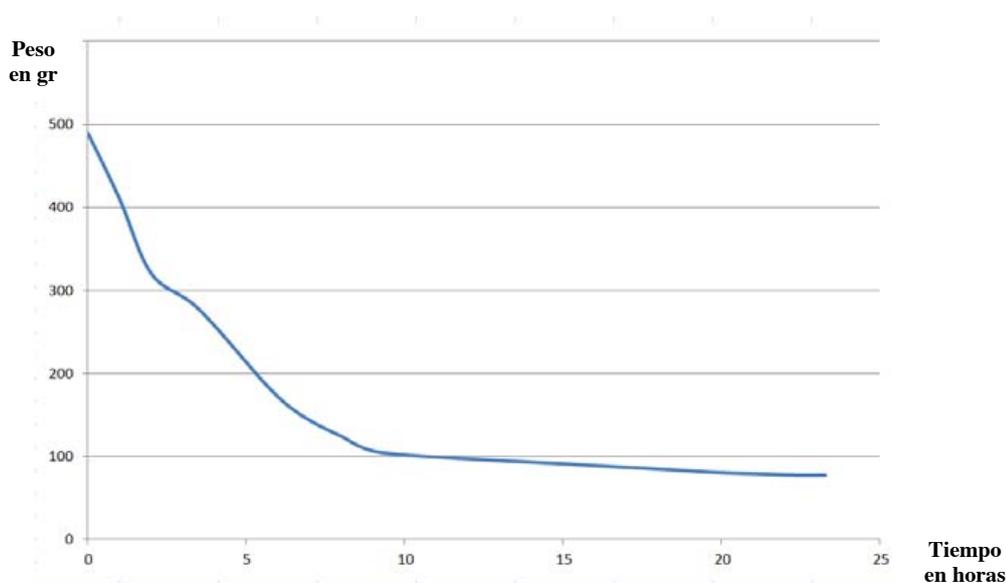


Figura 83. Gráfica de deshidratación en junio de 2013 de manzana, aumentando el intervalo de tiempo nocturno a 3,8 horas

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 83*, similar de nuevo a la que teníamos en la *figura 81*.

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 pesaje 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 un peso lo suficientemente pequeño 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, obtene-

Medidas realizadas

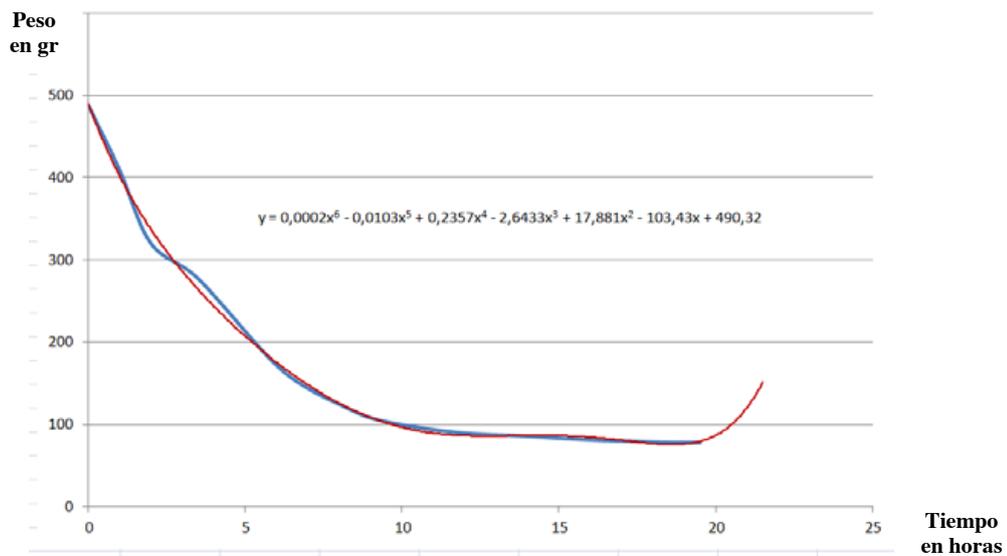


Figura 84. Gráfica de deshidratación en junio de 2013 de manzana, con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 6

mos resultados menos ajustados. En la *figura 84*, 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 85*, en la que sí se mantiene el descenso de peso, aunque probable-

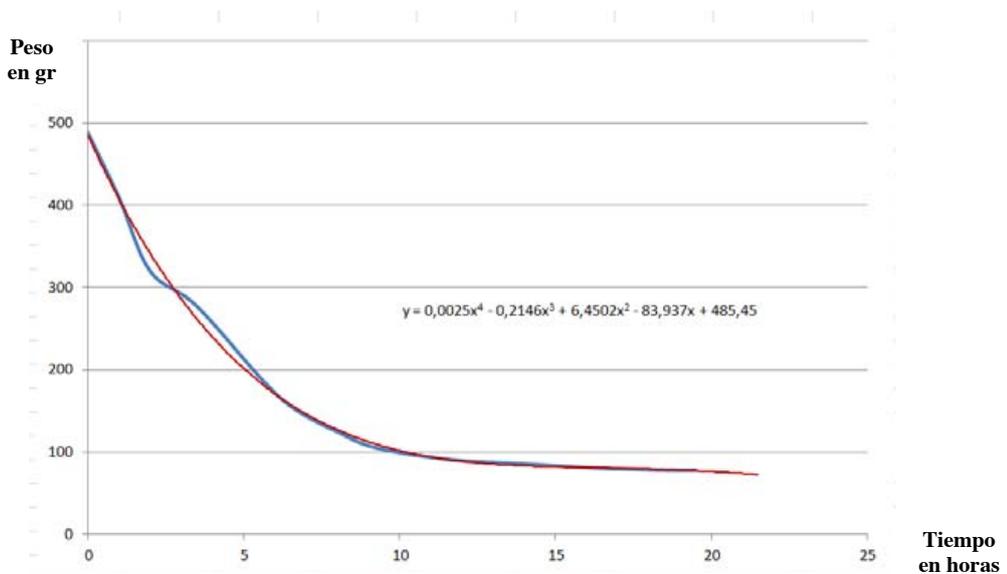


Figura 85. Gráfica de deshidratación en junio de 2013 de manzana, con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 4

mente en un 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. A medida que avanza el proceso queda menos agua y debe atravesar más sección del alimento antes de llegar a su superficie. Estas circunstancias se reflejan en los datos medidos y en las gráficas que hemos visto en las páginas precedentes.

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

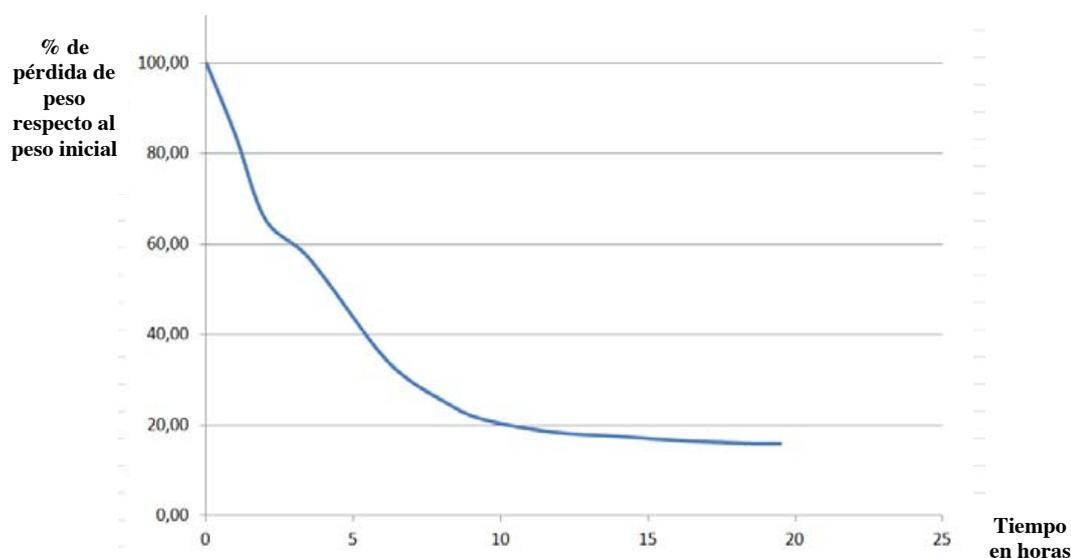


Figura 86. Deshidratación en junio de 2013 de manzana, gráfica del porcentaje de pérdida de peso respecto al peso inicial

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 86*. Tiene una forma similar a la de la gráfica de pérdida de peso que hemos visto en la *figura 81*. 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 87*. Como ya veíamos en la última columna de la *tabla 8*, la tendencia no es uniforme y tiene cambios bruscos.

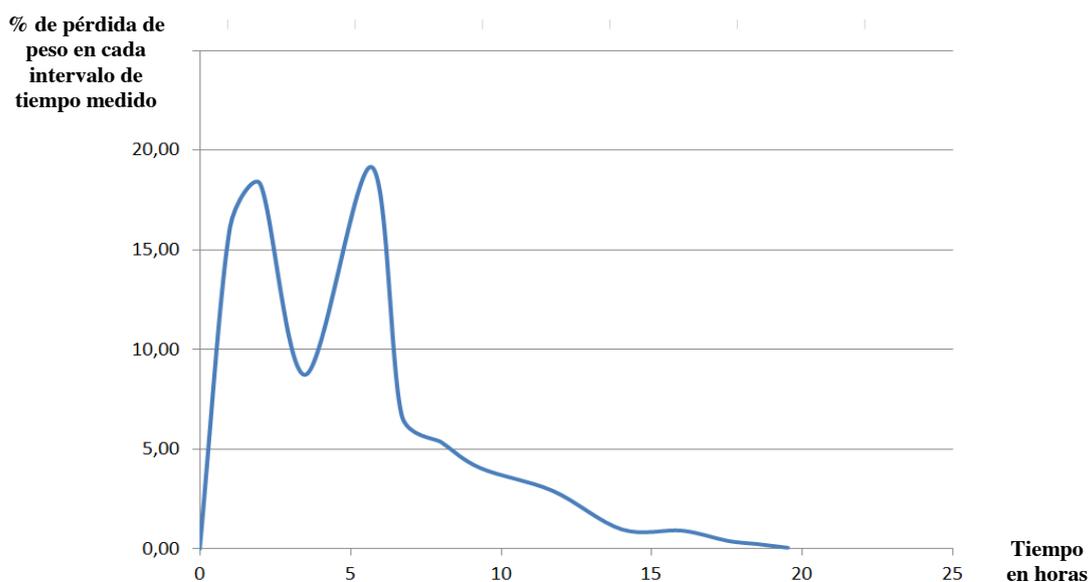


Figura 87. Deshidratación en junio de 2013 de manzana, gráfica del porcentaje de pérdida de peso en cada intervalo de tiempo medido

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 los mejores valores de temperatura 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 intervalo en el que se produjo el descenso, 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 tratado. 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 cuando 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 tres 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

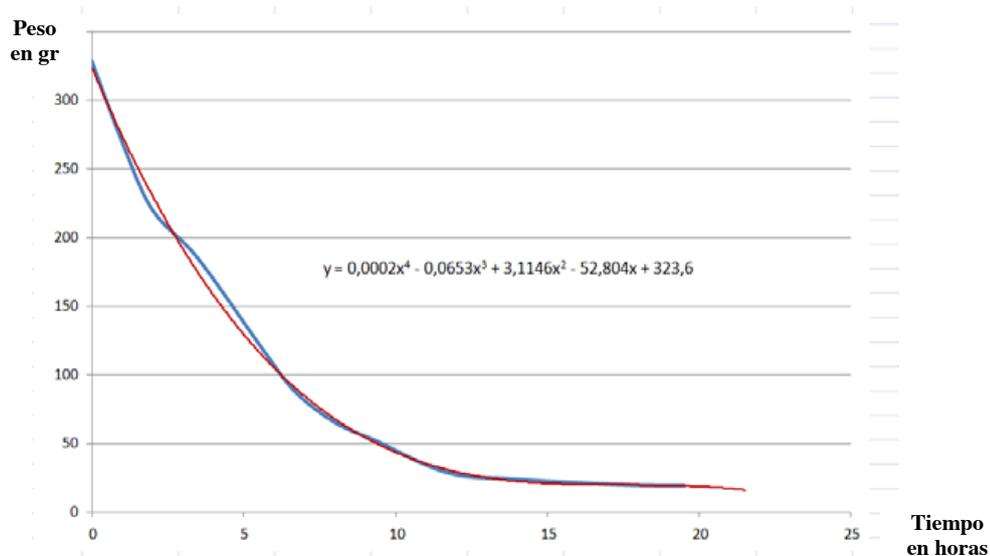


Figura 88. Gráfica de deshidratación de pepino en junio de 2013 con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 4

La gráfica de la *figura 88* 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 89* 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

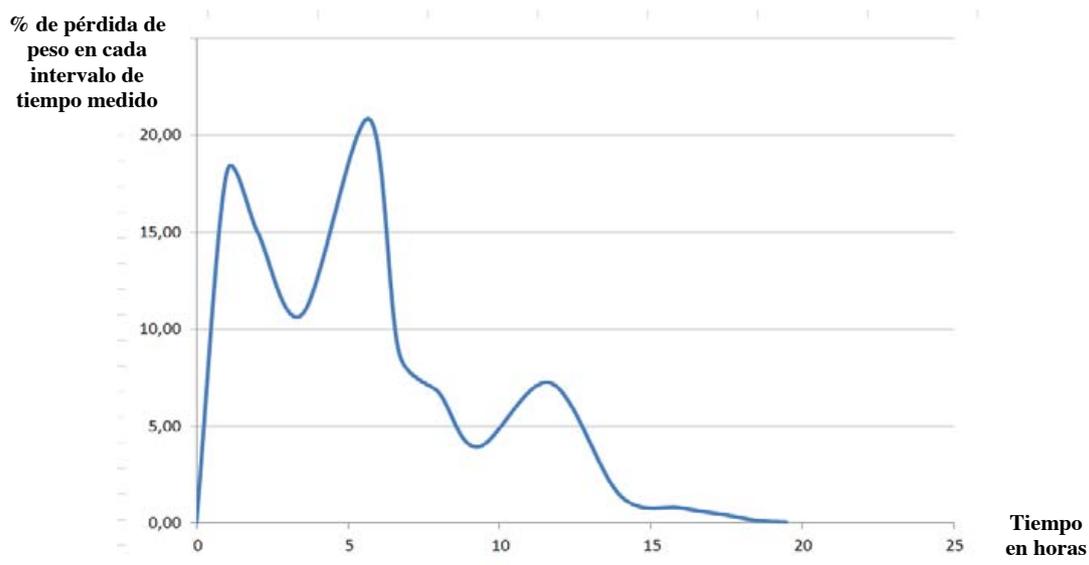


Figura 89. Deshidratación en junio de 2013 de pepino, gráfica del porcentaje de pérdida de peso en cada intervalo de tiempo medido

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 88* se puede ver como 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 solo 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 puede ver en la *figura 79*. En la *tabla 10* se encuentran los datos medidos, así como los valores de disminución de peso calcula-

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

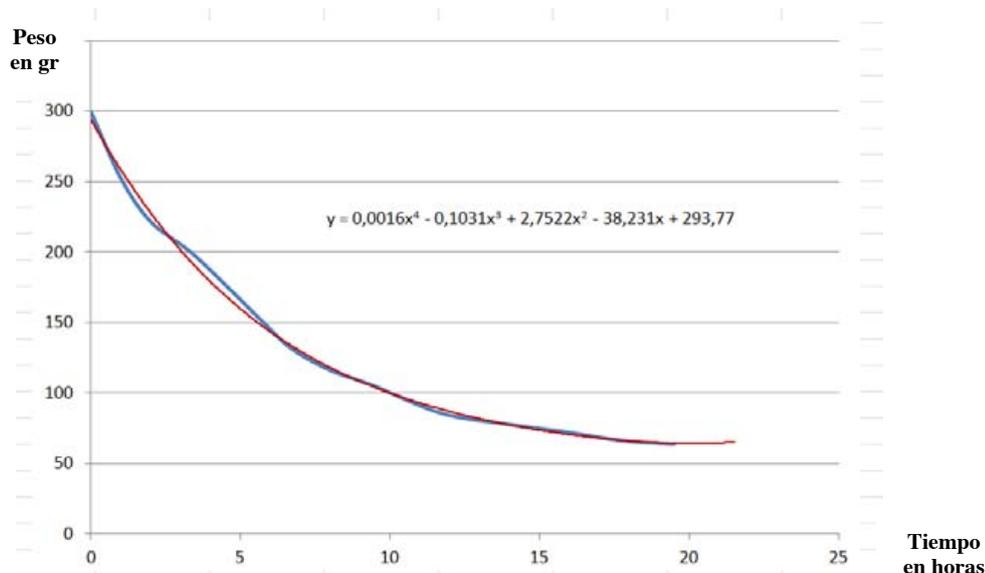


Figura 90. Gráfica de deshidratación de kiwi en junio de 2013 con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 4

dos. El 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 90* 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 más, para extraer más agua libre

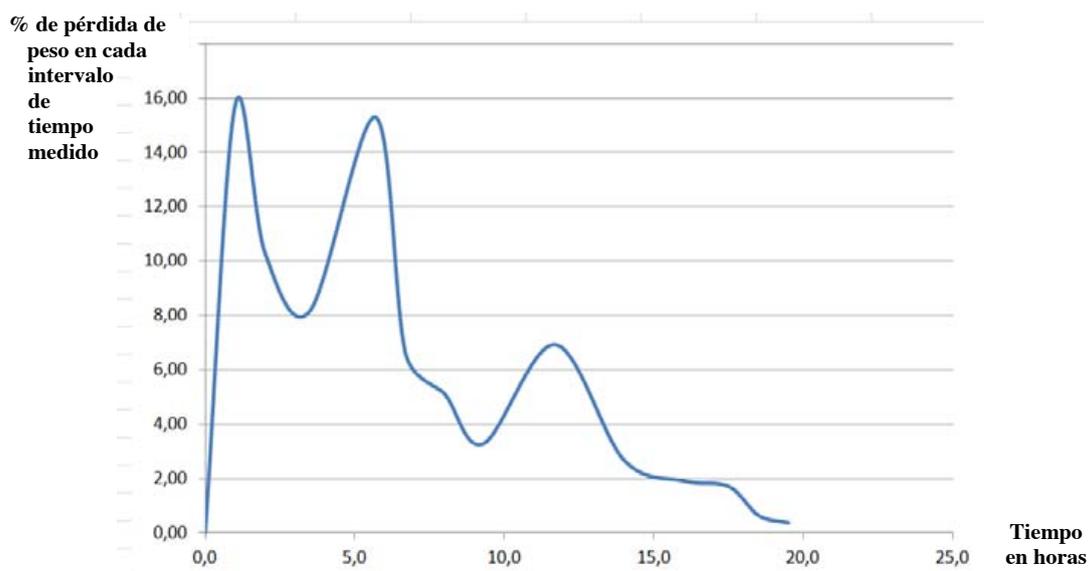


Figura 91. Deshidratación en junio de 2013 de kiwi, gráfica del porcentaje de pérdida de peso en cada intervalo de tiempo medido

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 91* 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, el último alimento 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 79*. 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

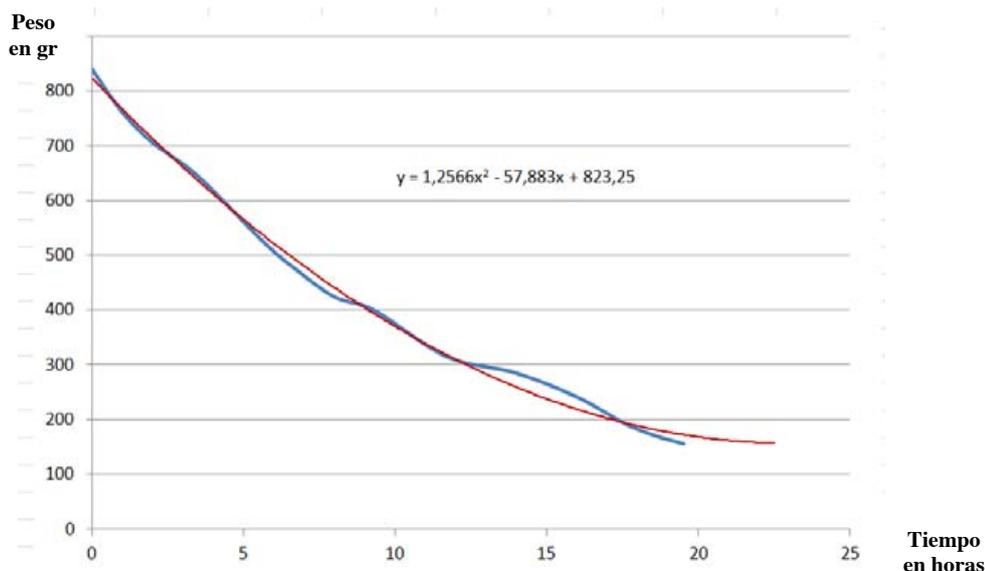


Figura 92. Gráfica de deshidratación de tomate en junio de 2013 con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 2

La figura 92 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 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. La figura 93 muestra la gráfica de pérdida de peso porcentual, que tiene tendencias similares a las anteriores, aunque no sigue pautas tan parecidas como las que mantenían las de la manzana, el kiwi y el pepino.

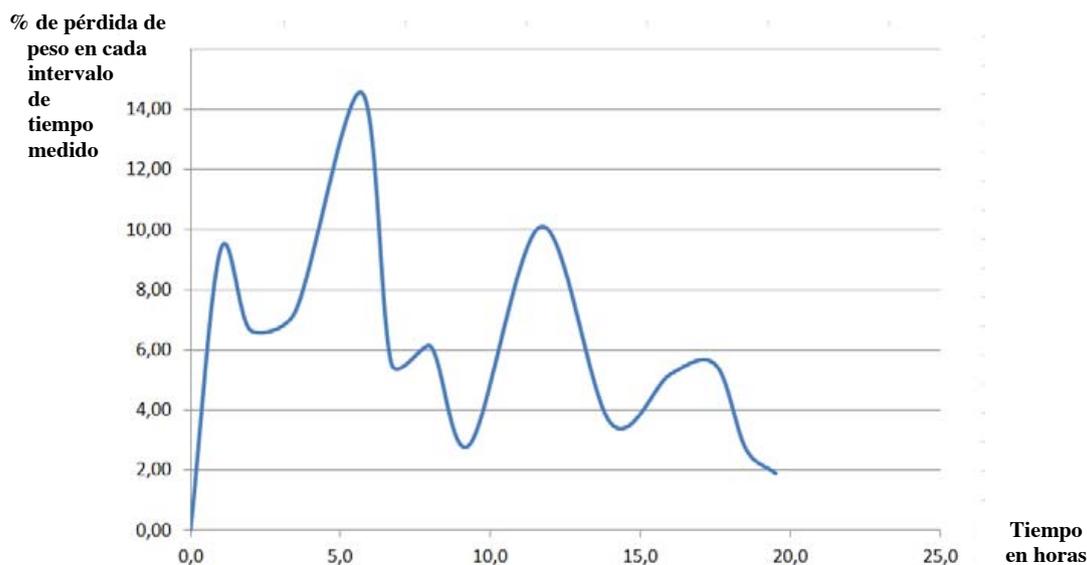


Figura 93. Deshidratación en junio de 2013 de tomate, gráfica del porcentaje de pérdida de peso en cada intervalo de tiempo medido

El proceso de secado de tomate no se llegó a completar, tal como nos dice la gráfica de la *figura 92*. Los últimos datos no llegan a ser asintóticos con la horizontal. Esto fue debido a que el tomate lo mantuvimos con su piel, que dificulta la transferencia del agua. También el hecho de cortarlo en cuñas hizo que fuese más difícil la transmisión del agua desde la parte interna del tomate hacia el exterior, por lo que hubiera necesitado más horas de secado que la manzana, el kiwi y el pepino. 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. Se troceó en láminas pequeñas, dado el formato de la propia fruta, 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 tomate en junio de 2013
porcentajes de peso perdido y peso restante en el alimento*

Medidas realizadas

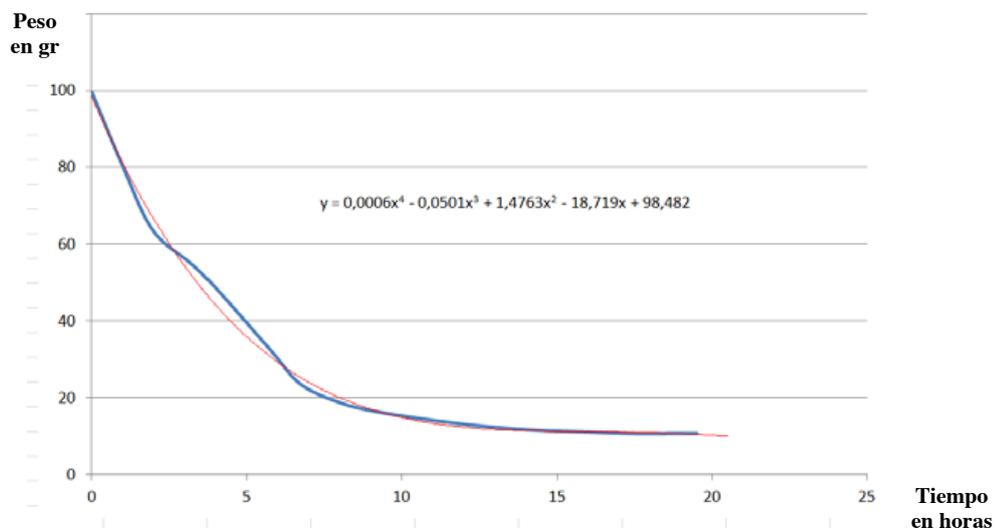


Figura 94. Gráfica de deshidratación de ciruela en junio de 2013 con ajuste de una línea de tendencia polinómica de grado 4

gráfica se muestra en la *figura 94*. 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 95* muestra la gráfica de pérdida de peso porcentual, que tiene tendencias similares a las anteriores, siguiendo las pautas que mantenían las de la

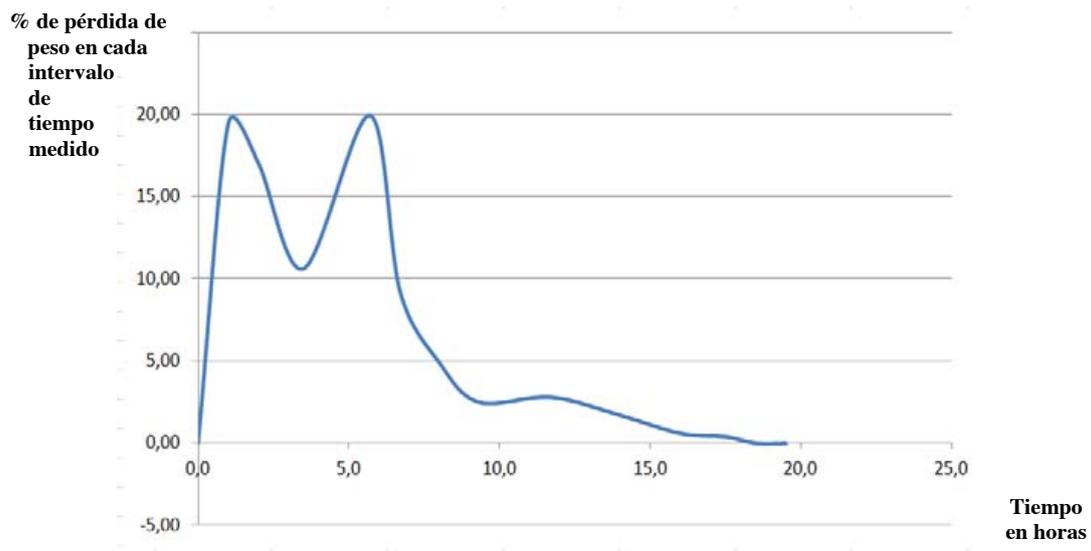


Figura 95. Deshidratación en junio de 2013 de ciruela, gráfica del porcentaje de pérdida de peso en cada intervalo de tiempo medido

manzana, el kiwi y el pepino y alejándose un poco de la que hemos visto para el tomate. En este sentido la forma vista para el tomate en la figura 93, 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 de 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, de forma que si está al final repercute menos.

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 96*. 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 96* se puede ver el aspecto de la bandeja que contiene el plátano y la ciruela al comienzo y al final del proceso. El plátano el 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 un tamaño



Figura 96. Bandeja con plátano y ciruela, deshidratados en junio de 2013

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

En las *figura 97, 98, 99, 100, 101 y 102* se ofrecen seis imágenes con vistas 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 izquierda.

En la *figura 97* se ofrece la evolución del proceso de secado de la manzana. Al comienzo del proceso se puede apreciar como posee un color más claro y las láminas mantienen su corte recto. Cuando va avanzando el proceso la manzana se oscurece 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 98* vemos seis imágenes de la evolución del proceso de secado del pepino. 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 99* tenemos la evolución del kiwi. Sigue pautas similares en lo que se refiere al color, oscureciéndose. Los cortes mantienen bien su forma original, aunque reduciendo su tamaño.

La evolución del tomate se puede ver en la *figura 100*. No se aprecian cambios significativos en el color. Si se puede ver 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 aprecia en la última fotografía y habíamos visto anteriormente en 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 101*. Los cambios de tamaño y color son visibles en las fotografías y quedan más evidenciados cuando se mira la primera y la última, en la que 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 102*, en la que de nuevo observamos el proceso de cambio de color en las muestras. Como en los casos anteriores se va oscureciendo y el tamaño de las muestras disminuye, cuestión que de nuevo podemos ver por como se visualiza la rejilla de la bandeja, al haber aumentado el tamaño de la fotografía para que se observe mejor el alimento.



Figura 97. Evolución del aspecto de la manzana desde el comienzo hasta el final del proceso de secado

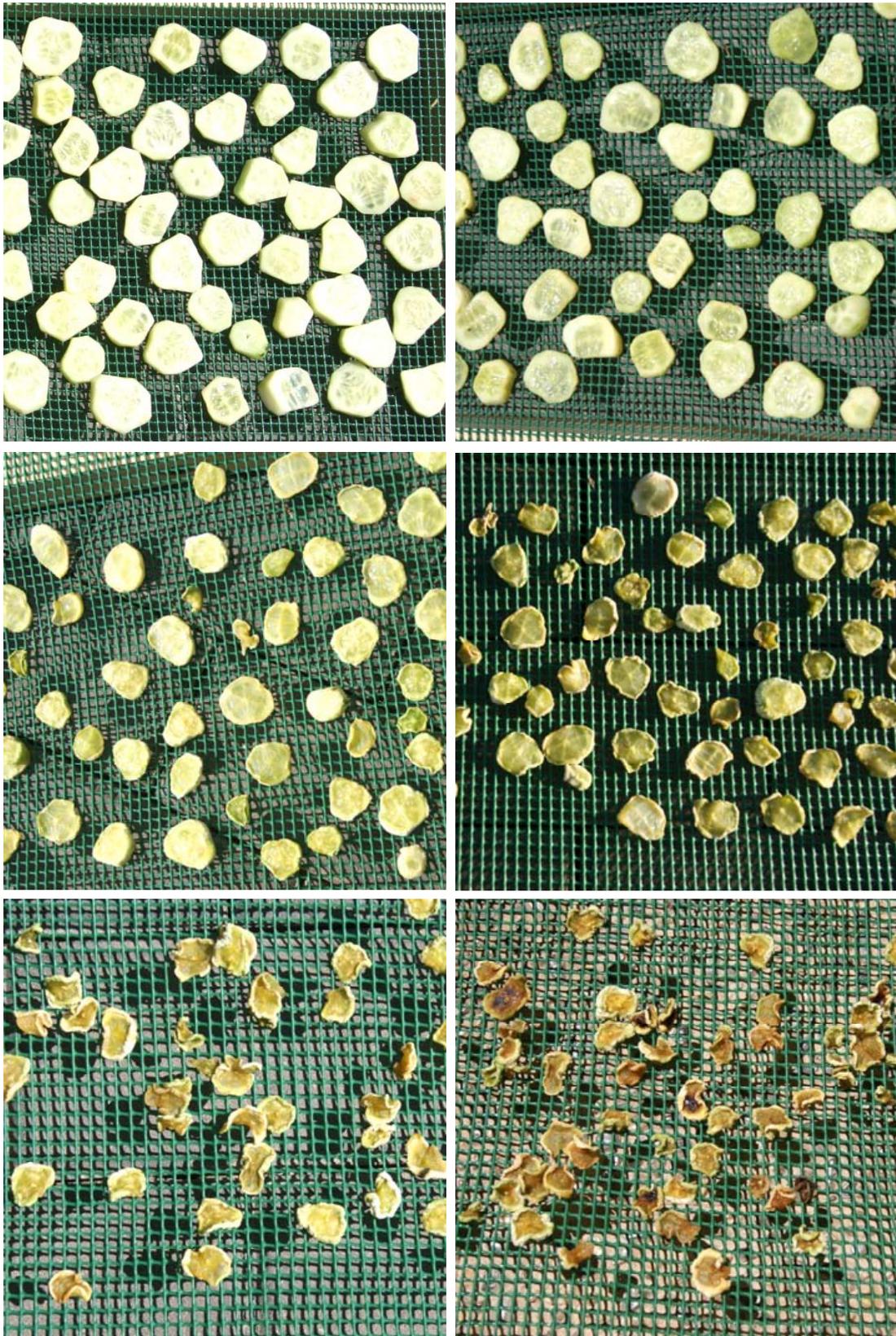


Figura 98. Evolución del aspecto del pepino desde el comienzo hasta el final del proceso de secado

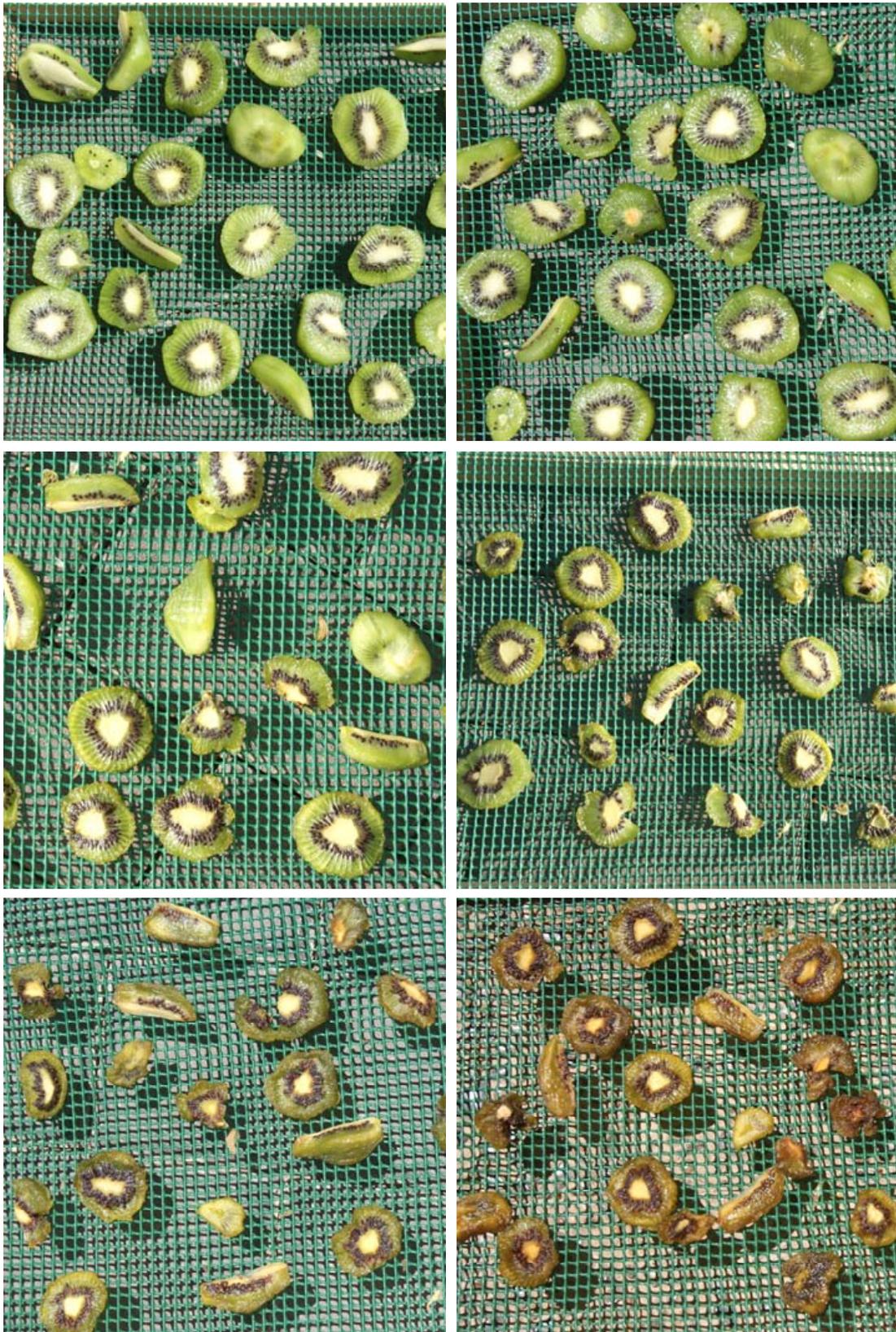


Figura 99. Evolución del aspecto del kiwi desde el comienzo hasta el final del proceso de secado



Figura 100. Evolución del aspecto del tomate desde el comienzo hasta el final del proceso de secado

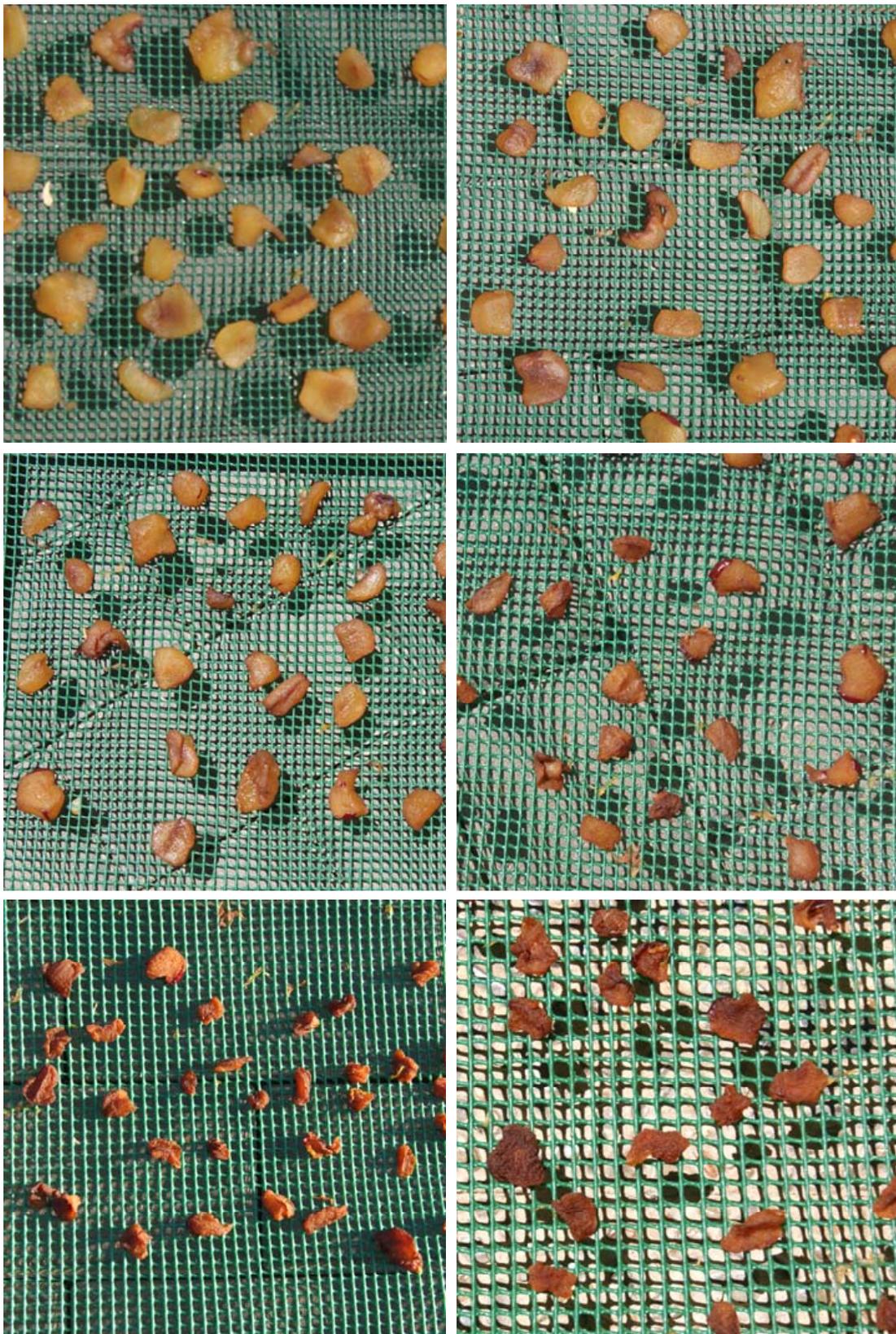


Figura 101. Evolución del aspecto de la ciruela desde el comienzo hasta el final del proceso de secado

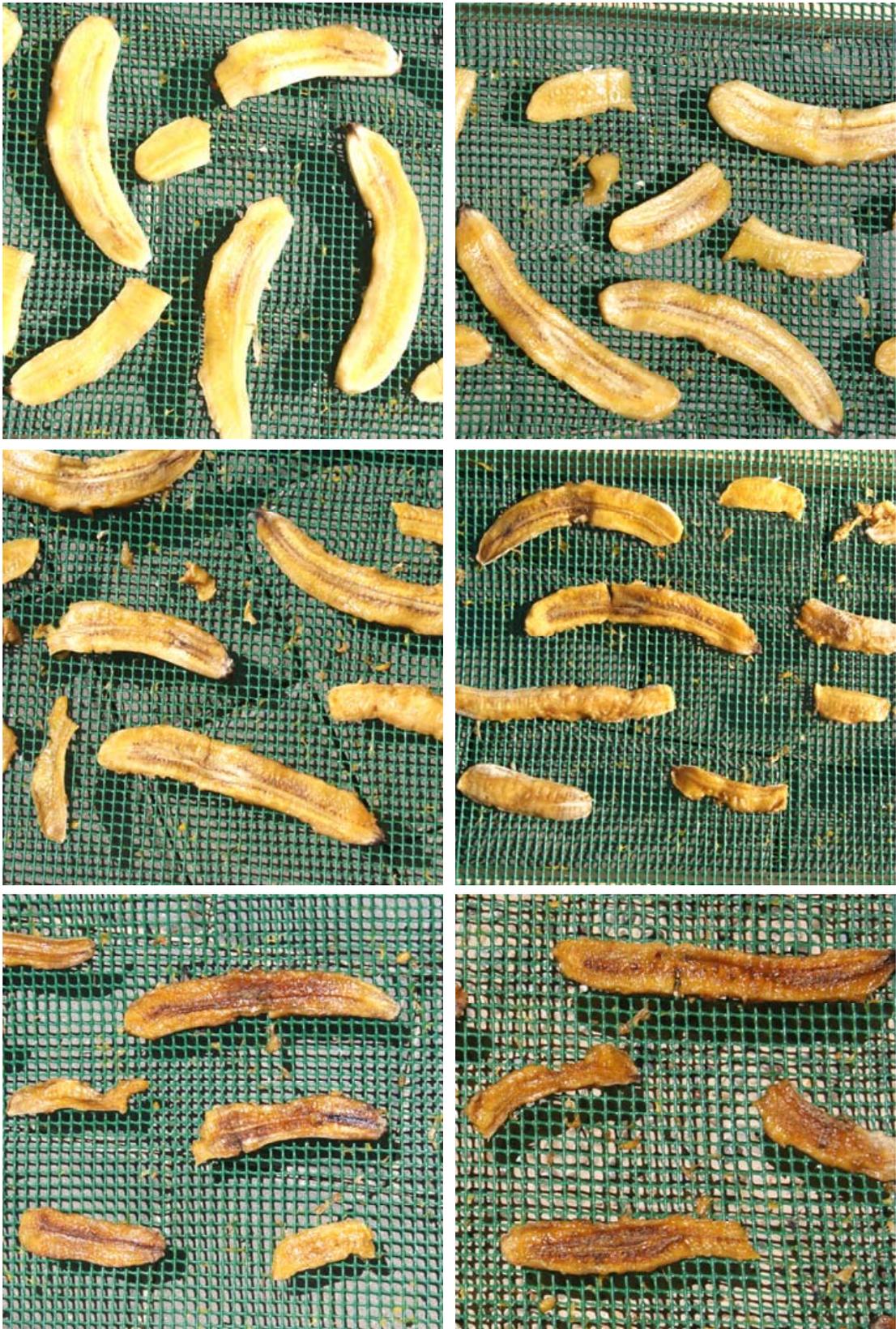


Figura 102. Evolución del aspecto del plátano desde el comienzo hasta el final del proceso de secado

6. Implantación del deshidratador en Burkina Faso.

Como se ha comentado en el punto 3.12 el diseño de este 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 profesores y tienen como destino alumnos interesados en este ámbito. El programa se llama Meridies y dentro del mismo se ha dispuesto desde 2013 de cuatro alumnos y para 2017 se enviará un alumno adicional a Burkina Faso.

6.1. Primera fase en 2013.

En diciembre de 2013 el alumno Ivan Lozano Marco se desplazó a Burkina Faso, con una agenda de actividades relacionada con la mejora de la situación de la alimentación 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... 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 este dato, 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 obtener datos de necesidades de la APFG y de las aldeas, 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 sobre su funcionamiento.

Además, era necesario conocer 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 103. 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 la 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 del tipo que se puede ver en la *figura 103*. 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 arboles para utilizarlos como leña en el ámbito domestico (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 respuesta dos respuestas significativas:



Figura 104. Cocinas solares abandonadas en Burkina Faso

- 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 encontró, de las que hemos incluido dos en la *figura 104*, que muestran el estado de abandono en el que se encuentran. Evidentemente, no queríamos que pasase algo similar con el deshidratador solar, por lo que adoptamos una posición conservadora, dejando en principio para 2014 su implantación.

Aunque esta era nuestra intención inicial no pudo realizarse así. Iván había realizado en octubre de 2013 una experiencia de un día en deshidratación con nuestro equipo en la UPV. 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 que manera podíamos preparar un primer equipo en Burkina Faso que quedase en manos de la APF. También comenzó a preparar dos 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 email, teniendo que ir res-



Figura 105. Transparencia del seminario impartido en Burkina Faso sobre el manejo del deshidratador de alimentos y la preparación de los mismos

pondiendo a todas las cuestiones que iban surgiendo mientras nuestro alumno 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.

- Una pregunta recurrente tiene que ver con la cantidad de alimento que se puede deshidratar en cada operación. Nosotros hemos estado deshidratando entre 2,5 y 3,5 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.

- 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 106. Proceso de construcción del primer deshidratador solar en Burkina Faso

- 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 no son completamente uniformes para cada bandeja y en cada espacio de la bandeja. Esto no perjudica al secado de cada uno de los fragmentos de alimento que tenemos en las bandejas.

- 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. 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.

Esto 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 sacado los alimentos de las bandejas para medir y al volverlos a colocar nunca se han situado en el mismo punto en el que estaban antes.

- 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



Figura 107. Primer deshidratador con las bandejas montadas y operarios trabajando sobre las bandejas de un segundo deshidratador

la bandeja, dejando mayor espacio en los laterales y más separación entre ellos del que tenían al principio, para facilitar el paso del aire.

- 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.

- 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 temperatura 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.

- 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 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



Figura 108. Proceso de colocación del plástico sobre la estructura del colector y equipo completamente terminado

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.

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

Una vez concluida la construcción de los dos primeros equipos era el momento de comenzar a deshidratar, para que las mujeres de la APFG trabajasen directamente con el deshidratador y comprobasen su funcionamiento.

En esos momentos no tenían excedentes de frutas y verduras para poder secarlas, por lo que hubo 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 este dato contribuir 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 *figura 109* se puede ver como estaban cortando los alimentos y depositándolos sobre ellas. En este caso no cabe ningún proceso de pesado previo, puesto que no se van a obtener las curvas de pérdida de peso, sino que se va a realizar solo su deshidratación y posterior conservación.

En la línea de lo comentado en el apartado 6.2 se puede observar que la rejilla de las bandejas es demasiado grande, lo que puede provocar que alguno de los alimentos se caiga cuando disminuya su tamaño al ir perdiendo agua.



Figura 109. Proceso de cortado y colocación en las bandejas de los alimentos

En la *figura 110* 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 encogiéndose y pierdan el brillo natural que tienen cuando se cortan en rodajas, debido a la humedad superficial que queda sobre ellas.

Podemos observar cómo la rejilla de cierre trasera tiene un grosor demasiado grande, tal como ocurriría en las bandejas, dado que se trata del mismo tipo



Figura 110. Vista de los deshidratadores cargados de alimentos

de malla. No impedirá la libre circulación del aire, pero no es adecuada para evitar que entren insectos o pequeños animales. Como se ha comentado antes se puede recubrir con algún tipo de mosquitera o buscar un tipo de malla de menor grosor.

En la *figura 111* 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 le han dejado puesta la piel y el proceso de secado ha ido a distinta velocidad en la piel y en la parte carnosa del alimento. La banana y la papaya



Figura 111. Vista de los alimentos en el interior del deshidratador



Figura 112. Higrómetros para medir la actividad del agua

mantienen mejor su forma original. Para todas ellas queda por definir cuando se ha completado el proceso de secado. Para poder saberlo con seguridad se debe medir la actividad del agua. Cuando esté por debajo del 60 % el alimento se conservará en buenas condiciones durante meses.

Una forma sencilla de hacer esta medición es utilizando un higrómetro, como los que se ven en *la figura 112*. Se introduce el alimento seco en una bolsa, junto a un higrómetro, tal como se ve en *la figura 113*. Se cierra la bolsa de la forma más hermética posible y se deja el tiempo necesario hasta que se estabilice la medida. La humedad que marca el higrómetro es la actividad del agua. Si

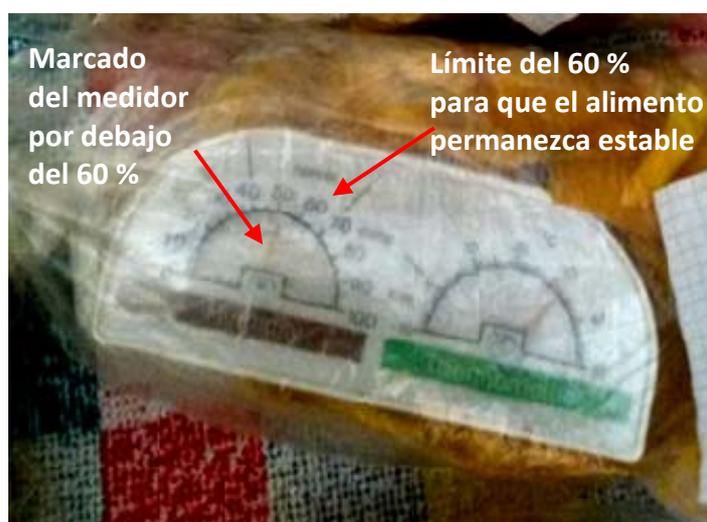


Figura 113. Utilización de higrómetros para medir la actividad del agua

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 *figura 112* 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 de plástico, muy barato y mide la temperatura y la humedad. Podría parecer que no se puede utilizar para realizar este tipo de medidas, sin embargo el profesor Daniel Vidal nos comentó que tienen más precisión de la que puede indicar su aspecto y su bajo coste.

En la UPV lo hemos utilizado para comprobar la actividad del agua, buscando hacer la medida en unas condiciones similares a las que tienen en Burkina Faso a la hora de obtener la actividad del agua. En alimentos en los que marcaba ligeramente por debajo del 60 % hemos hecho un seguimiento de diez semanas en la evolución del alimento, comprobando que permanecía estable y sin señales de deterioro.

Este es un aspecto en el trabajamos en la actualidad, para encontrar un procedimiento fácil y barato para saber cuándo se ha completado la deshidratación. En muchas ocasiones es el aspecto del producto y la experiencia acumulada por las personas que realizan la operación de secado lo que se utiliza como orientación para saber cuando detener el proceso, aunque ante esta opción es preferible utilizar un higrómetro aunque sea de poca precisión. Nosotros estamos estudiando la relación entre la pérdida de peso del alimento respecto al peso inicial y la actividad del agua, buscando qué nivel de pérdida de peso hace que estemos por debajo del 60 % de actividad del agua.

No tenemos datos concluyentes, pero hemos obtenido valores inferiores al 60 % para la actividad del agua con niveles superiores al 10 % del peso inicial, que se suele dar como referencia para garantizar que estamos con una actividad del agua menor del 60 %. Sí que estamos comprobando que depende del tipo de alimento, de la variedad y del estado de maduración, pero esperamos encontrar valores de referencia aceptables para cada tipo de fruta u hortaliza.

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 esta que no recomendamos, puesto que como se ha comentado mientras estamos secando los microorganismos mantienen su actividad.

En la *figura 114* se pueden ver dos fotografías de alimentos deshidratados y metidos en bolsas cerradas para su conservación. En el grupo de la fotografía de arriba la mayor parte de las bolsas no se han cerrado. Probablemente en el momento en 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 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.



Figura 114. Alimentos envasados una vez deshidratados

6.4. Problemas planteados en el deshidratador de Burkina Faso.

Concluidas las primeras tandas de secado se plantearon algunos pequeños problemas sobre los que no habíamos pensado en nuestros ensayos realizados en la UPV.

El primero de ellos se produce con el velcro, que se adhiere a la madera y al plástico mediante el adhesivo que lleva el propio velcro. En Valencia no tuvimos problemas con él, pero en Burkina Faso la temperatura es más elevada y el calor hacía que se perdiese la adherencia y que finalmente se despegase el velcro de la madera y el plástico.

Una opción para resolver el problema es clavar con grapas el velcro a la madera para que esté sujeto y no dependa del pegamento. También se puede grapar al plástico, aunque habría que reforzarlo 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.

Finalmente se optó por una puerta trasera con bisagras, en forma de marco cerrado con plástico, tal como se ve en la *figura 115*. 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 que fue 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



Figura 115. Puerta trasera sustituyendo al cierre con velcro

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 deteriorará 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 secados, 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 pueden emplear dos bolsas, una conteniendo a la otra.

La tercera cuestión que se planteó tiene que ver con la entrada del aire por la parte frontal del colector solar. En los ensayos en la UPV había momentos en los que se levantaba aire, pero no tenía una transcendencia mayor de cara a la posibilidad de que pudiese entrar por la parte frontal algún elemento arrastrado por el aire. En Burkina Faso no tienen calles asfaltadas ni pavimento, el suelo es tierra y cuando el aire se mueve arrastra tierra y 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.

Una primera solución consistía en utilizar mosquitera acoplada a la rejilla, o incluso sustituyéndola directamente, tal como se puede ver en la *figura 116*. 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 superpuesta a la fotografía. Consiste en hacer una doble cámara para la entrada del aire, de manera que tenga que hacer un recorrido en zigzag, por lo que los elementos que puedan entrar quedan atrapados en la primera cámara.

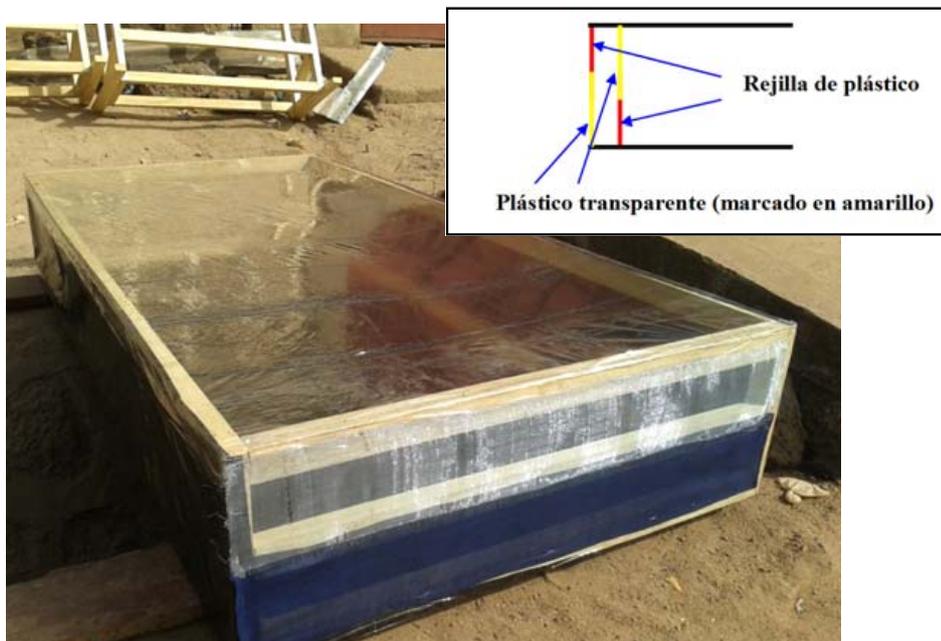


Figura 116. Mosquitera colocada en la parte frontal del colector para evitar la entrada de arena o materiales arrastrados por el aire

6.5. Segunda fase en 2015.

Tras resolver los problemas detectados se procedió a construir tres deshidratadores adicionales, para dejar cinco en funcionamiento y comprobar el grado de uso y conservación cuando enviásemos al siguiente alumno. El coste final de cada uno de los equipos fue de 60.000 francos CFA, aproximadamente 90 euros, un coste ligeramente superior al del primer equipo, que al no llevar puertas traseras tenía un coste de 45.000 francos CFA, unos 67,5 euros.

Cinco mujeres quedaron encargadas de seguir secando frutas y verduras, cuando nuestro alumno regresase a España, y mantener un contacto con nosotros para saber el grado de aceptación de los equipos y su nivel de utilización. De esta manera fuimos haciendo un seguimiento con el fin de establecer mejoras que pudiese aplicar el segundo alumno que enviamos, David Manuel López Fernández, que estuvo en Burkina Faso entre enero y mayo de 2015.

En relación con los deshidratadores la primera misión que tenía era comprobar el estado en el que se encontraban, que se puede ver en las *figura 117* y *118*. Algunos plásticos estaban rotos y varias cintas de sellado se habían despegado. Además estaban almacenados en un lugar en el que habían acumulado mucho polvo.



Figura 117. Estado de los deshidratadores en Burkina Faso en enero de 2015



Figura 118. Estado de los deshidratadores en Burkina Faso en enero de 2015

Reparó los deshidratadores y comenzó a realizar pruebas de secado, con alimentos como papaya, mango, jengibre, plátano, tomate, cebolla, pimiento, pepino, berenjena o calabacín. Continuó la formación de las mujeres, insistiendo en que los productos debían cortarse en rodajas finas, aunque se puede ver en las fotografías de las *figuras 119 y 120* que 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.



Figura 119. Bandeja con cebolla para deshidratar en Burkina Faso enero de 2015



Figura 120. Bandeja con pimiento para deshidratar en Burkina Faso enero de 2015

También llevó más higrómetros analógicos y los calibró de forma sencilla para que las mujeres de la APFG supiesen cómo realizar el proceso. Una disolución saturada de cloruro sódico (la sal corriente que utilizamos en nuestras casas saturada de agua) colocada en un lugar cerrado alcanza el equilibrio con un valor del 75,5 %. Para llegar a este valor hay que dejar el equipo en la bolsa durante varias horas, hasta comprobar que la aguja no se mueve más, tal como se ve en la *figura 121*. Debe hacerse a una temperatura de 25 °C. Dado que no se dispone de un lugar de temperatura controlada, el proceso se realizaba por la mañana, a las horas en la que la temperatura ambiente estaba en valores en torno a este valor.

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, por lo que puede servir para disponer de un higrómetro básico de muy



Figura 121. Calibración de un punto de higrómetros de bajo coste realizada en Burkina Faso enero de 2015



Figura 122. Bandeja con pimiento para deshidratar en Burkina Faso enero de 2015

bajo coste, solo tres euros. Una vez estabilizado el aparato de medida, se anota el valor que indica y se ve la diferencia con respecto al 75,5 % que debería marcar. Se saca de la bolsa y se rectifica el valor con el tornillo de calibración que posee el propio higrometro. Insistimos aquí de nuevo que estamos trabajando siempre sobre la base de construir un equipo fácil de usar y de bajo coste.

Los higrometros calibrados se usaron tanto dentro del deshidratador como en las bolsas con los alimentos deshidratados, tal como se puede ver en las fotografías de la *figura 122*, para comprobar que la actividad del agua estaba por debajo del 60 % ya citado.

En las fotografías de las *figura 123* se pueden ver bandejas preparadas e introducidas en el deshidratador, para el secado de papaya, mango, jengibre, tomate y otros alimentos, que se deshidrataron en febrero de 2015. El proceso tuvo lugar sin incidencias significativas, consiguiendo llegar al secado total de los alimentos en un día y medio, a pesar del notable grosor de buena parte de las rodajas.

Solo el tomate tuvo problemas, puesto que tardó más tiempo en secarse y tuvo que dejarse más tiempo en el deshidratador, pero la meteorología cambió. El cielo apareció nublado y aumentó la humedad contenida en el aire, haciendo que el proceso de secado se detuviese. Esto llevo a que el tomate acabase deteriorándose, contaminándose por el desarrollo de los microorganismos.

En las fotografías de la *figura 124* se pueden ver los deshidratadores con las bandejas introducidas en ellos preparados para el secado de los alimentos, en las instalaciones de la APFG en Gaoua, Burkina Faso, en febrero de 2015.



Figura 123. Alimentos preparados para iniciar el proceso de deshidratación en las instalaciones de la APFG en Gaoua (Burkina Faso) en febrero de 2015



Figura 124. Alimentos introducidos en los deshidratadores durante el proceso de secado, en Burkina Faso en febrero de 2015



Figura 125. Incorporación de ruedas a los deshidratadores de Burkina Faso

En esta fase del trabajo en Burkina Faso, en febrero de 2015, también se mejoraron los deshidratadores proporcionándoles ruedas. El traslado del equipo en la UPV es fácil, sea con un pequeño 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, tal como se puede ver en la *figura 125*. También se construyeron dos equipos adicionales, dejando a la APFG con un total de siete unidades, con las que poder atender las necesidades de las aldeas con las que trabajan.

Un último trabajo al que estuvo dedicado David fue la comprobación del funcionamiento de un prototipo de horno solar, en el que estamos trabajando en la UPV. En Valencia conseguimos superar los 100 °C, con un primer equipo construido en cartón. En Burkina llegó a alcanzar los 140 °C. En la *figura 126* se puede ver el prototipo construido en Burkina.



Figura 126. Prototipo de horno solar construido en cartón y probado en Burkina Faso

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 noroeste 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 Gagoua para comprobar la situación de los deshidratadores y de otros datos necesarios para otros trabajos de cooperación que venimos desarrollando.

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 ya nos había planteado el carpintero en 2015 a través de David y que 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 que surge de esta experiencia es la necesidad de proteger el equipo con un tratamiento anti termitas.

Javier también recibió algunas sugerencias de las mujeres de la asociación. Nos pedían que preparásemos un equipo de mayor tamaño, que tuviese una capacidad mucho mayor. También querían que no precisase desplazamientos, ellas disponen de espacio para poder tener un equipo de mayor tamaño, que pueda procesar 30-40 kg de alimento en cada tanda y que esté fijo todo el año. Debería ser más robusto, puesto que en la época de lluvias no se va a utilizar y debe mantenerse intacto. Es una línea de diseño diferente a la actual, puesto que no está destinada al ámbito familiar. Estamos trabajando en ella ahora, aunque siguiendo pautas similares a las que hemos desarrollado en el deshidratador solar indirecto objeto de este trabajo.

Los equipos estaban guardados y sin usarse, aunque mantenían un buen estado de conservación. Desde la dirección de la APFG le transmitieron la idea de que necesitan rentabilizar más el trabajo de deshidratación, 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.

A pesar de ello, 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 *figura 127* se pueden ver algunos de los procesos que llevó a cabo en enero y febrero de 2016.



Figura 127. Preparación del producto y deshidratación en Burkina Faso durante febrero de 2016

Constatamos en la estancia de Javier 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 embolsados era menos rentable que otros trabajos que realizan, como campañas de sensibilización en aldeas contra la ablación, que obtienen subvenciones incluso de países europeos.

Sin embargo Javier encontró un gran interés por el deshidratador en una escuela infantil, que tienen incluso pequeños terrenos de cultivo propios. Allí impartió algunas actividades de formación, que se ven en la *figura 128* e incorporó las explicaciones sobre el funcionamiento del deshidratador.



Figura 128. Presentación del deshidratador en una escuela de niños

Trasladó uno de los equipos que estaban en la APFG y con 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 la *figura 129*. Pudo comprobar que en esta escuela mostraban un gran interés por la deshidratación y por el equipo diseñado, puesto que vieron una posibilidad sencilla y real de conservar los posibles excedentes de producción que tenían en sus huertos.

Este hecho nos vuelve a situar ante la cuestión de entender las necesidades de los receptores de nuestro diseño, para que supere esa primera fase de interés y consiga establecerse entre sus rutinas de trabajo y en su vida cotidiana. Será la única manera de dar continuidad a su utilización.



Figura 129. Utilización del deshidratador en la escuela de niños

Por su parte María estuvo a finales de 2016 en Arbolle. Parte de su trabajo se dedicó introducir el tema de la deshidratación de alimentos y las posibilidades que ofrece el deshidratador diseñado en este trabajo. El interés también fue inmediato y las mujeres de las aldeas vinculadas a ASFES asistieron con interés a las clases de formación.

Se construyó un nuevo equipo que se puede ver en la *figura 131* junto a las mujeres que lo habían de utilizar y con los elementos de diseño corregidos a partir de la experiencia previa en Gaoua. Se realizaron tandas de secado y sesiones de formación sobre higiene y preparación de los alimentos, proceso de secado y posterior proceso de conservación, así como de medición de la actividad del agua.

Las mujeres estuvieron deshidratando alimentos y mostraron interés 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. Tendremos que comprobar durante 2017 cómo ha evolucionado el trabajo y los problemas que hayan podido surgir durante este año. En ese sentido, en septiembre de 2017 enviamos a Burkina Faso a Ghana y a Senegal a tres alumnos que, entre otros trabajos, seguirán incidiendo en el tema de la deshidratación de alimentos y de la implantación del equipo diseñado.



Figura 131. Deshidratador construido en Arbolle a finales de 2016

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 ya un primer equipo tuvimos que preparar un primer manual de construcción, a partir de los primeros planos sencillos 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 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.

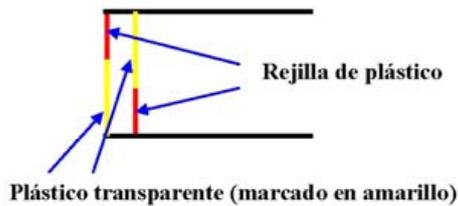
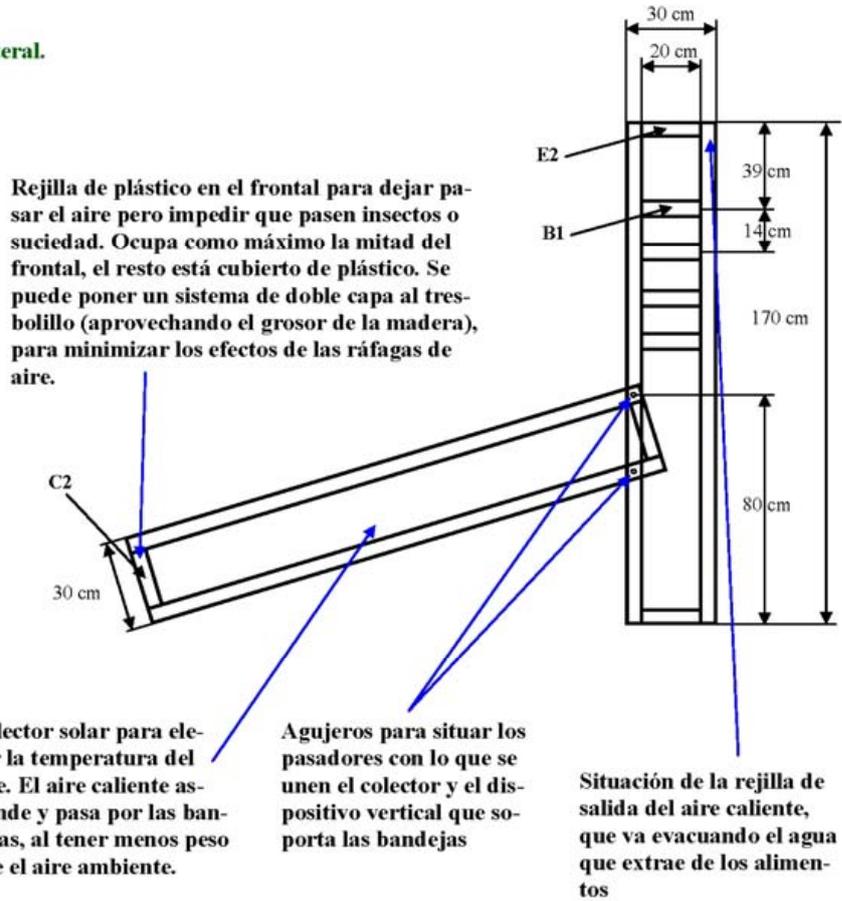
Fruto de ello ha sido la preparación de un manual constructivo básico de nuestro deshidratador. Está hecho en formato A-4 y las 18 páginas que lo forman se recogen en las *figuras 132 a 149*. Las tres primeras páginas muestran vistas de perfil, desde arriba y desde frente, con indicación de las dimensiones 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 con vistas de la fruta al comienzo del proceso y al finalizar el mismo y curvas de pérdida de peso de cuatro alimentos, explicando cuándo se ha producido una deshidratación completa y cuando el proceso de secado no ha quedado completado.

Este manual es fruto de mejoras sucesivas a lo largo de los últimos cuatro años, pero está actualmente en fase de mejora, puesto que queremos ampliarlo añadiendo más información general sobre el secado de alimentos, planos más detallados, formas de medir la actividad del agua o datos de coste del equipo.

Deshidratador de alimentos.

Vista lateral.

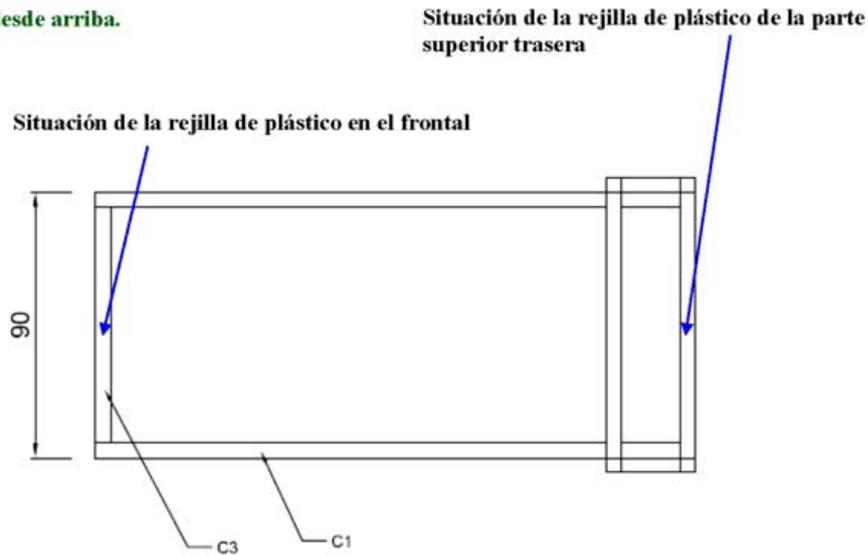


Posible disposición del frontal del colector, al tresbolillo, por el que entra el aire a temperatura ambiente, para calentarse en el interior del colector. También se puede poner una sola capa de rejilla y plástico transparente y poner un cartón o algún otro elemento externo, que minimice los efectos de las ráfagas de aire.

Figura 132. 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 entrara 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:

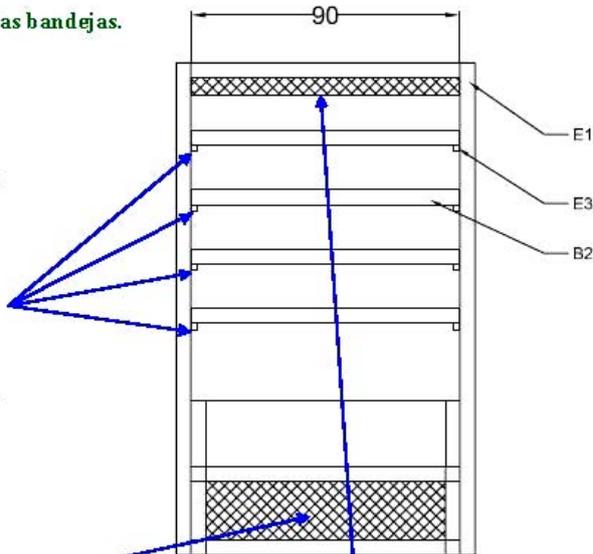
PARTE	Nº	ID	LONGITUD (m)
COLECTOR HORIZONTAL	4	C1	1,8
	4	C2	0,2
	4	C3	0,8
ELEMENTO VERTICAL PARA LAS BANDEJAS	4	E1	1,7
	2	E2	0,2
	12	E3	0,3
BANDEJAS	10	B1	0,9
	2	B2	0,3

Figura 133. 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 134. 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.

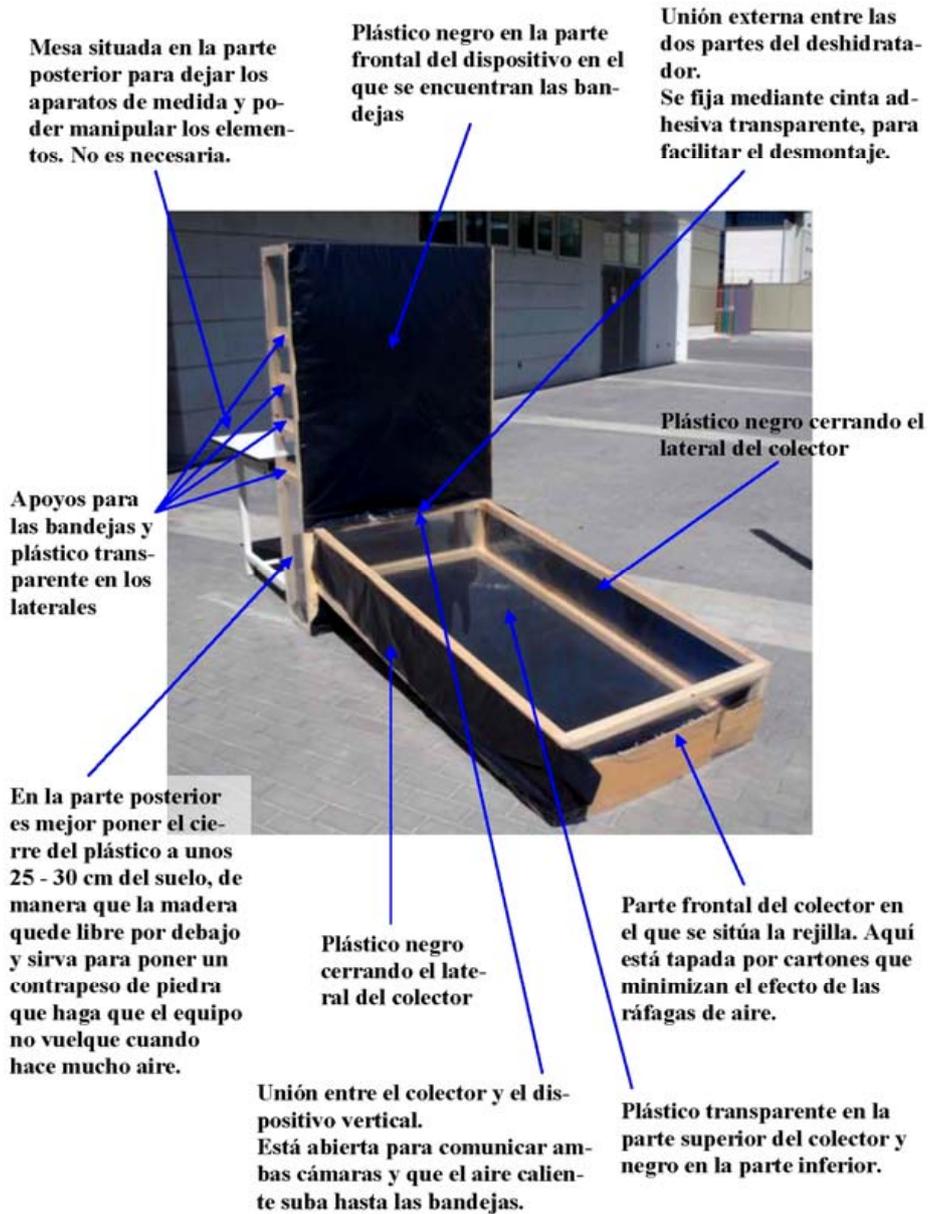


Figura 135. Página 4 del manual con la vista general del deshidratador construido y explicaciones de cada uno de los elementos y partes que lo componen

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.



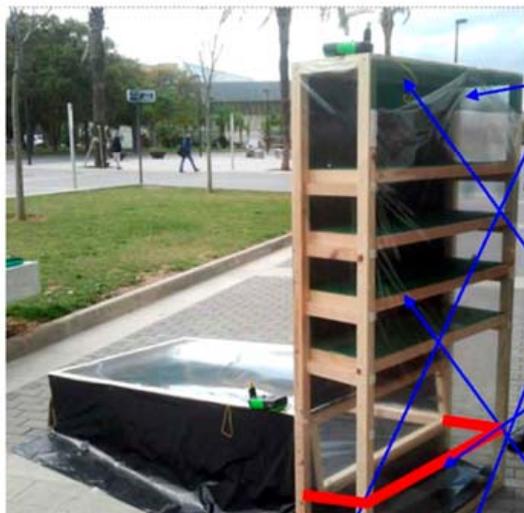
Vista general del equipo montado, en el que se puede ver la mesa posterior que utilizamos para manipular aparatos de medida y elementos de trabajo. El plástico del lateral del colector llega hasta el suelo, pero no es necesario que esté así. Se puede cortar al tamaño del lateral del colector, cerrándose 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 136. 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.



Plástico posterior transparente. Llega hasta la parte superior del equipo. Se fija en los laterales con velcro y arriba con cinta adhesiva en la parte central. Permite regular de forma fácil la salida del aire, dejando más o menos rejilla sin tapar.

Rejilla posterior para la salida del aire.

En rojo: Zona de cierre del plástico posterior

Bandejas



Trozos de velcro para cerrar con el plástico transparente la parte posterior. Son trozos pequeños dispuestos en la madera y en el plástico transparente a la misma altura, para que encajen dejando estirado el plástico transparente posterior. El último es un poco más grande para que se fije mejor.

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 137. 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 138. 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

Figura 139. 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 - Universidad Politécnica de Valencia

Figura 140. 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 141. Página 10 del manual con alimentos envasados para su consumo y con la aplicación de frutas deshidratadas a 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 142. 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 143. 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 144. 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:

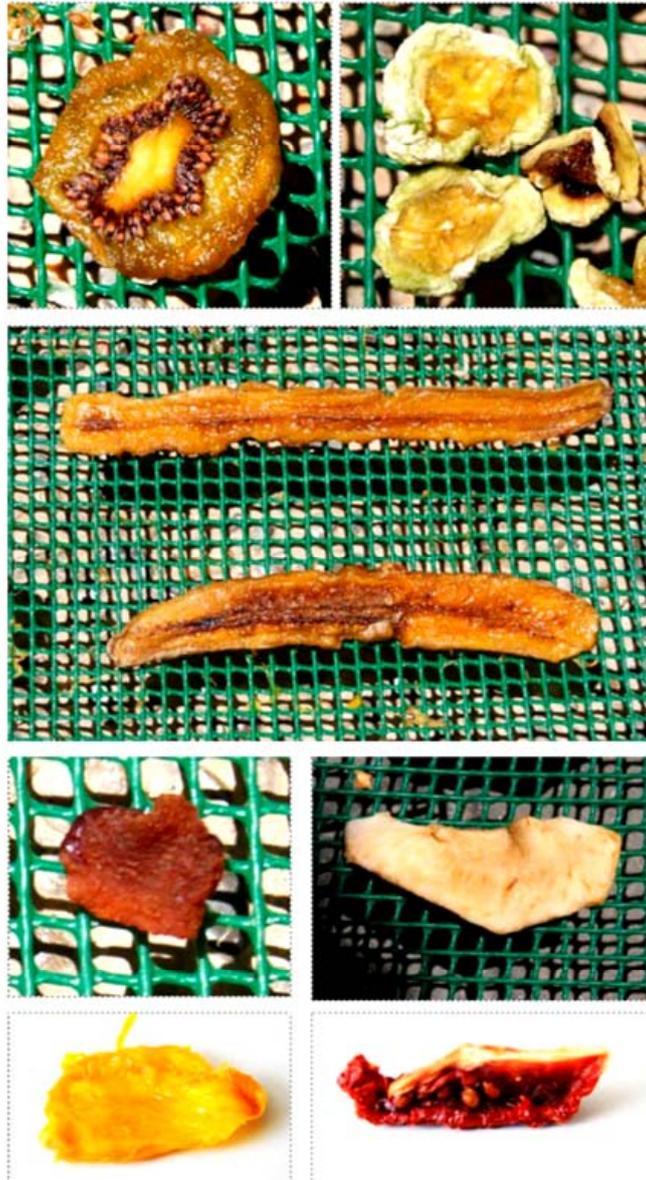


Figura 145. Página 14 del manual con la vista de distintas frutas al final del proceso de secado

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.

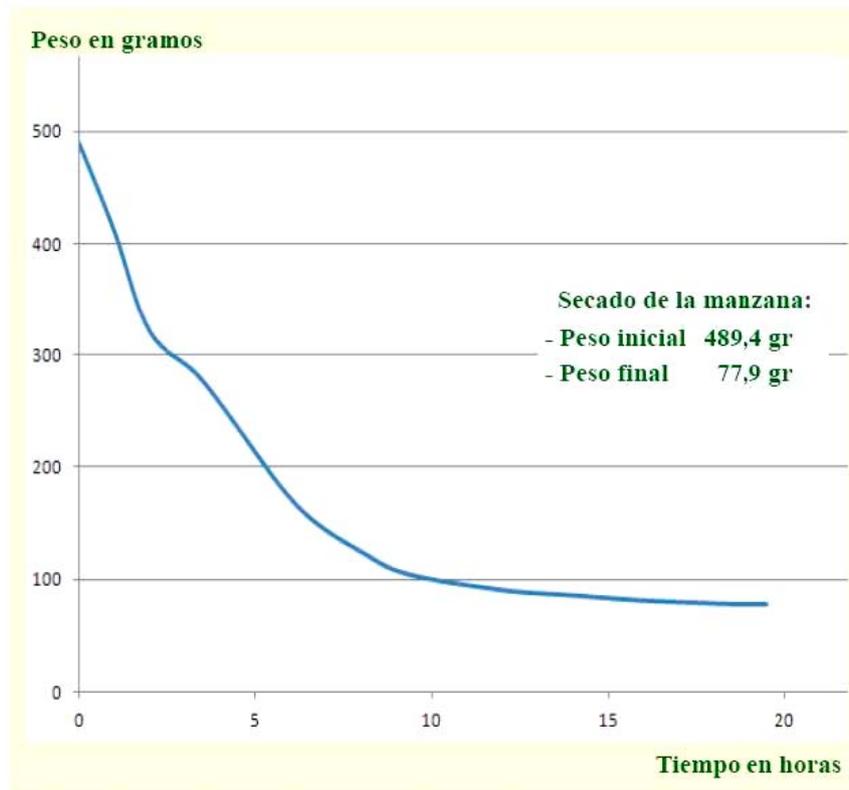


Figura 146. Página 15 del manual con la curva de pérdida de peso de la manzana e indicaciones del peso inicial y el peso final

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.

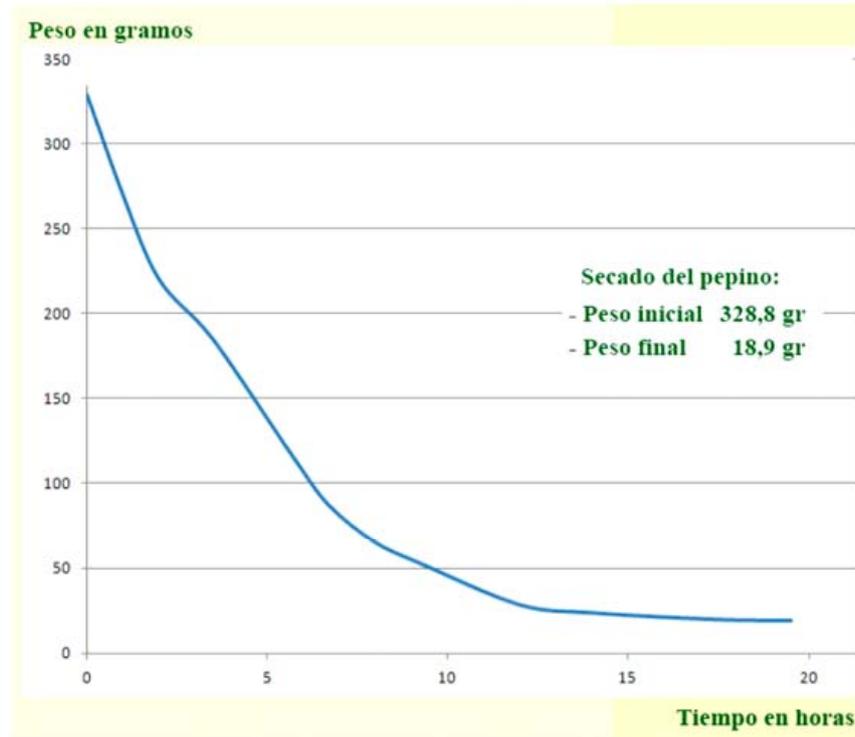


Figura 147. Página 16 del manual con la curva de pérdida de peso del pepino e indicaciones del peso inicial y el peso final

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.

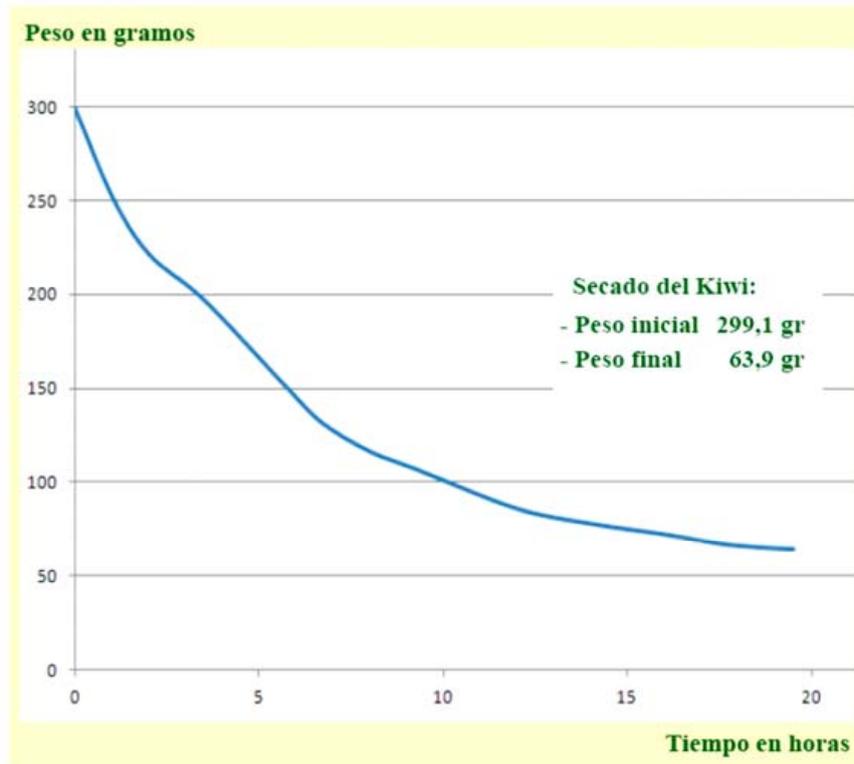


Figura 148. Página 17 del manual con la curva de pérdida de peso del kiwi e indicaciones del peso inicial y el peso final

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.

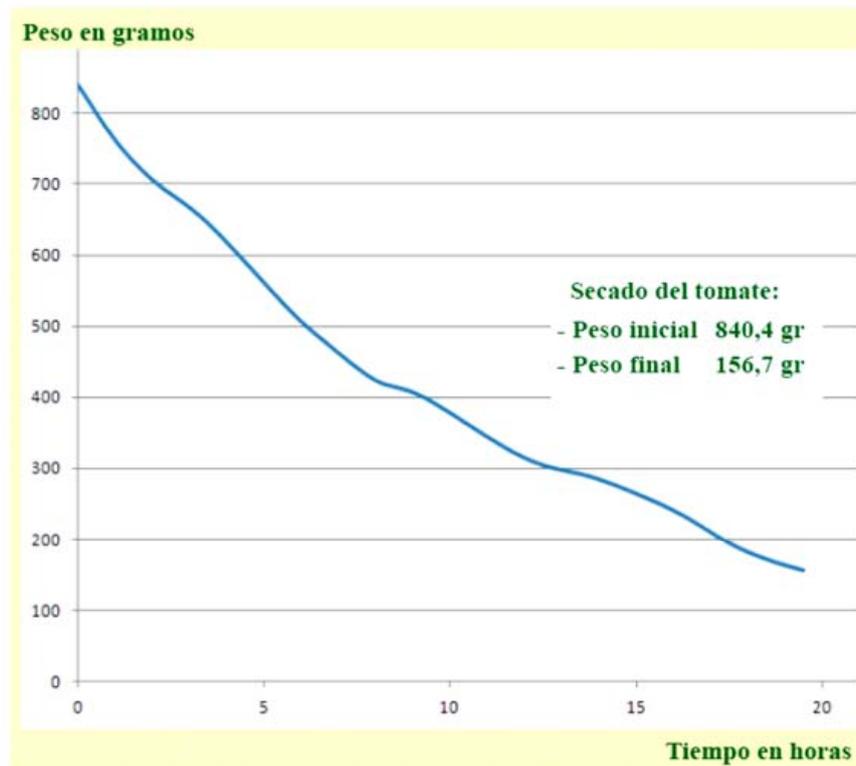


Figura 149. Página 18 del manual con la curva de pérdida de peso del tomate e indicaciones del peso inicial y el peso final

8. Aplicación del deshidratador a la docencia.

Desde el año 2013 hasta la actualidad hemos realizado alrededor de 100 operaciones de secado de alimentos, colocando entre 4 y 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. 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

En todos los días en los que hemos estado trabajando con el deshidratador en la UPV, situado en las calles laterales del edificio del DIE, se han acercado muchas personas para interesarse por el proyecto. En algunos casos, sobre todo con alumnos que venían de Suramérica, África y Asia, para decirnos que conocían procesos y procedimientos similares. En casos concretos incluso tenían o habían trabajado con algún equipo de deshidratación mediante energía solar. La mayor parte de personas, sin embargo, no sabían de que trataba el tema del secado de alimentos ni para que se empleaba y quedaban sorprendidas por las cuestiones que les íbamos contando.

Bastantes de los que se interesaron por el equipo y su aplicación eran alumnos que estaban en alguna de las asignaturas que imparto y, particularmente, en las de energías renovables y/o energía solar fotovoltaica. Pensando precisamente en la procedencia de estos alumnos creí interesante diseñar una práctica en la que los alumnos tuviesen que hacer un proceso de deshidratado.

En el segundo cuatrimestre del curso 2012-2013, propuse una práctica solamente demostrativa y para los alumnos que quisieran participar en ella. Preparé una tanda de deshidratado y llevé a los alumnos a ver como hacíamos la preparación del equipo. Les invité a que fueran acercándose durante el día para comprobar como íbamos midiendo y como 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 pen-

sando que de no hacerlo podía influir negativamente en la nota de la asignatura y algunos más ni siquiera se acercaron.

A raíz de esta experiencia comencé a trabajar en diseñar una práctica que fuese ya obligatoria, a partir del curso siguiente, para los alumnos que cogían como optativas las asignaturas de energías renovables o energía solar fotovoltaica. El objetivo es que entendiesen que además de producir energía eléctrica con placas solares fotovoltaicas hay otras aplicaciones de la energía solar. También se busca que los alumnos tomen 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 electricidad y necesitan otros medios 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, de una o dos horas, como las que normalmente desarrollamos en nuestros laboratorios. Ese es el motivo por el que formamos equipos de ocho alumnos, 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 divide en dos partes, tal como se ve en la *figura 150*, de manera que cada dos alumnos se hacen responsable de dos alimentos colocados en una bandeja.

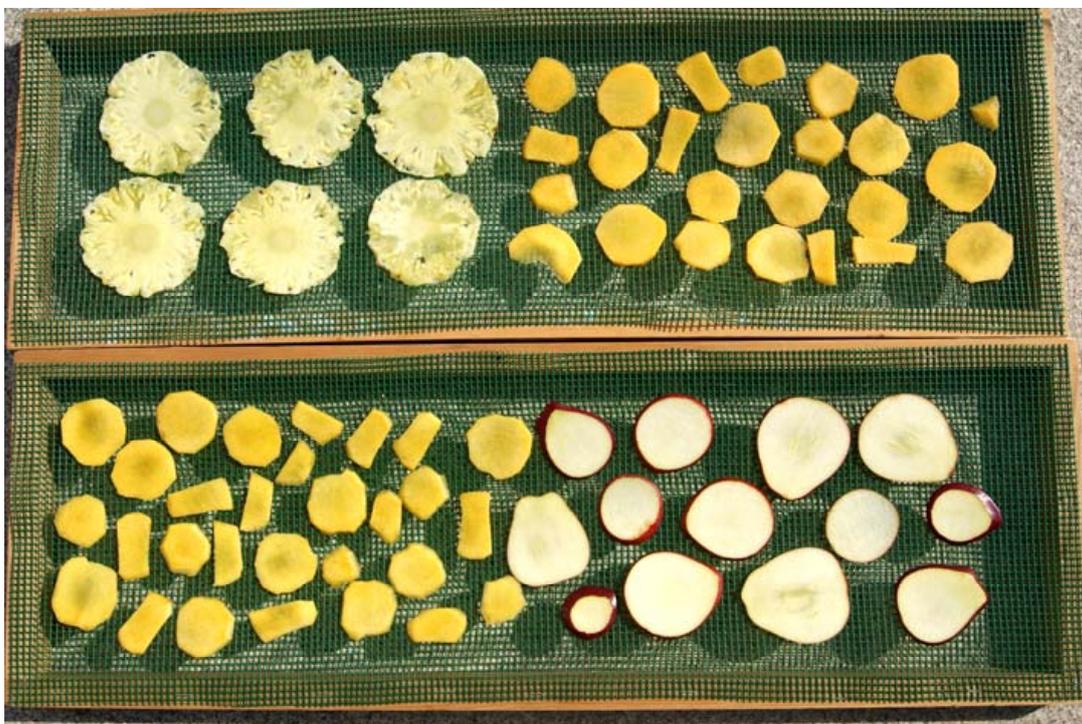


Figura 150. Dos bandejas con cuatro alimentos, preparadas para una práctica con los alumnos

De esta forma el trabajo es de todo el equipo de ocho alumnos, aunque cada dos alumnos tiene 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 deberá escribir un informe y presentarlo en clase, explicando todos los resultados y cualquier dificultad que pudieran haber encontrado en el proceso.

La práctica comienza con una sesión conjunta para todos los alumnos de la clase. Se les explican los conceptos básicos de deshidratación y el funcionamiento del deshidratador solar indirecto con el que van a trabajar, es decir, que el objetivo de la práctica, a nivel de mediciones, es obtener para cada alimento, las curvas de pérdida de peso con el tiempo. También se les explica la metodología de trabajo y el formato del informe que deben presentar con las medidas realizadas. Tras esta sesión para todos los alumnos se asignan fechas sucesivas para el trabajo de cada ocho alumnos. Son fechas iniciales, que posteriormente estarán condicionadas por la meteorología, puesto que elegiremos días que sean soleados.

Una vez fijada la fecha de la práctica, se convoca a los ocho alumnos del grupo en el laboratorio a las 9:00 de la mañana. Si quieren pueden traer ellos las frutas y verduras (suelen preferirlo, en muchos casos se las llevan al terminar la deshidratación para enseñarlas a familiares y amigos). De no hacerlo así se les suministra en el laboratorio. La primera acción es bajar el equipo hasta la calle adyacente al edificio del DIE y montar el deshidratador, ensamblando sus dos partes y cerrando con los sobrantes de los plásticos que recubren cada parte del equipo los puntos de unión entre el colector y la cámara de secado.

De vuelta al laboratorio deben comenzar cortando en láminas cada fruta o verdura. Se realiza con cuchillo y del grosor ya comentado de entre 2 y 4 milímetros. Se pesa antes de comenzar el proceso, previamente a colocar los fragmentos en las bandejas. 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.

Cada grupo de ocho alumnos organiza turnos para realizar las medidas, de manera que cada proceso de pesado lo realicen dos alumnos, de forma que no tengan que estar todos en todas las mediciones. Cada subgrupo realiza el pesado de los ocho alimentos, tomando los datos de los otros seis alimentos del grupo. 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 alumno puede y debe exigir responsabilidad al resto de sus compañeros, con objeto de conseguir los mejores y más fiables resultados posibles.

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 151. Datos medidos por un grupo de alumnos para distintos alimentos

En la figura 151 podemos ver una tabla con los datos obtenidos por un grupo de alumnos en los dos días de trabajo, indicando en que horas se ha pesado cada uno de los alimentos. También incluyen en las columnas finales la 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 con el paso del tiempo. En la figura 152 se tienen las gráficas presentadas por un segundo grupo de alumnos, en los procesos de deshidratación de sus ocho alimentos: naranja, manzana, plátano, kiwi, pimiento, pepino, pera y fresa. En todos los casos observamos que el proceso se estabilizó a partir de unas diez horas de trabajo.

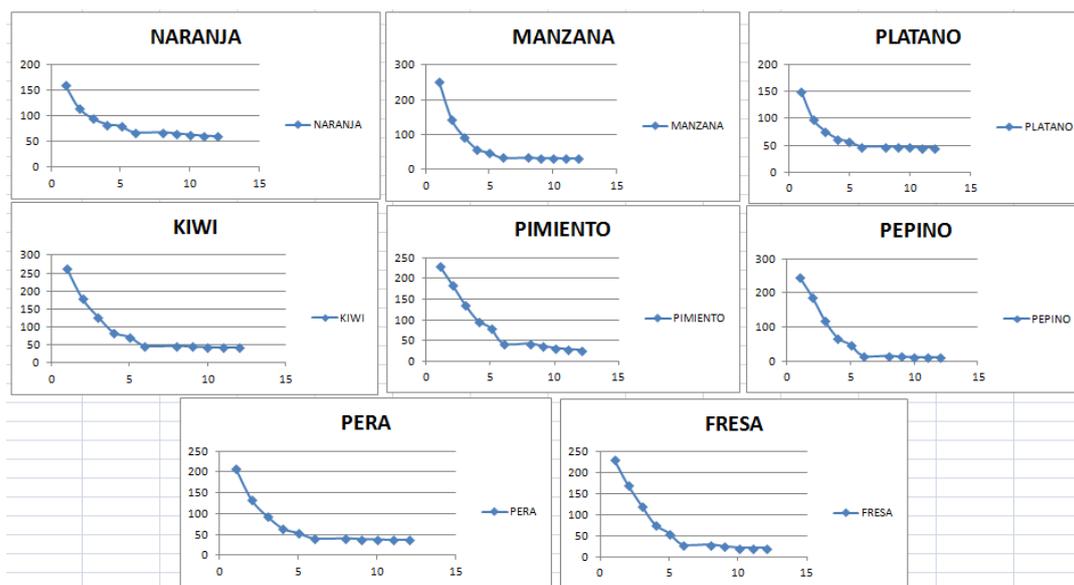


Figura 152. Gráficas obtenidas por un grupo de alumnos para distintos alimentos



Figura 153. Imágenes del proceso de pesado inicial de los alimentos

Capa proceso de deshidratación y toma de datos es diferente, puesto que unos días resultarán completamente soleados, otros parcialmente nublados, otros alternando nubes y sol, etc. Por ello se pide a cada grupo que documente su trabajo, de manera que indique en su informe final cuales han sido las condiciones meteorológicas en las que se ha producido su proceso.

También se les pide que incluyan fotografías de distintos momentos del proceso, desde el pesado inicial, que podemos ver en la *figura 153*, hasta la colocación de los alimentos en las bandejas, y de la evolución de su aspecto a medida que avanza el proceso. El nivel de trabajo en cuanto a incluir documentación visual sobre el trabajo realizado es diferente en cada grupo y a veces lleva a resultados curiosos, como los que podemos ver en la *figura 154*, en el que una

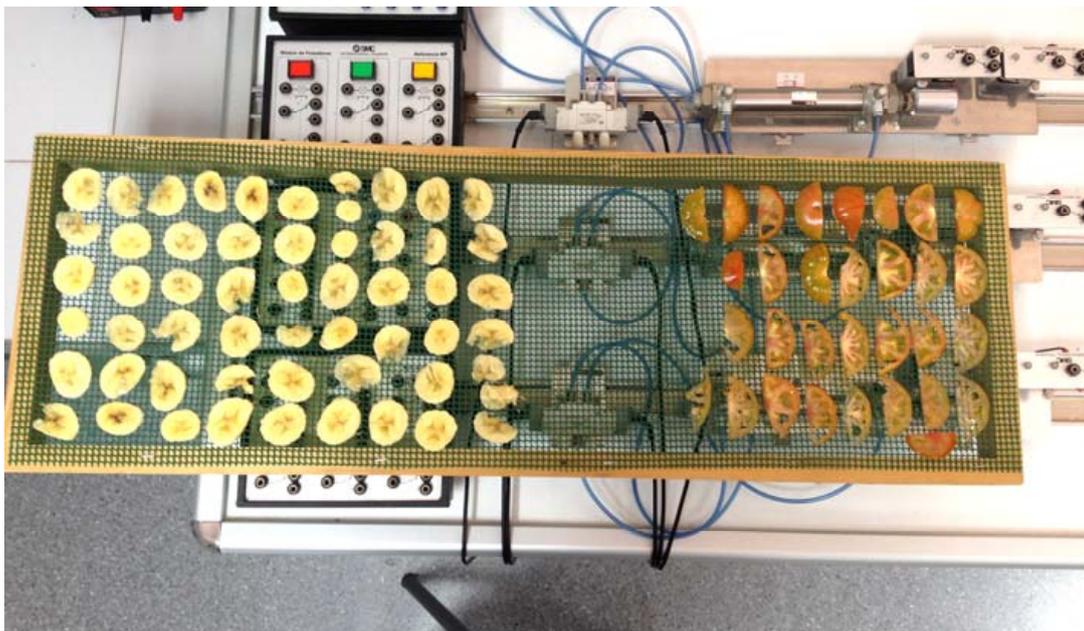


Figura 154. Gráficas obtenidas por un grupo de alumnos para distintos alimentos



Figura 155. Imágenes del proceso de pesado inicial de los alimentos

de las fotografías aportadas muestra la bandeja situada encima de equipos elec-



Figura 156. Imágenes del proceso de pesado inicial de los alimentos

troneumáticos que se encuentran en el mismo laboratorio de energía solar en el que se hace la parte inicial de la práctica de deshidratado.

En general la documentación que aportan sobre el proceso de trabajo no suele ser demasiado exhaustiva, pero suele incluir fotografías de las bandejas completas y su colocación en el deshidratador, tal como se puede ver en las fotografías de la *figura 155*. Adicionalmente podemos encontrar algunas fotografías que muestran las bandejas en el deshidratador cuando el proceso lleva varias horas, como se puede ver en la *figura 156*, en la que se aprecia la reducción drástica de tamaño que han sufrido las láminas de la fruta, debido al proceso de deshidratación.

Estuve valorando hacer una sesión en la que cada grupo de alumnos 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 alumnos entendiesen mejor como cada proceso de deshidratación es diferente a todos los demás, aunque todos conduzcan a un resultado similar.

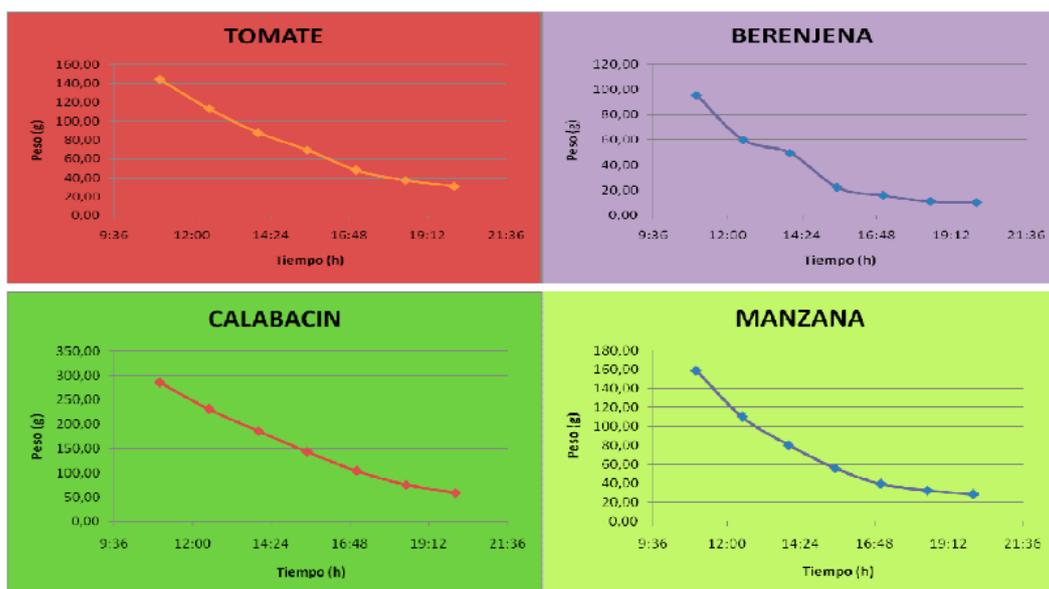


Figura 156. Imágenes del proceso de pesado inicial de los alimentos

Por ejemplo, en la *figura 157* se pueden ver cuatro de las gráficas de uno de los grupos, indicándonos que excepto la berenjena, que suele deshidratarse más rápido, el resto de alimentos (tomate, calabacín y manzana), no completaron totalmente su proceso de secado, puesto que su curva no alcanza esa asíntota que marca el final del proceso.

Sin embargo el resultado no fue satisfactorio puesto que, en general, los alumnos no mostraron un gran interés en la preparación de esta presentación coordinándose entre los ocho miembros del grupo. De hecho, comprobé como al ser ocho alumnos les resultaba difícil darse entrada unos a otros y decidir que parte debía defender cada uno, a pesar de que cada alumno tenía asignada una fruta y hortaliza.

Finalmente, en cinco de los seis grupos fue uno de los alumnos el que llevo casi todo el peso de la explicación, no siendo ese el resultado que se quería obtener, puesto que además daba la sensación de que casi todo el trabajo realizado lo había hecho él. 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 alumnos agradecieron personalmente esta práctica y se presentaron posteriormente a las convocatorias de becas Meridies de la UPV, a pesar de no tener experiencia previa en el campo de la cooperación. Este es un dato que creemos tiene importancia, puesto que no se suelen abordar durante los estudios de grado temas relacionados con la cooperación.

9. Conclusiones.

Con los datos recogidos en la presente memoria podemos concluir que el trabajo realizado en el diseño de un deshidratador solar de alimentos de uso familiar y con destino a personas con poco poder adquisitivo y países en vías de desarrollo ha sido satisfactorio y está siguiendo un camino positivo, tanto en las mejoras que hemos ido introduciendo en el equipo como en su implantación en Burkina Faso.

Tanto las mediciones realizadas en la UPV como las que se han realizado 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.

Además usa como fuente de energía el sol, recurso gratuito e inagotable a escala humana y 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 personas particulares y asociaciones información sobre las condiciones de funcionamiento del equipo.

El coste del montaje y puesta en marcha del deshidratador es muy barato, aunque puede no resultar asequible para las personas a las que va destinado. 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 bajo, dado que está por debajo de los cien euros, asumibles para entidades europeas o de países desarrollados.

La utilización del equipo para realizar una práctica de secado de alimentos en la UPV también ha producido resultados satisfactorios, aunque todavía debemos mejorarla. Ha contribuido a que nuestros alumnos 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 dichos alumnos.

A pesar de lo dicho, seguimos trabajando en mejorar el equipo y encontrarle nuevos usos, como la deshidratación de carne o pescado. También estamos trabajando en el diseño de un equipo de mayor tamaño, que pueda procesar mayor cantidad de alimentos en cada proceso, tal como nos ha pedido la APFG de Burkina Faso.

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. *Sci. Tech.*, vol. 2, no. 42, pgs. 345-350. ISSN 0122-1701

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 en 2016. <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar36/HTML/Articulo03N.html>

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.

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.

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. 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*. Volume 3, Issue 5, September-October, 2015. 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 Technol* 22, pgs. 521-539.

Belessiotis, V., Delyannis, E. 2011. Solar drying. *Solar Energy*, 85, pgs 1665-1691. Elsevier. Amsterdam. Países Bajos.

Bergues, C., Berriz, L., Griñan, P. 2010. Generalización de secadores solares directos en Cuba. Análisis numérico de sus tendencias actuales. *Desarrollo sostenible (DELOS)*. Eumed. 2010. Vol.3, No 8, pgs. 30-40

Burden, J., Wills, R. B. H. 1995. 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 6 - 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.

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. Peru.

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* 74, pgs. 109-116.

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. España.

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*, 14 (1), pgs.1-30. ISSN 1364-0321.

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* 51, pgs.1191-1204. Elsevier. Amsterdam. Países Bajos.

Gascón, A., Muravnick, N., Andreuccetti, C. 2013. Deseccación 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.

Goula, A. M., Adamopoulos, K. G., Chatzitakis, P. C., Nikas, V. A. 2005. Prediction of lycopene degradation during a drying process of tomato pulp. *J. Food Eng.* 74, pgs. 37-46.

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.

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*, 2012 vol. 4. pgs. 16-54. Springer Science + Business Media.

Maltini, E., Torreggiani, D., Venir, E, Bertolo, G. 2003. Water Activity and the Preservation of Plant Foods. *Food Chemistry* 82, pgs. 79-6.

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.

Mayor, L., Sereno, A. M. 2004. Modelling shrinkage during convective drying of food materials. *J Food Eng* 61, pgs. 373-386.

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*. Taylor & Francis Group. Pgs. 12-13. 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*, 111 (4), pgs. 887-891.

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)*. ISSN: 2249 - 8958, Volume 4 Issue 2, December 2014. Blue Eyes Intelligence Engineering & Sciences Publication Pvt. Ltd.

Navarro, C. 2012. Construir un deshidratador solar. Consultado en Internet por última vez 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. *Lebens Wissen Technol* 36, pgs. 507-516.

Ochoa-Reyes, E., De Jesús Ornelas-Paz, J., Ruiz-Cruz, S., Ibarra-Junquera, V., Pérez-Martínez, J. D., Guevara-Arauz, J. C., Aguilar, C. N. 2013. Tecnologías de deshidratación para la preservación del tomate. *Biotecnia / XV* (2): pgs. 39-46. México.

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 No. 75.

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.

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 Appl. Sci. J., vol. 22, no. 9, pgs. 1241-1251. ISSN 1818-4952.

Ríos, E., Giraldo, G. Duque, A. L. 2007. Predicción de la Actividad de Agua en Frutas Tropicales. Revista de Investigaciones No. 17 - Universidad del Quindío, pgs. 27-32. Armenia. Colombia. ISSN 1794-631 X.

Roca, L., Miralles, J. 2002. Cocinas solares. Perspectiva ambiental 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, 47, pgs. 15-26. Springer Science + Business Media.

Scott, W. J. 1956. Water relations of food spoilage microorganisms. Advances in Food Research 7, pgs 83-127.

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, n° 4, pgs. 67-74. ISSN: 2277-3975.

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.

VijayaVenkataRamana, S., Iniyamb, S., Goicc, R. 2012. A review of solar drying technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 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* 35, vol. 3, pgs 1909-1919.

Wikispaces. <http://procesosbio.wikispaces.com/Secado>, Consultado en enero de 2017.