



**Evaluación de un deshidratador solar para aprovechar residuos orgánicos en el Eco-Campus de la Universidad Pontificia Bolivariana - Sede Laureles**

Luis Fernando Martínez Castillo

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniero Ambiental

Asesores

José Miguel Fernández Zapata, Ingeniero Químico

Mariluz Betancur Vélez, Ph.D. en Ingeniería

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Ambiental

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

---

Cita

(Martínez Castillo, 2024)

---

Referencia

(Martínez Castillo, L. 2024). *Evaluación de un deshidratador solar para aprovechar residuos orgánicos en el Eco-campus de la Universidad Pontificia Bolivariana - Sede Laureles* [Informe de práctica]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Estilo APA 7 (2020)



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

## **Dedicatoria**

Este trabajo está dedicado a mi familia, que me han apoyado en la carrera, en especial a mi madre, que ha estado incondicionalmente en cada momento de mi vida y de mi formación como ingeniero; no lo hubiese logrado sin tu apoyo y compañía.

## **Agradecimientos**

Inicialmente, me gustaría agradecer a la vida por brindarme la oportunidad de llegar hasta este punto, permitiéndome crecer tanto en lo académico como en lo personal. Agradezco profundamente a mi madre y a los familiares que me apoyaron y estuvieron presentes en este largo camino. A mis amigos y compañeros de la Universidad, quienes de una u otra manera hallaron la manera de darme ánimos y volverse un apoyo emocional, ayudándome a afrontar las dificultades que se presentaban.

También, agradezco a la Universidad de Antioquia y sus docentes, por darme la oportunidad de iniciar y culminar mi formación académica, y brindarme los conocimientos con los que cuento actualmente.

Finalmente, aprovecho para agradecerme a mí mismo, por el trabajo duro, la perseverancia, y el sacrificio personal durante este tiempo. Agradezco mi capacidad para superar dificultades, mi dedicación y compromiso con el aprendizaje; esto como reconocimiento de mi esfuerzo. ¡Muchas gracias, por tanto!

## Tabla de contenido

Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
1 Planteamiento del problema	12
1.1	13
2 Justificación	15
3 Objetivos	16
3.1 Objetivo general	16
3.2 Objetivos específicos	16
4 Marco teórico	17
5 Metodología	19
6 Resultados	22
7 Discusión	31
8 Conclusiones	36
Referencias	39

## Lista de tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Algunos requisitos fisicoquímicos para abonos o fertilizantes según NTC 5167 (2022)</i>	18
<b>Tabla 2</b> <i>Resultados de eficiencia para el deshidratador con cáscaras de banano</i>	28
<b>Tabla 3</b> <i>Resultados de eficiencia para el deshidratador con cáscaras de granadilla</i>	29
<b>Tabla 4</b> <i>Contenido teórico de Nitrógeno, Fósforo y potasio para las muestras</i>	30
<b>Tabla 5</b> <i>Masa removida y porcentaje de remoción para cáscaras de banano</i>	30
<b>Tabla 6</b> <i>Masa removida y porcentaje de remoción para cáscaras de granadilla</i>	30
<b>Tabla 7</b> <i>Remoción de humedad por cada 1000 g de cáscara de banano</i>	31
<b>Tabla 8</b> <i>Remoción de humedad por cada 1000 g de cáscara de granadilla</i>	31
<b>Tabla 9</b> <i>Residuos verdes generados mensualmente en UPB – Sede Laureles (2024)</i>	32
<b>Tabla 10</b> <i>Pesos secos teóricos y experimentales para humedad seca del 30% en cáscaras de banano</i>	37
<b>Tabla 11</b> <i>Pesos secos teóricos y experimentales para humedad seca del 30% en cáscaras de granadilla</i>	37

## Lista de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Consolidado global de residuos/categoría</i>	14
<b>Figura 2</b> <i>Selección tipo de cáscaras a partir de caracterización de residuos</i>	23
<b>Figura 3</b> <i>Proceso de deshidratación para cáscaras de granadilla</i>	23
<b>Figura 4</b> <i>Proceso de deshidratación para cáscaras de banano</i>	24
<b>Figura 5</b> <i>Diferencial de temperatura para pruebas con cáscaras de banano</i>	24
<b>Figura 6</b> <i>Diferencial de temperatura para pruebas con cáscaras de granadilla</i>	25
<b>Figura 7</b> <i>Variación de la eficiencia por niveles de radiación para cáscaras de banano</i>	26
<b>Figura 8</b> <i>Variación de la eficiencia por niveles de radiación para cáscaras de granadilla</i>	26
<b>Figura 9</b> <i>Comparativo de radiación promedio en las 3 pruebas para ambos tipos de cáscaras</i>	32
<b>Figura 10</b> <i>Comparativo de temperatura ambiente promedio en las 3 pruebas para ambos tipos de cáscaras</i>	32
<b>Figura 11</b> <i>Acumulado de precipitación para los meses de abril y mayo</i>	35

## **Siglas, acrónimos y abreviaturas**

<b>GEI</b>	Gases de Efecto Invernadero
<b>ICONTEC</b>	Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación
<b>IDEAM</b>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<b>SGBC</b>	Sistema de Gestión Basura Cero
<b>UPB</b>	Universidad Pontificia Bolivariana
<b>UdeA</b>	Universidad de Antioquia

## Resumen

La Universidad Pontificia Bolivariana está certificada en la categoría oro en el Sistema de Gestión Basura Cero del ICONTEC, gracias a sus estrategias de aprovechamiento, reducción y reutilización de residuos, alcanzando un 75% de aprovechamiento en 2022. Sin embargo, aún hay residuos que terminan en rellenos sanitarios. Para mejorar esto, se investigan métodos para aprovechar residuos orgánicos del Eco-Campus, como las cáscaras de banano y granadilla. Estas se someten a un proceso de deshidratación para evaluar la eficiencia de un deshidratador solar y la posible reducción de costos por la disminución de residuos sólidos entregados a gestores de residuos. El proceso consiste en medir periódicamente los parámetros que afectan directamente el secado, como la radiación solar, temperatura, tiempo de prueba, entre otros. Finalizado el periodo de pruebas, se realizó el análisis del material deshidratado, verificando que el contenido de humedad cumpla el requisito necesario para ser integrado a compostaje. El análisis permitió determinar la eficiencia del deshidratador solar, con valores promedio para cáscaras de banano del 52.3%, y las de granadilla, del 26.79%, y estimaciones de reducción de costos por gestión de residuos orgánicos de hasta \$179.2/kg y \$88.5/kg para las cáscaras de banano y granadilla respectivamente. Las pruebas indicaron que las cáscaras, aunque no lograron dar cumplimiento a los requisitos seleccionados de la NTC 5167 - 2022, pueden ser aprovechadas en el compostaje debido a su alto contenido de potasio y otros nutrientes.

*Palabras clave:* residuos orgánicos, deshidratador solar, aprovechamiento, basura cero

### **Abstract**

Universidad Pontificia Bolivariana has been certified in the gold category in ICONTEC's Global Zero Waste System, thanks to its strategies for the use, reduction and reuse of waste, reaching 75% use by 2022. However, there is still waste that ends up in landfills. To improve this, methods are being investigated to take advantage of organic waste from the Eco-Campus, such as fruit peels. These are subjected to a dehydration process to evaluate the efficiency of a solar dehydrator and the possible cost reduction due to the reduction of solid waste delivered to waste managers. The process consists of periodically measuring the parameters that directly affect drying, such as solar radiation, temperature, test time, among others. At the end of the test period, the dehydrated material will be analyzed, verifying that the moisture content meets the necessary requirement to be integrated into composting. The analysis allowed determining the efficiency of the solar dehydrator, with average values of 52.3% for banana peels and 26.79% for passion fruit peels, and estimates of cost reduction for organic waste management of up to \$179.2/kg and \$88.5/kg for banana and passion fruit peels, respectively. The tests indicated that the peels, although they do not meet the selected requirements of NTC 5167 - 2022, can be used in composting due to their high potassium content.

*Keywords:* organic waste, solar dehydrator, recycling, zero waste

## Introducción

El acelerado desarrollo social y el constante crecimiento poblacional demandan una mayor explotación de recursos naturales para procesos y/o actividades que permitan suplir nuestras necesidades, entre ellas las actividades domésticas, agrícolas y forestales. En Colombia, aproximadamente el 61% de los residuos generados son de carácter orgánico (SSPD, 2020), aportando en algunas problemáticas ambientales actuales. En este sentido, adoptar prácticas sostenibles se ha vuelto una necesidad urgente para disminuir el impacto generado por los residuos no aprovechados, y así evitar la posible contaminación de fuentes hídricas, generación de olores y vectores, entre otras afectaciones.

La Universidad Pontificia Bolivariana, al ser un centro de generación de conocimiento e investigación, tiene la responsabilidad de liderar estrategias que promuevan el aprovechamiento, reducción y reutilización de los recursos disponibles. Para el año 2022, según la caracterización de residuos realizada cada dos años, el total de residuos orgánicos generados en el jardín del Eco campus en una semana fue de 2666.78 kg, de los cuales sólo se aprovecharon el 30% y el restante quedó a disposición del gestor encargado, adicional a esto, la materia orgánica aportada por los restos de comida de origen animal y/o vegetal generó un aporte del 5,92% del total de residuos generados, siendo este de 170.7 kg (UPB Sostenible, 2022, p. 81-85).

Si bien la estrategia planteada en este trabajo aborda parcialmente el problema de la gestión de residuos, enfocándose únicamente en los orgánicos, se debe considerar los beneficios que trae consigo; al reducir los residuos de alimentos, se obtienen múltiples beneficios, ya que mejora la seguridad alimentaria, trata el cambio climático, ahorra dinero y reduce las presiones sobre la tierra, el agua, la biodiversidad y los sistemas de gestión de residuos (Forbes et al., 2021, p. 7).

Con base en esto, se analizan alternativas necesarias que permitan aumentar el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en el Eco-Campus de la Universidad, por tanto, se busca evaluar la eficacia de estos residuos, implementando un deshidratador solar tipo carpa diseñado y construido por estudiantes de la UPB, y al mismo tiempo aportando al Sistema de Gestión Basura Cero mediante la reducción de residuos que terminan en rellenos sanitarios y su posterior uso en compostaje. El deshidratador solar, a diferencia de otros sistemas de gestión de residuos orgánicos, no genera costos energéticos, es de fácil manejo y permite disminuir

significativamente el volumen y peso de los residuos, a menor contenido de humedad se acelera el proceso de descomposición aeróbica, todo esto utilizando materiales accesibles y de bajo costo.

A partir de los ensayos preliminares realizados con diferentes cáscaras de frutas (naranja y mango), se determinaron los parámetros más influyentes en la eficiencia del deshidratador solar, los cuales permitieron analizar la disminución del contenido de humedad de los residuos orgánicos de restos de comida, tomando muestras representativas que inicialmente fueron sometidas a un proceso de caracterización y reducción de volumen mediante cortes para luego pasar por el proceso de deshidratación, y finalmente evaluar el material obtenido mediante la determinación de su contenido de humedad final, verificando si da cumplimiento al establecido en la NTC 5167:2022

Este trabajo fue organizado de la siguiente manera: inicialmente, se hizo el planteamiento del problema, describiendo la situación actual e identificando problemas específicos a resolver. A continuación, en los antecedentes, se revisaron estudios previos, brindando contexto histórico y académico. Luego se establecieron los objetivos, seguidos del marco teórico y la metodología, donde se describieron los métodos utilizados para desarrollar el estudio. Finalmente, se expresaron los resultados y conclusiones, exponiendo los principales hallazgos del estudio y se interpretaron en el contexto de los objetivos planteados.

## 1 Planteamiento del problema

Actualmente, la adecuada gestión de residuos orgánicos se ha vuelto de alto interés en la agenda ambiental de las organizaciones, especialmente en entornos urbanos donde la cantidad de residuos generados es significativa. En el contexto de la UPB, el problema gana mayor importancia por los desafíos ambientales, sociales y económicos asociados a la gestión de residuos, de acuerdo con su misión y considerando la importancia del cumplimiento de requisitos del Sistema de Gestión Basura Cero (SGBC) implementado.

La Universidad, al igual que muchas instituciones educativas, se enfrenta al desafío de gestionar de manera eficiente los residuos sólidos que se generan en su Eco-Campus. Dichos residuos provienen de áreas como, por ejemplo: zonas de estudio, Escuela de Ingenierías, colegio de primaria y bachillerato, entre otros, representando un porcentaje considerable de generación de residuos, 56.68% (UPB Sostenible, 2022), que es fundamental buscar alternativas que permitan aportar a minimizar los impactos al medio ambiente y la salud pública.

La creciente acumulación de residuos orgánicos en el relleno Sanitario La Pradera conlleva riesgos ambientales de grandes magnitudes, tales como la generación de gases de efecto invernadero (dióxido de carbono y metano), contaminación de suelos y agua por lixiviados, proliferación de olores y vectores (moscas, cucarachas, roedores, entre otros). Estos impactos generan preocupación, principalmente en entornos urbanos como Medellín, por el limitado espacio para la disposición de desechos y el aumento constante de la presión sobre los recursos naturales.

También, es importante considerar la tendencia de generación de residuos sólidos en la Universidad, donde la cantidad total de residuos generados para los años 2021, 2022 y 2023 fue de 242,062.41 kg, 322,070.17 kg y 403,300.30 respectivamente (Indicadores SGBC, 2024), siendo evidente el aumento de los residuos a lo largo del tiempo, y la necesidad de identificar estrategias que permitan reducir su generación y maximizar su aprovechamiento.

Una mejor gestión permitiría aumentar ahorros para la Universidad; el transporte, tratamiento y disposición final de los residuos requieren recursos financieros que pueden ser destinados a áreas prioritarias de la institución.

## 1.1 Antecedentes

### 1.1.1 Antecedentes de gestión de residuos en la UPB

La Universidad se encarga de caracterizar periódicamente los residuos sólidos generados, realizando dicha actividad cada 2 años de manera diaria durante una semana. La última caracterización se realizó este año, sin embargo, aún no estaban consolidados los resultados. Para este trabajo se tomaron los datos del año 2022, a partir de una muestra de 5530.38 kg provenientes de todos los bloques y algunos concesionarios que la conforman, además, se incluyeron los residuos generados en actividades de barrido y poda en el jardín del Eco-Campus, siendo equivalentes a 2666.78 kg. Los residuos de poda y barrido en el jardín son aprovechados como abono para árboles y jardines, luego de haberlos sometido a un proceso de compostaje hasta cumplir con el proceso de maduración, es decir, cuando logran la estabilidad química y microbiológica.

En la **Figura 1** están los resultados del informe final de Caracterización de Residuos Sólidos de Sostenibilidad Multicampus – UPB Sostenible (2022), expresados en porcentajes para cada categoría de residuos. El 6% del total de residuos generados en dicha semana corresponde a residuos biodegradables u orgánicos, es decir, 173.5 kg.

### Figura 1

*Consolidado global de residuos/categoría*



*Nota.* Adaptado de “Sostenibilidad Multicampus – UPB Sostenible” (p. 84), por J. Posada, 2022, LM3I-015-2022.

### **1.1.2 Antecedentes del uso de deshidratadores solares para residuos orgánicos**

A través de la historia, la humanidad ha aprovechado la energía solar para diversas necesidades. Desde la antigüedad, varias civilizaciones emplearon la energía del sol para secar alimentos (egipcios, griegos, romanos), siendo este un método natural y eficiente. Actualmente, el uso de deshidratadores solares continúa con esta tradición, brindando una alternativa sostenible y económica para conservar frutas, verduras, carnes, entre otros, reduciendo la dependencia de la energía convencional.

Con base en esto, La UNESCO desarrolló una guía para aprovechar la energía solar en procesos de deshidratación de frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes, usando deshidratadores solares caseros para transformar los rayos solares en calor. Según esta guía, es esencial contar con los siguientes factores claves: temperatura del aire entre 40 y 70°C, bajo contenido de humedad en el ambiente y un flujo constante de aire.

El estudio realizado por Bukke et al. (2018) “Experimental Studies on Drying of Orange Peel in Solar Tunnel Dryer Using Sensible Heat Storage Material” realizó pruebas con cáscaras de naranja en un deshidratador solar tipo túnel, donde evaluaron las diferencias en los niveles de deshidratación ocasionadas por el tipo de material implementado en el colector de calor. El estudio mencionado anteriormente y el actual trabajo presentan algunas similitudes, como la deshidratación por convección natural y uso de cáscaras de frutas, por tanto, los resultados obtenidos por su parte pueden utilizarse como indicativo para determinar la eficiencia del deshidratador que estamos implementando, teniendo en cuenta las diferencias meteorológicas entre Vellore y Medellín, al ser lugares con condiciones ambientales muy diferentes.

García et al. (2012) en su estudio “Diseño y construcción de un deshidratador solar de frutos tropicales” utilizó un deshidratador solar de tipo armario con convección forzada (integrando un ventilador al modelo), para extraer la humedad de mangos, fresas y uchuvas. Las muestras utilizadas para sus pruebas son similares a las de este estudio, permitiendo la comparación entre los resultados obtenidos.

## **2 Justificación**

Hoy la correcta gestión de residuos sólidos representa un desafío ambiental urgente. La acumulación de residuos orgánicos no solo contribuye significativamente a la contaminación de diferentes dimensiones ambientales, sino que también representa una pérdida de recursos con potencial de aprovechamiento en la producción de abono y fertilizantes orgánicos de gran valor, por ejemplo, con el compostaje.

Para la UPB resulta imperativo desarrollar e implementar estrategias innovadoras y sostenibles para aportar a minimizar los impactos mencionados anteriormente. Por tanto, utilizar un deshidratador solar para aprovechar residuos orgánicos es una alternativa eficaz, con capacidad para generar beneficios ambientales y sociales.

El presente tema se seleccionó basado en un deshidratador solar casero, previamente construido e instalado, y considerando la implementación del SGBC en la Universidad. Este puede aportar a dicho sistema de gestión de residuos, siendo una herramienta práctica que ocupa poco espacio, de fácil manejo y que utiliza energía solar, evitando así el consumo de fuentes energéticas no renovables. Con el deshidratador solar se puede evaluar el potencial de aprovechamiento de diferentes componentes de los residuos orgánicos generados en la Universidad, lo que reduce el porcentaje de residuos no aprovechados.

### **3 Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Evaluar el aprovechamiento de residuos orgánicos generados en el eco campus de la Universidad Pontificia Bolivariana – Sede Laureles.

#### **3.2 Objetivos específicos**

Determinar la eficiencia de un deshidratador solar con residuos orgánicos generados en el Eco-Campus.

Definir la calidad del material como abono orgánico luego del proceso de secado.

Hacer un estimativo de la disminución de costos debido a la reducción de residuos orgánicos entregados a los gestores encargados.

#### 4 Marco teórico

Según Breeze (2005), anualmente llegan a la Tierra aproximadamente 1,500 millones de TWh de energía solar, de los cuales solo el 47%, 700 millones de TWh, llega a la superficie terrestre; dicha cantidad es 14,000 veces la cantidad de energía consumida por la humanidad cada año. Este hecho resalta la importancia de implementar y optimizar dispositivos como los deshidratadores solares para maximizar el aprovechamiento eficiente de la energía solar disponible.

La Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (2020) menciona que aproximadamente el 61% de los residuos generados por la población colombiana es de carácter orgánico, y para el año 2019 se dispusieron aproximadamente 11.5 millones de toneladas de residuos domiciliarios en el país. La materia orgánica en descomposición enterrada en los rellenos sanitarios produce una mezcla de gases conocida como biogás, compuesto principalmente por metano, dióxido de carbono, vapor de agua e hidrógeno. Debido a la composición y contenido de estos, son considerados una importante fuente de GEI (Departamento Nacional de Planeación, 2016). En este estudio se aborda directamente esta problemática, proponiendo una solución para el manejo de residuos orgánicos a través de deshidratadores solares, reduciendo de esta manera la cantidad de residuos que acaban en vertederos, minimizando sus efectos negativos.

Un deshidratador solar tipo “carpa” es un modelo sencillo, compacto, liviano, plegable y transportable para secar cualquier tipo de alimento en pequeñas cantidades. Está hecho de una estructura metálica (que puede ser también de madera) de la forma de una carpa triangular, cubierta en gran parte por una lámina de plástico transparente, resistente a los rayos ultravioletas (polietileno larga duración) y puede tener diferentes tamaños (UNESCO, 2005).

Con base a este diseño, y mediante algunas modificaciones, los estudiantes de UPB fabricaron el deshidratador solar y se ha utilizado durante varios semestres en la Universidad. Este cuenta con convección natural y directa, donde el colector de calor y la cámara de secado están juntos. Se utiliza una estructura de madera tipo gabinete, está cubierto por una lámina de vidrio y en su interior cuenta con una esponja que permite absorber el excedente de humedad. A los costados tiene conductos circulares que permiten el flujo de aire dentro y fuera del gabinete, e igualmente para la medición de parámetros dentro del deshidratador.

La guía de uso de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes elaborada por la UNESCO (2005), brinda un paso a paso para llevar a cabo el proceso de

remoción de humedad para material orgánico. Se tomó como referencia parte de los procedimientos llevados a cabo en dicha guía, los cuales consisten en seleccionar únicamente los productos en buen estado, luego, cortar sus partes inservibles dejando sólo el material necesario, el cual será dividido en trozos (según el tipo de producto) y puesto sobre las bandejas de secado, preferiblemente, temprano en la mañana. Al finalizar el proceso de secado, se retiran los productos del secadero. Además, la guía brinda un procedimiento que permite evaluar el correcto secado de los productos, mediante el cálculo del contenido residual de humedad, donde se establece su valor límite, y a través del monitoreo del peso de una muestra durante el proceso de secado se busca no superar dicho valor.

El estudio realizado por Guillén (2019), en el cual diseñó, construyó y evaluó un deshidratador solar para tomates, determinó que para 10 kg de tomate en un periodo de cuatro días se puede obtener una eficiencia de secado de 40.57%, con una humedad final de 11.72%, esto para las condiciones específicas de radiación y temperatura. Adicionalmente, en el informe “Evaluación energética de un deshidratador solar tipo túnel para frutas” (2021) se cuantificó la eficiencia del sistema de deshidratación solar, con valores promedio de 33.2% y 41.2% para bananos y tomates respectivamente.

Dichos trabajos permiten tener claridad sobre los parámetros necesarios para obtener resultados óptimos durante la evaluación del deshidratador solar, a partir de procedimientos establecidos, teniendo conocimientos previos sobre la disponibilidad de energía solar y la problemática de residuos orgánicos. Además, pueden servir de guía para evaluar la eficiencia del proceso de deshidratación del material orgánico seleccionado en este estudio.

El marco normativo que determina los requisitos físico - químicos que deben cumplir los abonos o fertilizantes es la Norma Técnica Colombiana - NTC 5167 (2022), enfocada en productos para la industria agrícola. Los parámetros que se realizaron para caracterizar en laboratorio y su contenido límite se observan en la **Tabla 1**.

### **Tabla 1**

*Algunos requisitos fisicoquímicos para abonos o fertilizantes según NTC 5167 (2022)*

---

<b>Parámetro</b>	<b>Contenido límite</b>
------------------	-------------------------

---

---

N total	Mínimo 1%
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> total	Mínimo 1%
K <sub>2</sub> O	Mínimo 1%
Contenido de humedad	Máximo 30%

---

*Nota.* Datos obtenidos de la NTC – 5167, que incluye los parámetros definidos para el desarrollo del proyecto.

El contenido de nitrógeno se obtiene mediante el método Kjeldahl, que según García et al. (2012), es un método oficial descrito en múltiples normativas: AOAC, US EPA, ISO, Farmacopeas y distintas Directivas Comunitarias, el cual permite determinar el nitrógeno en una amplia gama de muestras, incluyendo los residuos orgánicos. Este consiste en recoger el nitrógeno sobre ácido clorhídrico o sulfúrico, para posteriormente realizar una valoración con hidróxido sódico. Para determinar el contenido de fósforo, es necesario calcinar la muestra, y hacer reaccionar el fósforo con molibdato de sodio y sulfato de hidracinio como reductor, luego, se debe medir espectrofotométricamente a 700 nm la absorbancia del complejo de azul de molibdeno que se ha formado (Secretaría de Salud, 2012). Por último, el contenido de potasio se obtiene mediante el método de espectrofotometría de absorción atómica, que tiene como principio general la medición de energía absorbida por el elemento químico a determinar tras hacer incidir sobre una muestra, conteniendo dicho elemento, una radiación de luz monocromática específica (Martínez, 2020).

Entre las posibles limitaciones del estudio, se encuentran la falta de literatura específica, presentando escasez de estudios puntuales sobre la aplicación de deshidratadores solares a residuos orgánicos, donde la información disponible puede ser muy general y no abordar las particularidades de los tipos de material orgánico seleccionados para este trabajo. La eficiencia de un deshidratador solar puede depender de las condiciones específicas del lugar de pruebas, en este caso Medellín; la literatura existente no puede considerar todas las variaciones contextuales relevantes, limitando así la aplicación de la teoría planteada.

## 5 Metodología

La metodología planteada para alcanzar los objetivos propuestos fue cuantitativa y se basó en una serie de fases, tomando como referencia la metodología planteada por el artículo “Diseño y construcción de un deshidratador solar de frutos tropicales” (UNESCO, 2005).

### **Fase 1. Preparación del deshidratador solar**

Se ubicó el deshidratador solar en un ángulo adecuado, que permitiera la captación de altos niveles de radiación solar durante el tiempo de la prueba, garantizando la correcta remoción de humedad en las muestras, esto último mediante revisiones horarias, asegurando que el deshidratador esté correctamente orientado y no haya obstrucciones que permitan captar la máxima radiación solar.

### **Fase 2. Recolección y preparación de materia orgánica**

Para realizar las pruebas se obtuvo la materia orgánica proveniente de restos de comida de restaurantes, que se encontraban en buen estado y en cantidad necesaria considerando la capacidad del deshidratador entre 100 y 300 g. Se resalta que el peso inicial de las muestras depende de la disponibilidad de cáscaras obtenidas de los restaurantes de la UPB, por tanto, este presentó variaciones entre las pruebas. Posteriormente, mediante visualización, se seleccionaron los residuos orgánicos más comunes. A partir de esto, se procedió a preparar las muestras, realizando un cuarteo y sometiendo parte de estas a un proceso de corte para reducir el porcentaje de humedad de los residuos y su volumen, obteniendo mayor comodidad al momento de realizar las pruebas con el deshidratador.

### **Fase 3. Determinación de humedad inicial en laboratorio**

La otra parte de las muestras se utilizaron para determinar el contenido inicial de humedad de los residuos, 40 g aproximadamente, repartiéndose de manera equitativa entre 4 cápsulas previamente secadas durante 30 min, luego, las cápsulas con las muestras se han de llevar a un horno de convección forzada marca Binder durante 2 horas a 105 °C, obteniendo así un valor representativo del contenido de humedad de las muestras. Según INM (2015), la ecuación a utilizar para calcular la humedad inicial es la siguiente:

$$\%H_{bh} = \frac{m_h - m_s}{m_h} \times 100 \quad (1)$$

%Hbh: contenido de humedad en base húmeda

Mh: masa de la muestra húmeda

Ms: masa de la muestra seca

#### **Fase 4. Ubicación de materia orgánica en el deshidratador solar**

Se ubicaba el material orgánico resultante, previamente troceado y pesado, en la malla dentro del deshidratador solar, asegurando que las muestras tengan el grosor adecuado y una distribución uniforme, permitiendo así el correcto paso del aire entre ellas y aumentando la eficiencia de secado. Se realizaron pruebas para diferentes tipos de muestras, repitiendo el procedimiento para cada tipo.

#### **Fase 5. Deshidratación**

El proceso consiste en aprovechar la radiación solar al utilizar el deshidratador, mediante el aumento de temperatura del aire dentro del mismo, removiendo así parte de la humedad en las muestras del material orgánico y liberando al ambiente por el flujo de circulación del aire. Según el IDEAM (2015), “el sol brilla cerca de 4 horas diarias en los meses lluviosos, pero en los meses secos, la insolación llega a 6 horas diarias/día”, y considerando que las horas de mayor radiación solar se presentan cuando el sol está en su punto más alto en el cielo, se determinó el tiempo de deshidratación a partir de ello, iniciando las pruebas a las 9:00 AM y terminando a las 2:00 PM, intentando aprovechar la mayor cantidad de radiación posible.

#### **Fase 6. Toma de datos y monitoreo**

Registro periódico de los valores obtenidos para los parámetros relevantes, siendo estos la temperatura interna y externa del deshidratador, peso de las muestras y el tiempo transcurrido entre cada prueba. Las mediciones de los parámetros se realizaron con un termómetro Taylor modelo 9842 y una báscula marca Adam modelo ABW32. También, se hizo registro de datos del Piranómetro SIATA – 6001, ubicado a 2 km del deshidratador, para la radiación promedio en cada

día de montaje experimental, debido a que era la estación de monitoreo más cercana al lugar de pruebas. Además, se determinó la eficiencia en términos de remoción de humedad de las muestras en cada montaje.

### Fase 7. Análisis fisicoquímicos y resultados

Luego de cumplir con la toma de datos para cada una de las pruebas realizadas, se procede a retirar la materia orgánica del deshidratador, luego utilizando la báscula para medir su peso final y compararlo con el peso inicial, y determinar la cantidad de humedad retirada durante el proceso de deshidratación. Adicionalmente, se intentó medir el valor nutricional de la materia orgánica deshidratada (contenido de nitrógeno, fósforo y potasio), y analizar la relación entre los datos obtenidos para cada parámetro y la eficiencia del proceso, también, se comparó la influencia del estado de las muestras en el grado de remoción de humedad.

El valor de eficiencia fue calculado mediante las ecuaciones planteadas por la UNESCO (2005) para evaluar el correcto secado de frutas y hortalizas:

$$H_f = \frac{P_f - P_{ms}}{P_f} \cdot 100\% \quad (2)$$

$$R = \frac{100\% - H_f}{100\% - H_s} = \frac{P_s}{P_f} \quad (3)$$

$$P_s = R \cdot P_f \quad (4)$$

$H_f$ : humedad fresca en % calculada en laboratorio.

$H_s$ : humedad seca en %. En el presente estudio se busca un valor de 30% o inferior.

R: rendimiento (valor constante)

Ps: peso seco

Pf: peso fresco

Al obtener el contenido de humedad fresca en base húmeda y los pesos de las muestras después del proceso de deshidratación, se procedió a calcular el contenido de humedad final mediante una diferencia entre la humedad fresca y la masa removida. Esto permitió que los resultados a obtener se determinaran únicamente en términos de contenido de humedad. Luego, se

buscó realizar pruebas de laboratorio al material orgánico resultante para determinar el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio, como se mencionó en el marco teórico.

El último paso de esta fase se enfocó en evaluar la posibilidad de reducir costos por gestión de residuos sólidos, mediante la consulta y análisis de datos sobre la cantidad de residuos generados en la Universidad en los últimos meses, volumen ocupado y costos atribuidos a su gestión por unidad de peso. Con los datos obtenidos y al conocer la cantidad de masa promedio removida de las muestras, se puede estimar la cantidad de humedad que puede ser removida para 1 kg de estos tipos de materia orgánica, esto al calcular sus densidades, es decir la masa de residuos generados sobre el volumen que ocupan, y a partir de ello definir el costo atribuido a la gestión por cada kilogramo de residuos.

### **Fase 8. Reporte de datos**

Finalmente, luego de realizar los análisis y obtener conclusiones, los datos arrojados por el estudio serán reportados a UPB Sostenible, el Grupo de Investigaciones Ambientales (GIA) y a la jefatura de Servicios Generales.

## 6 Resultados

Poniendo en práctica las fases descritas anteriormente, se realizaron las pruebas para determinar la eficiencia del deshidratador solar en cuanto al porcentaje de humedad removido de las muestras, que para este estudio se seleccionaron a partir de un proceso de visualización de residuos (ver **Figura 2**), en el que se eligió visualmente los 2 tipos de cáscaras de fruta de mayor frecuencia en las bolsas de residuos, siendo estas cáscaras de banano (*Musa paradisiaca*) y cáscaras de granadilla (*Passiflora ligularis*).

### Figura 2

*Selección tipo de cáscaras a partir de visualización*



Para cada tipo de muestra se determinó su humedad inicial en laboratorio, sometiendo parte de estas a un proceso de secado a una temperatura de 105 °C; con la ecuación (1) se obtuvo el valor de humedad inicial. Simultáneamente se realizaron pruebas con el deshidratador durante 5 horas. Las cáscaras se distribuyeron en el interior del deshidratador, de forma que haya suficiente espacio entre ellas y que su tamaño no sea demasiado grande, permitiendo así el flujo de aire caliente; esto se puede observar en la **Figura 3** y **Figura 4**.

### Figura 3

*Ubicación cáscaras de granadilla para su deshidratación*



**Figura 4**

*Ubicación cáscaras de banano para su deshidratación*

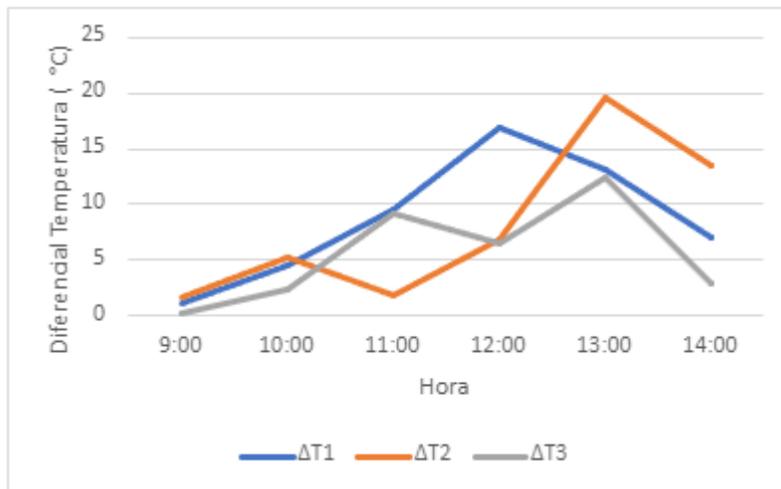


En total se realizaron 6 pruebas, 3 para cáscaras de banano llevadas a cabo los días 15, 17 y 23 de mayo del presente año. Igualmente, para las cáscaras de granadilla se realizaron 3 pruebas, estas en los días 27 y 31 de mayo, y 5 de junio.

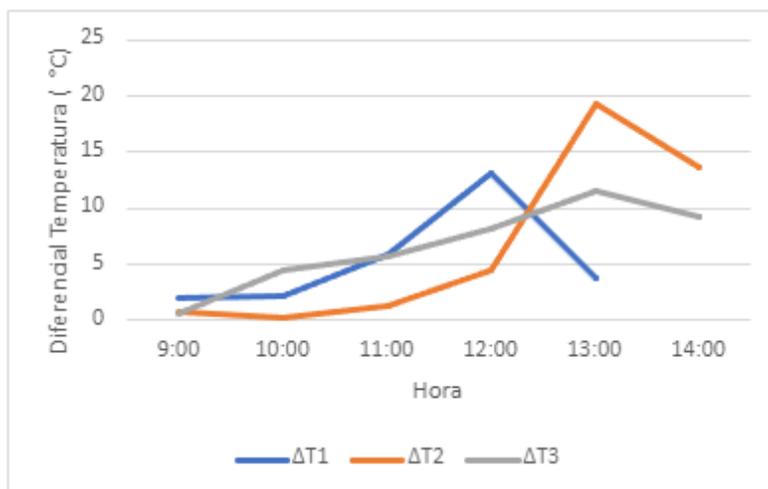
Para ambos tipos de cáscaras se obtuvo un diferencial de temperatura cada hora, entre la temperatura ambiente y la temperatura dentro del deshidratador. En la **Figura 5** y **Figura 6** se observan los datos registrados para las 6 pruebas.

**Figura 5**

*Diferencial de temperatura para pruebas con cáscaras de banana*

**Figura 6**

*Diferencial de temperatura para pruebas con cáscaras de granadilla*

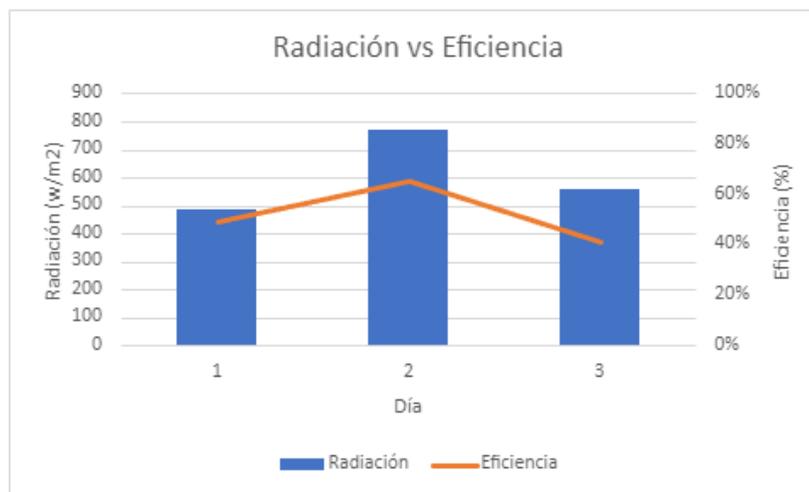


De acuerdo con la **Figura 5** y **Figura 6**, el comportamiento de la temperatura varía considerablemente para cada prueba, lo cual se relaciona con los niveles de radiación total, que presentó valores promedio entre los 488 W/m<sup>2</sup> y 774 W/m<sup>2</sup>. Esta radiación es afectada por las condiciones atmosféricas y la hora del día. Para las 6 pruebas, se evidencia que los picos de temperatura se presentan generalmente entre las 12:00M y la 1:00 PM, siendo este el periodo de

mayor remoción de humedad. Esto sugiere que la eficiencia del deshidratador es máxima durante este tiempo. Además, se determinó la eficiencia en términos de remoción de humedad de las muestras en cada montaje, y junto a los datos obtenidos del Piranómetro SIATA – 600, se elaboró la **Figura 7** y **Figura 8**, que reflejan la variación de la eficiencia del deshidratador respecto a los niveles de radiación solar total para las cáscaras de banano y de granadilla, respectivamente.

### Figura 7

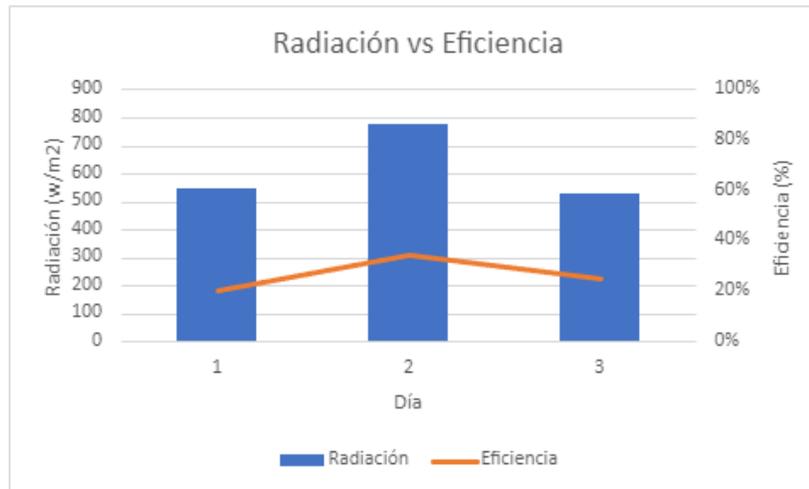
*Variación de la eficiencia por niveles de radiación para cáscaras de banano*



Como se evidencia en el anterior gráfico, las pruebas 1 y 3 tienen valores de radiación promedio de 488 y 560 W/m<sup>2</sup> respectivamente, donde la eficiencia de la prueba 3, 41%, es más baja a comparación de la prueba 1, con 49%. Por otro lado, la prueba 2 presentó los valores más altos de radiación promedio, 771 W/m<sup>2</sup>, y una eficiencia del 65%.

### Figura 8

*Variación de la eficiencia por niveles de radiación para cáscaras de granadilla*



En el gráfico se observa un aumento de la eficiencia del deshidratador en los niveles más altos de radiación. Para las 3 pruebas, los cambios frecuentes en las condiciones meteorológicas generaron variaciones en los resultados de eficiencia, aún para niveles altos de radiación como se observa en la prueba número 2, donde la radiación promedio es de 774 W/m<sup>2</sup> y su eficiencia del 35%.

Posterior al proceso de deshidratación, y al obtener los pesos finales de las muestras, se calcularon los niveles de humedad final para estas. A partir de estos datos se obtuvieron los valores de eficiencia para cada tipo de residuo orgánico. En la **Tabla 2** y **Tabla 3** se observan los valores de humedad inicial, final y la eficiencia registrados para las pruebas con cáscaras de banano y de granadilla respectivamente.

**Tabla 2**

*Resultados de eficiencia para el deshidratador con cáscaras de banano*

Prueba	1	2	3	Promedio
<b>Humedad inicial (%)</b>	88.05	83.93	83.98	85.32
<b>Humedad final (%)</b>	50.79	34.59	58.54	47.97
<b>Eficiencia (%)</b>	49.21	65.41	41.46	52.03

*Nota.* Los valores de humedad inicial se determinaron en laboratorio.

**Tabla 3***Resultados de eficiencia para el deshidratador con cáscaras de granadilla*

Prueba	1	2	3	Promedio
<b>Humedad inicial (%)</b>	83.06	80.25	82.20	81.84
<b>Humedad final (%)</b>	79.51	65.39	74.75	73.21
<b>Eficiencia (%)</b>	20.49	34.61	25.25	26.79

*Nota.* Los valores de humedad inicial se determinaron en laboratorio.

La humedad inicial es mayor en las cáscaras de banano, con un valor promedio de 85.32%, mientras que las de granadilla tienen un valor de 81.84%, igualmente su eficiencia de remoción de humedad promedio es mayor, con un valor de 52.03 % para las 3 pruebas realizadas, y para las de granadilla, hubo una eficiencia promedio del 26.79 % para la misma cantidad de pruebas. Con base en esto, se puede relacionar la incidencia de las características fisicoquímicas del material orgánico en la eficiencia del proceso de deshidratación, partiendo de que las condiciones de radiación y temperatura no presentaron variaciones drásticas entre las 6 pruebas, y aun así los resultados de eficiencia son de casi el doble para las cáscaras de banano.

Los resultados obtenidos respecto a lo requerido a la norma NTC 5167 (2022), no dan cumplimiento a dicho requisito, teniendo una humedad final promedio del 47.97% y 73.21% para cáscaras de banano y granadilla respectivamente, los cuales están muy por encima del 30% máximo que establece la norma en mención. Estos valores están en base húmeda, refiriéndose al porcentaje de agua respecto al peso total de la muestra después del proceso de deshidratación. Por falta de presupuesto, no fue posible determinar el contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio para las cáscaras analizadas, por tanto, se recurrió a estudios similares, donde determinaron las propiedades fisicoquímicas para cáscaras de banano sometidas a deshidratación. Dichos valores se observan en la **Tabla 4**, registrando alto contenido de potasio, en relación con los otros nutrientes. A pesar de contar con información sobre las cáscaras de granadilla, esta se centra principalmente en la fruta fresca y no en sus cáscaras deshidratadas. Se realizó una revisión exhaustiva de la literatura científica y de bases de datos especializadas en nutrición y alimentos, pero por la poca

disponibilidad de tiempo para seguir la búsqueda, no se encontraron datos para las cáscaras de granadilla.

#### **Tabla 4**

*Contenido teórico de nitrógeno, fósforo y potasio para cáscaras de banano*

<b>Material</b>	<b>N (%)</b>	<b>P (%)</b>	<b>K (%)</b>
<b>Cáscara de banano</b>	0.8	1.6	11.5

*Nota.* Datos obtenidos de “Lactic acid fermentation of banana peel using *Lactobacillus plantarum*: Effect of substrate concentration, inoculum concentration, and various nitrogen sources”.

En todas las pruebas realizadas se calculó, a partir de los pesos y porcentajes iniciales de humedad, la masa de agua removida de las muestras para cada tipo de materia orgánica y el porcentaje de remoción de humedad, lo que permitió dar cumplimiento al tercer objetivo de este trabajo. La **Tabla 5** y **Tabla 6** reflejan los resultados obtenidos. Es evidente que el porcentaje de remoción para las cáscaras de banano es significativamente mayor al de cáscaras de granadilla, con valores promedio de 44.33% y 21.87% para cada caso, los cuales están relacionados con el contenido de humedad inicial de las muestras.

#### **Tabla 5**

*Masa removida y porcentaje de remoción para cáscaras de banano*

<b>Prueba</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso inicial (g)	150	255	200
Peso final (g)	85	115	130.4
Masa removida (g)	60	140	69.6
Porcentaje remoción	43.3%	54.9%	34.8%

#### **Tabla 6**

*Masa removida y porcentaje de remoción para cáscaras de granadilla*

<b>Prueba</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso inicial (g)	235	180	265
Peso final (g)	195	130	210
Masa removida (g)	40	50	55
Porcentaje remoción	17%	27.8%	20.8%

A partir de valores promedios de humedad inicial y final obtenidos en las pruebas, se estimó la cantidad de humedad que se puede remover de 1000g de los residuos orgánicos seleccionados, teniendo en cuenta que el proceso de deshidratación debe realizarse bajo condiciones similares de radiación, temperatura y humedad. Para las cáscaras de banano se obtuvo un valor de remoción de humedad de 590.1 g/kg y para las de granadilla de 410.2 g/kg. En la **Tabla 7** y la **Tabla 8** se presentan de forma más detallada los valores relacionados con los niveles de humedad.

**Tabla 7**

*Remoción de humedad por cada 1000 g de cáscara de banano*

<b>Cáscara de Banano</b>	
Peso Inicial (g)	1000.0
Humedad Inicial (g)	853.2
Humedad Final (g)	409.3
Humedad Removida (g)	<b>443.9</b>

*Nota.* El valor de humedad removida es un valor estimado a partir de valores promedio de humedad inicial y humedad final.

**Tabla 8**

*Remoción de humedad por cada 1000 g de cáscara de granadilla*

<b>Cáscara de Granadilla</b>	
------------------------------	--

---

Peso Inicial (g)	1000.0
Humedad Inicial (g)	818.4
Humedad Final (g)	599.1
Humedad Removida (g)	<b>219.2</b>

---

*Nota.* El valor de humedad removida es un valor estimado a partir de valores promedio de humedad inicial y humedad final.

Los residuos verdes (provenientes de poda, tala y/o jardinería), en su mayoría suelen ser aprovechados internamente mediante compostaje, pero en ocasiones se sobrepasa la capacidad de las zonas destinadas a dicho proceso. Por tanto, un gestor externo, BIOCICLO, se encarga de recolectar, transportar y disponer el excedente de residuos, transformándolos en compost. Para el año 2024, la tarifa por viaje de residuos verdes en vehículo con capacidad para 16 ton en peso fue de \$822,800 + IVA, realizando 4 viajes por mes, además, se cuenta con las cantidades de residuos verdes generados para los primeros 3 meses (ver **Tabla 9**), lo cual permitió calcular el gasto de gestión de residuos orgánicos por kilogramo.

### **Tabla 9**

*Residuos verdes generados mensualmente en UPB – Sede Laureles (2024)*

---

<b>Mes</b>	<b>R. Orgánicos (kg)</b>	<b>COP/kg</b>
<b>Enero</b>	9640	406.3
<b>Febrero</b>	11280	347.2
<b>Marzo</b>	8560	457.5

---

*Nota.* Datos obtenidos de “Generación de Residuos Sólidos - UPB” (2024).

A partir de los valores mensuales para transporte y gestión de residuos orgánicos, se calculó el costo promedio por kilogramo, siendo este de \$403.7. Luego, teniendo en cuenta las estimaciones de remoción de humedad realizadas anteriormente, mediante cálculos sencillos se obtuvo que: someter 1 kg de residuos de cáscaras de banano o 1 kg de cáscaras de granadilla a retirar humedad

en el deshidratador solar podría generar una disminución de costos de hasta \$179.2/kg y \$88.5/kg respectivamente.

## 7 Discusión

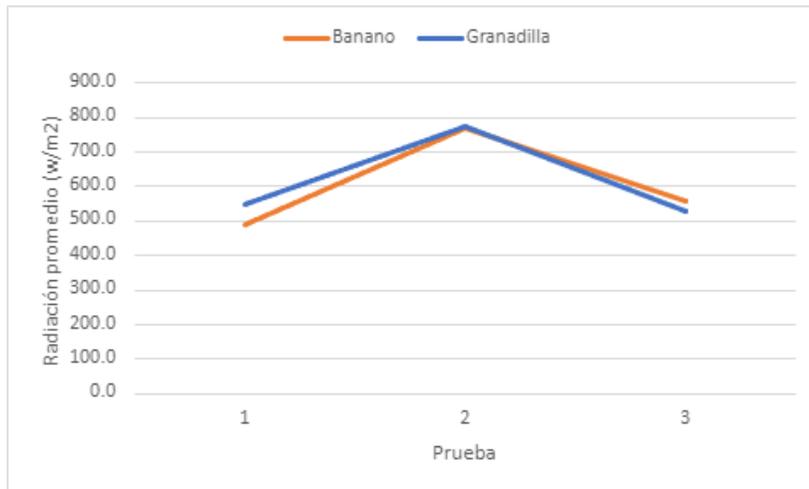
La variación en los niveles de radiación afecta directamente la eficiencia obtenida, y según Marulanda et al (2021), se esperaría que a mayor radiación mayor sea la eficiencia del deshidratador. Sin embargo, al analizar los resultados obtenidos, observamos algunas discrepancias con los resultados obtenidos. Como se evidencia en la **Figura 7**, la prueba 2 sigue la tendencia esperada por Marulanda et al. (2021), ya que a mayor radiación ( $771 \text{ W/m}^2$ ) se observa una mayor eficiencia (65%). Esto confirma que, bajo condiciones favorables y con una correcta operación del deshidratador solar, un aumento en la radiación resulta en una mayor eficiencia de deshidratación. Sin embargo, las pruebas 1 y 3 no siguen esta relación esperada. En la prueba 1, con una radiación promedio de  $488 \text{ W/m}^2$ , se obtuvo una eficiencia del 49%, mientras que en la prueba 3, con una radiación promedio mayor de  $560 \text{ W/m}^2$ , la eficiencia fue solo del 41%.

La eficiencia del deshidratador solar, en términos de remoción de humedad para los dos tipos de cáscaras analizadas, depende de múltiples factores: radiación solar, temperatura, humedad del aire, velocidad del viento, características fisicoquímicas del material, entre otras. La radiación brinda la energía necesaria para el proceso de deshidratación. El aumento de la temperatura del aire incrementa su capacidad de absorción del vapor de agua retirado de las muestras; por cada  $20^\circ\text{C}$  de aumento de la temperatura del aire su capacidad de retener vapor de agua se triplica, y por consecuencia su humedad relativa se reduce a un tercio, donde esto último representa un aporte que facilita la evaporación del agua. Es necesario que el viento esté en constante movimiento, renovándose frecuentemente, permitiendo así el transporte del vapor de agua del material orgánico (UNESCO, 2005). Considerar la medición y análisis de todos los parámetros y variables genera mayor complejidad en la determinación de la eficiencia, lo cual no es práctico para el presente trabajo.

En la **Figura 9** y **Figura 10** se compara la radiación solar promedio y la temperatura ambiental promedio respectivamente, en un periodo de tiempo de 5 horas para las 3 pruebas, esto para ambos tipos de cáscaras.

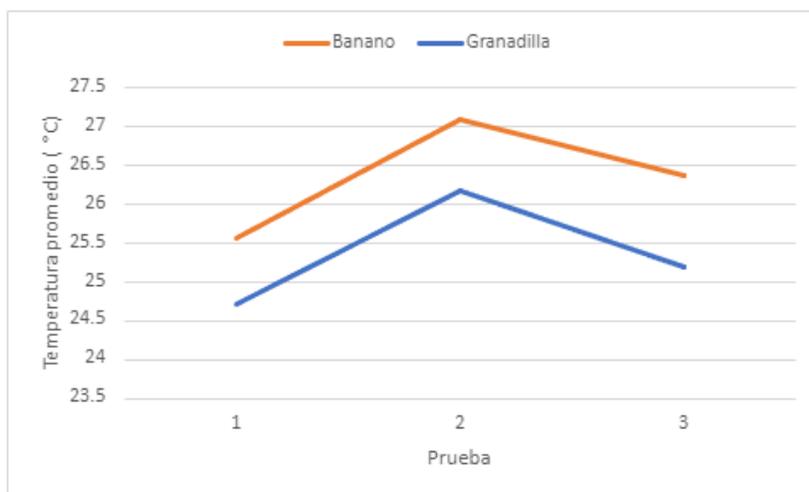
### Figura 9

*Comparativo de radiación promedio en las 3 pruebas para ambos tipos de cáscaras*



**Figura 10**

*Comparativo de temperatura ambiente promedio en las 3 pruebas para ambos tipos de cáscaras*



Al analizar los resultados de eficiencia obtenidos, y las condiciones de temperatura y radiación, se observa que las pruebas con cáscaras de banano presentan niveles de radiación promedio más bajos que las pruebas con cáscaras de granadilla, y a pesar de esto, las temperaturas ambientales promedio son más altas para las pruebas con cáscaras de banano. Esto evidencia que la temperatura del ambiente no depende únicamente de la radiación solar, siendo resultado de diferentes factores además de este, como la capacidad de retención de calor de la superficie, variación en la cobertura del suelo, corrientes de aire, condiciones meteorológicas locales, etc. Como menciona Torres (2008), “la irradiación constante determina un almacenamiento progresivo

de calor en el terreno, simultáneamente el suelo caliente reemite radiación, calentando de esta manera el aire que se encuentra sobre el mismo”, lo cual explica el retardo en los picos de temperatura respecto a los picos de radiación, donde generalmente la intensidad solar más alta se presenta a medio día, pero la temperatura ambiente alcanza su pico en las primeras horas de la tarde.

Ahora, las anteriores gráficas indican que los niveles de radiación y temperatura promedio no varían significativamente entre las pruebas, con diferencias que no superan los 1.2 grados en la temperatura y 62 w/m<sup>2</sup> para la radiación, aunque la diferencia de eficiencia es más del doble, 52.03% de eficiencia para las cáscaras de banano y 26.79% para las cáscaras de granadilla. Según lo anterior, se evidencia que las características fisicoquímicas del material orgánico a deshidratar influyen altamente en la eficiencia del deshidratador. Las cáscaras de banano y granadilla tienen diferente contenido inicial de humedad, lo que puede requerir un proceso de deshidratación más prolongado para el material orgánico con el contenido de humedad más alto. Los valores teóricos de contenido de humedad para las cáscaras de banano son de 88.87% y de granadilla de 76.02% (Rojas et al. 2019), mientras que los valores obtenidos en laboratorio son de 85.32% y 81.84% respectivamente; también, la estructura celular de las cáscaras influye en la velocidad de remoción de humedad, donde las cáscaras más gruesas y densas requerirán más tiempo para deshidratarse completamente. Otros aspectos para considerar son la porosidad de las muestras, estado de madurez, presencia de azúcares, almidones y demás compuestos que afecten la retención de humedad; según Zúñiga (1993) “la cáscara de banano maduro contiene aproximadamente 2,7% de fructosa, 3,2% de glucosa y 7,8% de sacarosa en base seca” y pueden tener hasta un 30% de contenido de almidón (Li et al. 2018), mientras que las cáscaras de granadilla no se registraron contenidos de almidón; sin embargo, los contenidos de sacarosa, fructosa y glucosa presentan niveles importantes, esto según Melgarejo et al (2015).

Utilizando la ecuación (2), (3) y (4) calculamos los valores teóricos de peso seco que se esperaría obtener al alcanzar una humedad final (en base húmeda) del 30%, siendo estos valores calculados para condiciones y parámetros constantes. La **Tabla 10** y la **Tabla 11** contiene dichos valores, además, contienen los valores reales de peso seco alcanzados de manera experimental, permitiendo comparar directamente los resultados y dejando en evidencia que en ninguno de los

casos prácticos se alcanzó los valores teóricos obtenidos mediante las ecuaciones planteadas en la guía de la UNESCO, es decir, en ningún caso se logró una humedad final menor al 30%.

**Tabla 10**

*Pesos secos teóricos y experimentales para humedad seca del 30% en cáscaras de banana*

	<b>Peso fresco (g)</b>	<b>Humedad fresca</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Peso seco (g)</b>
<b>Teórico 1</b>	150	88.05%	17.1%	25.6
<b>Prueba 1</b>			56.7%	85.0
<b>Teórico 2</b>	255	83.93%	23.0%	58.5
<b>Prueba 2</b>			45.1%	115.0
<b>Teórico 3</b>	200	83.98%	22.9%	45.8
<b>Prueba 3</b>			65.2%	130.4

**Tabla 11**

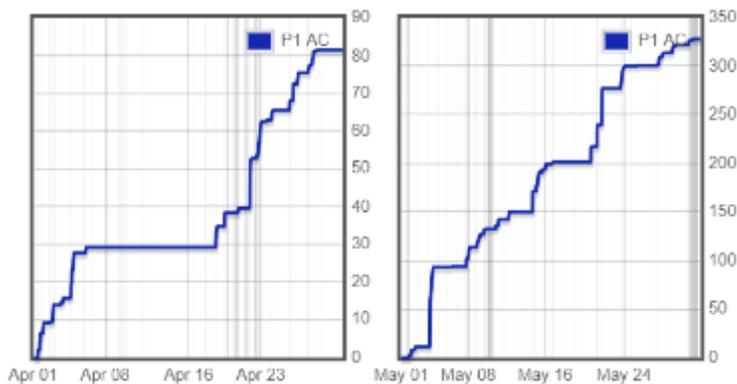
*Pesos secos teóricos y experimentales para humedad seca del 30% en cáscaras de granadilla*

	<b>Peso fresco (g)</b>	<b>Humedad fresca</b>	<b>Rendimiento</b>	<b>Peso seco (g)</b>
<b>Teórico 1</b>	235	83.06%	24.2%	56.9
<b>Prueba 1</b>			83.0%	195.0
<b>Teórico 2</b>	180	80.25%	28.2%	50.8
<b>Prueba 2</b>			72.2%	130.0
<b>Teórico 3</b>	265	82.20%	25.4%	67.4
<b>Prueba 3</b>			79.2%	210.0

Las condiciones meteorológicas para los días en que se realizaron las pruebas influyeron considerablemente en los resultados de remoción de humedad y eficiencia, teniendo en cuenta que, para pruebas realizadas anteriores a este estudio con el mismo deshidratador, los resultados arrojados presentaron mayores gradientes de temperatura y porcentajes de remoción de humedad más elevados.

### Figura 11

*Acumulado de precipitación para los meses de abril y mayo*



*Nota.* Adaptado de Graficador [Imagen PNG], SIATA, 2024.

La **Figura 11** permite apreciar el acumulado de precipitaciones obtenidos de la Estación 446: Deprimido Bulerías - Pluviómetro, siendo evidentes las diferencias en los niveles de precipitación medidos para ambos meses, donde en mayo hay un acumulado 4 veces mayor que en abril. El aumento en la frecuencia e intensidad de las precipitaciones afecta directamente a los niveles de radiación solar que llegan a la superficie, por las limitaciones de las nubes, por tanto, los resultados obtenidos en el estudio no presentaron las condiciones óptimas para evaluar el potencial del deshidratador solar.

## 8 Conclusiones

Las horas de exposición solar a las que se sometió el deshidratador mostraron una eficiencia limitada, esto sumado a las condiciones meteorológicas adversas y la variabilidad en la radiación solar. Con las cáscaras de banano se logró una eficiencia de remoción promedio del 52.3%, y las de granadilla, del 26.79%, resultados insuficientes para lograr un contenido de humedad final en base húmeda máximo del 30%. La eficiencia del deshidratador puede mejorarse ajustando la superficie de recepción de radiación solar, el ángulo de ubicación y utilizando diferentes materiales aislantes.

Las pruebas indicaron que las cáscaras de banano, aunque no cumplen con los requisitos seleccionados de la NTC 5167 - 2022, pueden ser aprovechadas en el compostaje debido a su alto contenido de potasio.

Los resultados sugieren una posible reducción en los costos de gestión de residuos, estimando ahorros de hasta \$179.2/kg para cáscaras de banano y \$88.5/kg para cáscaras de granadilla.

Las limitaciones del estudio incluyen la realización de pruebas en un mes con alta precipitación y variaciones meteorológicas, restricciones de tiempo y recursos, y la falta de datos nutricionales completos. Específicamente, el corto periodo de exposición solar concluyó que 5 horas no fueron suficientes para deshidratar completamente los dos tipos de residuos orgánicos analizados, dado el alto contenido de humedad final que presentaron tras cada prueba. Además, la falta de información relevante sobre el contenido nutricional de las cáscaras de granadilla, posiblemente debido a una falta de búsqueda exhaustiva o incapacidad para encontrar dicha información, limitó la interpretación completa de los resultados para este tipo de residuo.

## **9 Recomendaciones**

Se recomienda incluir más variables y parámetros, como la humedad del aire, velocidad del viento, volumen de las muestras, entre otras, esto con la finalidad de obtener resultados de eficiencia más acordes a la realidad. Además, extender los periodos de deshidratación, observando el comportamiento de la eficiencia ante intervalos de pruebas más grandes.

Considerar la capacidad del deshidratador y el volumen ocupado en la distribución del material orgánico dentro de este, analizando la variación de la eficiencia ante muestras de menor tamaño y grosor. Estimar la eficiencia para diferentes tipos de residuos orgánicos.

## Referencias

- Abdullah, A., & Amalia, Y. (2023). *Lactic acid fermentation of banana peel using Lactobacillus plantarum: Effect of substrate concentration, inoculum concentration, and various nitrogen sources*. Reaktor. <https://doi.org/10.14710/reaktor.22.3.92-101>.
- Alcaldía de Medellín. (2019). *Informe de la caracterización de residuos sólidos generados en el sector residencial del área urbana y rural del Municipio de Medellín y sus cinco corregimientos*. Consorcio Residuos Sólidos Medellín.
- A. M. Abubakar, Y. Luka, S. Abdullahi, P. Baboo, and S. A. Kareem, "NPK Biofertilizer Production from Banana Peel, Feather and Bone Ashes and their Comparative Advantage to 20:10:10 Inorganic Fertilizer", *Sci. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 68–79, Apr. 2024, doi: 10.54327/set2024/v4.i1.118.
- Breeze, P. (2005). *Power Generation Technologies*. *Power Generation Technologies*, 1–276. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-6313-7.X5000-1>
- Bukke, S., Pillai, B. B., & Karthikeyan, A. K. (2016). Experimental Studies on Drying of Orange Peel in Solar Tunnel Dryer Using Sensible Heat Storage Material. *IEEE*, 198-201.
- Cañón, M. (2015). *Diseño de un secador solar de residuos orgánicos alimentarios como paso previo del proceso de combustión* [Trabajo de grado]. Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Departamento nacional de Planeación. (2016). *CONPES 3874*. Obtenido de Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos.
- Dhake, Kushal, Sanjay Kumar Jain, Sandeep Jagtap, and Pankaj B. Pathare. 2023. "Effect of Pretreatment and Temperature on Drying Characteristics and Quality of Green Banana Peel" *AgriEngineering* 5, no. 4: 2064-2078. <https://doi.org/10.3390/agriengineering5040127>
- Dr. Memon, Mehrunisa & Memon, Kazi & Mirani, Sahar & Jamro, Ghulam Murtaza. (2012). Comparative evaluation of organic wastes for improving maize growth and NPK content. *AFRICAN JOURNAL OF BIOTECHNOLOGY*. 11. 10.5897/AJB12.004.
- El-Mesery, H. S., El-Seesy, A. I., Hu, Z., & Li, Y. (2022). *Recent developments in solar drying technology of food and agricultural products: A review The potential of climate-resilient energy practices depends on the integration of sustainable energy with energy*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.112070>
- Forbes, H., Quested, T., & O'Connor, C. (2021). *Food waste index report 2021* (p. 100). United Nations Environment Programme.
- Fundación Celestina Pérez de Almada. (2005). *Guía de uso de secadores solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000156206>
- García, E., Fernández, I., Fuentes, A. (2012). *Aplicación de la determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con una base fuerte*. Universidad Politécnica de Valencia.

- García, L., Mejía, M., Mejía, D., & Valencia, C. (2012). *Diseño y construcción de un deshidratador solar de frutos tropicales*. AVANCES Investigación en Ingeniería Vol. 9 - No. 2.
- Guillén, M. (2019). *Diseño, construcción y evaluación de un deshidratador solar para tomate*. [Trabajo de grado]. Universidad del Valle de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Recuperado de: <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/3449>
- IDEAM (2015). *CARÁCTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE CIUDADES PRINCIPALES Y MUNICIPIOS TURÍSTICOS*. [Archivo PDF]. Recuperado el 17 de junio de 2024.
- INM. (2021). *GUÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE CONTENIDO DE HUMEDAD EN GRANOS Y CEREALES*. [Archivo PDF]. Instituto Nacional de Metrología de Colombia. Bogotá, D.C. Versión No. 1.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas - ICONTEC. (2022). *Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo*. NTC 5167. Tercera actualización.
- Kherrafi, M. A., Benseddik, A., Saim, R., Bouregueba, A., Badji, A., Nettari, C., & Hasrane, I. (2024). *Advancements in solar drying technologies: Design variations, hybrid systems, storage materials and numerical analysis: A review*. *Solar Energy*, 270, 112383. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.112383>
- Li, Zheng, Ke Guo, Lingshang Lin, Wei He, Long Zhang, and Cunxu Wei. 2018. "Comparison of Physicochemical Properties of Starches from Flesh and Peel of Green Banana Fruit" *Molecules* 23, no. 9: 2312. <https://doi.org/10.3390/molecules23092312>
- Martínez, M. (2020). *Análisis Instrumental. Espectrometría de Absorción Atómica (EAA)*. Universidad Politécnica de Valencia.
- Melgarejo, L., Rodríguez, N. (2015). *Granadilla (Passiflora ligularis Juss): caracterización ecofisiológica del cultivo*. Universidad Nacional de Colombia (Sede Bogotá). Facultad de Ciencias: Colciencias: Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico de las Pasifloras de Colombia – CEPASS.
- Moussaoui, H., Chatir, K., Do, A., Khanlari, A., Kouhila, M., Idlimam, A., & Lamharrar, A. (2024). *Improving environmental sustainability of food waste using a solar dryer: Analyzing drying kinetics and biogas production potential*. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.112341>
- Pandey, S., Budhathoki, M., Jose, F., Perez-Cueto, A., & Thomsen, M. (2023). *Factors influencing consumers' food waste reduction behaviour at university canteens*. *Food Quality and Preference*, 111, 104991. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.104991>
- Chávez Porras, A., Rodríguez González, A. (2016). *Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica*. *Revista Academia y Virtualidad*, 9, (2), p-p

- Posada, J., Gómez, B. (2022). *Caracterización de residuos sólidos que se generan en los diferentes bloques y unidades de la sede central de la universidad pontificia bolivariana, localizada en la ciudad de Medellín, Antioquia*. Universidad Pontificia Bolivariana.
- Rojas, A., Flórez, C. (2019). VALORIZACIÓN DE RESIDUOS DE FRUTAS PARA COMBUSTIÓN Y PIRÓLISIS. *Revista Politécnica* ISSN 2256-5353 (En línea), Año 15, Número 28, páginas 42-53.
- Secretaría de Salud. (2012). Norma Oficial Mexicana NOM-131-SSA1-2012, Productos y servicios. Fórmulas para lactantes, de continuación y para necesidades especiales.
- S. Marulanda-Meza, J. C. Burbano-Jaramillo, “Evaluación energética de un deshidratador solar tipo túnel para frutas,” *Rev. UIS Ing.*, vol. 20, no. 2, pp. 31-44, 2021, doi: 10.18273/revuin.v20n2-2021003
- SSPD. (2020). *Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos 2019*. [Archivo PDF]
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2021). *Informe nacional de disposición final de residuos sólidos 2020*. [Archivo PDF]
- Torres, M., & Vega, D. (2015). *Evaluación de un sistema de secado con energía solar, para deshidratar los residuos orgánicos generados en el restaurante del bloque D de la Universidad Libre Sede Bosque Popular* [Trabajo de grado]. Universidad Libre.
- Torrez, R. (2008). IRRADIANZA SOLAR Y TEMPERATURA DEL AIRE SUPERFICIAL EN UNA ATMÓSFERA ESTÁTICA. *Revista Boliviana de Física*, 14(14), 116-120. Recuperado en 13 de junio de 2024, de [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1562-38232008000100011&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1562-38232008000100011&lng=es&tlng=es).
- Universidad Pontificia Bolivariana (2024). *REGISTRO DE RECOLECCIÓN RESIDUOS ORDINARIOS*. [Archivo Excel]. Recuperado el 17 de junio de 2024.
- Zúñiga, A.M.B. (1993). *Efecto de diferentes niveles de cáscara de banano sobre la degradabilidad de los forrajes tropicales*. [Tesis Ing. Agr. Zoot]. San José, CR, UCR. 37p.