



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
y del Medio Natural

COMPARACIÓN Y MODELIZACIÓN DE LA CINÉTICA DE
DESHIDRATACIÓN DE HOJAS DE MORINGA EN
INSTALACIÓN CERRADA EN CAMPO Y EN SECADOR
CONVECTIVO DE BANDEJAS

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

AUTOR/A: Mocholí Pérez, Borja

Tutor/a: Castelló Gómez, María Luisa

Cotutor/a: Ortolá Ortolá, M^a Dolores

Director/a Experimental: GARCIA MARES, FRANCISCO JOSE

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

COMPARACIÓN Y MODELIZACIÓN DE LA CINÉTICA DE DESHIDRATACIÓN DE HOJAS DE MORINGA EN INSTALACIÓN CERRADA EN CAMPO Y EN SECADOR CONVECTIVO DE BANDEJAS

Resumen

El cambio climático implica recurrir a cultivos menos exigentes en aporte hídrico y más tolerantes con las altas temperaturas. En este sentido, la adaptación de la *Moringa oleifera* a la cuenca mediterránea española supone una alternativa a la producción vegetal sostenible ofreciendo a su vez productos derivados de diferentes partes de la planta altamente nutritivos. Además, en otras zonas geográficas menos desarrolladas y con clima tropical podría suponer una alternativa de cultivo con elevadas posibilidades económicas. No obstante, en ambos casos, la estabilización de las hojas se requiere para poder abastecer el mercado de producto de forma uniforme. Por ello, este Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo el diseño de un secador modular, económico y escalable que permita deshidratar las hojas en el mismo campo con la consiguiente reducción de los costes de producción, modelizando la cinética de secado y comparándola con la obtenida en un secador de bandejas semindustrial. Asimismo, se ha comparado las características fisicoquímicas de las hojas de moringa deshidratadas en ambos secadores y que procedían de plantaciones con distintas edades (1 y 4 años). Los resultados ponen de manifiesto la viabilidad del secador de campo diseñado. La cinética de secado en ambos equipos se ajustó mejor al modelo Logarítmico. Aunque la humedad de equilibrio alcanzada es algo superior a la obtenida en el secador de bandejas por la variabilidad en las condiciones del aire en campo, el producto fue similar en términos de capacidad antioxidante, contenido proteico y color. Las hojas de plantaciones más jóvenes presentaron mayor capacidad antioxidante y alcanzaron un menor contenido en humedad final.

Palabras clave: *Moringa oleifera*, hoja, secado, cinética, antioxidantes, color, proteínas

Autor: Borja Mocholí Pérez

Valencia, septiembre 2022

Tutoras: M^a Luisa Castelló Gómez

M^a Dolores Ortolá Ortolá

Director experimental: Francisco José García Mares

COMPARACIÓ I MODELITZACIÓ DE LA CINÈTICA DE DESHIDRATACIÓ DE FULLES DE MORINGA EN INSTAL·LACIÓ TANCADA EN CAMP I EN ASSECADOR CONVECTIU DE SAFATES

Resum

El canvi climàtic implica recórrer a cultius menys exigents en aportació hídrica i més tolerants amb les altes temperatures. En este sentit, l'adaptació de la *Moringa oleifera* a la conca mediterrània espanyola suposa una alternativa a la producció vegetal sostenible oferint al seu torn productes derivats de diferents parts de la planta altament nutritius. A més, en altres zones geogràfiques menys desenrotllades i amb clima tropical podria suposar una alternativa de cultiu amb elevades possibilitats econòmiques. No obstant això, en ambdós casos, l'estabilització dels fulls es requerix per a poder abastir el mercat de producte de forma uniforme. Per això, este Treball Fi de Grau té com a objectiu el disseny d'un assecador modular, econòmic i escalable que permeta deshidratar els fulls en el mateix camp amb la consegüent reducció dels costos de producció, modelitzant la cinètica de deshidratació i comparant-la amb l'obtinguda en un assecador de safates semindustrial. Així mateix, s'ha comparat les característiques fisicoquímiques dels fulls de moringa deshidratades en ambdós assecadors i que procedien de plantacions amb distintes edats (1 i 4 anys). Els resultats posen de manifest la viabilitat de l'assecador de camp dissenyat. La cinètica d'assecat en ambdós equips es va ajustar millor al model Logarítmic. Encara que la humitat d'equilibri aconseguida és quelcom superior a l'obtinguda en l'assecador de safates per la variabilitat en les condicions de l'aire en camp, el producte va ser semblant en termes de capacitat antioxidant, contingut proteic i color. Els fulls de plantacions més joves van presentar major capacitat antioxidant i van aconseguir un menor contingut en humitat final.

Paraules clau: moringa, fulla, assecat, cinètica, antioxidants, color, proteïnes

Autor: Borja Mocholí Pérez

València, setembre 2022

Tutores: M^a Luisa Castelló Gómez

M^a Dolores Ortolá Ortolá

Director experimental: Francisco José García Mares

COMPARISON AND MODELLING OF MORINGA LEAVES DRYING KINETICS IN A CLOSED FACILITY IN THE FIELD AND IN A CONVECTIVE TRAY-DRYER

Abstract

Climate change implies resorting to crops that are less demanding in terms of water supply and more tolerant of high temperatures. In this regard, the adaptation of *Moringa oleifera* to the Spanish Mediterranean basin represents an alternative to sustainable plant production, offering highly nutritious products derived from different parts of the plant. Furthermore, in other less developed geographical areas with tropical climates, it could represent an alternative crop with high economic potential. However, in both cases, stabilisation of the leaves is required in order to supply the market with a uniform product. Therefore, the objective of this Final Degree Project is to design a modular, economical and scalable dryer that allows the leaves to be dehydrated in the same field with the consequent reduction of production costs, modelling the drying kinetics and comparing it with those obtained in a semi-industrial tray dryer. The physicochemical characteristics of the moringa leaves dried in both dryers from plantations of different ages (1 and 4 years old) were also compared. The results show the feasibility of the field dryer designed. The drying kinetics in both dryers were better adjusted to the Logarithmic model. Although the equilibrium moisture reached is somewhat higher than that obtained in the tray dryer due to the variability of air conditions in the field, the product was similar in terms of antioxidant capacity, protein content and colour. Leaves from younger plantations had a higher antioxidant capacity and reached a lower final moisture content.

Keywords: moringa, leaf, drying, kinetics, antioxidants, colour, proteins, dryer

Author: Borja Mocholí Pérez

Valencia, september 2022

Tutors: M^a Luisa Castelló Gómez

M^a Dolores Ortolá Ortolá

Experimental manager: Francisco José García Mares

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. <i>MORINGA OLEIFERA</i>	6
1.2. CULTIVO Y ESTADO DE PRODUCCIÓN	6
1.3. INTERÉS NUTRICIONAL Y USOS	7
1.4. CONDICIONES DE SECADO Y EQUIPOS	8
1.5. EXPLICACIÓN DE NECESIDAD DE SECADOR Y RELACIÓN ECONOMÍA CIRCULAR, PROYECTO DE COOPERACIÓN Y ODS. OPORTUNIDADES ECONÓMICAS DE LA PRODUCCIÓN DE MORINGA EN REGIONES TROPICALES CON BAJOS RECURSOS Y ZONAS SUBTROPICALES	9
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
2.1. MATERIA PRIMA.....	10
2.2. EQUIPOS Y CONDICIONES DE SECADO	10
2.3. MODELIZACIÓN DEL SECADO	12
2.4. DETERMINACIONES ANALÍTICAS	12
2.4.1. <i>HUMEDAD RELATIVA Y TEMPERATURA EN EL SECADOR DE CAMPO</i>	12
2.4.2. <i>VARIACIÓN DE PESO Y HUMEDAD</i>	12
2.4.3. <i>CONTENIDO EN PROTEÍNA</i>	13
2.4.4. <i>CAPACIDAD ANTIOXIDANTE</i>	13
2.4.5. <i>COLOR</i>	13
2.4.6. <i>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</i>	13
3. RESULTADOS.....	14
3.1. REGISTRO DE LA HUMEDAD RELATIVA Y LA TEMPERATURA DENTRO DEL SECADOR DE CAMPO 14	
3.2. VARIACIÓN DE MASA TOTAL Y CURVA DE SECADO	15
3.3. MODELIZACIÓN DEL SECADO	17
3.4. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE	20
3.5. PROTEÍNAS	20
3.6. COLOR	21
4. CONCLUSIONES	22
5. REFERENCIAS.....	22

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. DESCRIPCIÓN GRÁFICA DE LAS PARTES DEL ÁRBOL DE MORINGA OLEIFERA.	6
FIGURA 2. TIPOS DE EQUIPOS DE SECADO DE MORINGA; (A) SECADOR DE BANDEJAS, (B) SECADOR ARTESANAL DE AIRE (CONA, 2022; YGUÁ, 2022)	9
FIGURA 3. CLASIFICACIÓN DE LAS DIFERENTES TÉCNICAS DE SECADO PARA HOJAS.	9
FIGURA 4. DISTINTAS PERSPECTIVAS DEL MONTAJE DEL SECADOR EN SU ESTADO CERRADO.	11
FIGURA 6. CALENTADOR DE AIRE ENCARGADO DEL SECADO DE LAS HOJAS.....	11
FIGURA 5. DETALLE DE LAS PERFORACIONES EN EL SUELO DE LA CAJA PALET.	11
FIGURA 7. DESGLOSE DE LAS PARTES DEL SECADOR.	11
FIGURA 8. DISTRIBUCIÓN DE LOS DATALOGGERS DENTRO DEL SECADOR Y ORIENTACIÓN DE ESTE RESPECTO LOS PUNTOS CARDINALES.	14
FIGURA 9. VALORES DE TEMPERATURA MEDIDOS POR LOS DISTINTOS DATALOGGERS EN EL EXPERIMENTO DE SECADO.	14
FIGURA 10. VALORES DE TEMPERATURA MEDIDOS POR LOS DISTINTOS DATALOGGERS EN EL EXPERIMENTO DE SECADO.	15
FIGURA 11. VARIACIÓN DE PESO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO EN SECADOR DE CAMPO (A) O DE BANDEJAS (B).....	16
FIGURA 12. CURVAS DE SECADO DE HOJAS DE MORINGA SEGÚN LA EDAD DE LA PLANTACIÓN Y EL TIPO DE SECADOR, SIENDO LOS TRIÁNGULOS LOS VALORES PARA EL SECADOR DE CAMPO Y LOS CÍRCULOS PARA EL DE BANDEJAS.	16
FIGURA 13. MODELOS MATEMÁTICOS QUE REPRESENTAN LA EVOLUCIÓN DE LA FUERZA IMPULSORA (Y) A LO LARGO DEL TIEMPO DE SECADO, GENERADOS EN BASE A LOS DATOS EXPERIMENTALES. ORDENADOS DE MAYOR A MENOR COMPATIBILIDAD CON LOS DATOS, SIENDO EL MAYOR EL LOGARÍTMICO (A), SEGUIDO DE HENDERSON & PABIS (B) Y WANG & SINGH (C).	19
FIGURA 14. REPRESENTACIÓN DEL PORCENTAJE DE DPPH INHIBIDO POR LOS DISTINTOS TIPOS DE HOJA SECA.	20
FIGURA 15. PORCENTAJE DE PROTEÍNA CONTENIDO EN LAS HOJAS SECAS EXTRAÍDAS DE LOS EXPERIMENTOS EN CAMPO Y RECINTO CERRADO	21
FIGURA 16. (A) LUMINOSIDAD L^* Y (B) UBICACIÓN EN EL DIAGRAMA CROMÁTICO DE LAS COORDENADAS a^* Y b^* DE LAS HOJAS DE MORINGA FRESCAS Y DESHIDRATADAS EN FUNCIÓN DE LA EDAD DE PLANTACIÓN Y DEL TIPO DE SECADO.	22

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. MODELOS MATEMÁTICOS CINÉTICOS PARA CORRELACIONAR LA FUERZA IMPULSORA (Y) CON EL TIEMPO DE SECADO.	12
TABLA 2. PARÁMETROS DE LOS MODELOS SELECCIONADOS PARA LA MODELIZACIÓN DEL SECADO.	18

1. INTRODUCCIÓN

1.1. *Moringa oleifera*

La *Moringa oleifera*, la especie a estudiar y referida durante todo el documento con el término “moringa” (las demás especies están nombradas bajo su nombre en latín). Proviene de la familia Moringaceae que es monogenérica, cuyo género es *Moringa* y caracterizada por 13 especies de árboles florales tropicales y subtropicales dicotiledóneos. Casi todas las especies de *Moringa* se han originado en India y África, pero desde entonces se han extendido en varios países de los trópicos (Padayachee and Bajinath 2012).

El árbol de moringa puede alcanzar unos 10-12 m de altura con unos 45 cm de diámetro con tallo gris blanquecino, esbelto con ramas colgantes, quebradizo y con corteza corchosa de color gris blanquecino. Sus hojas son redondeadas y tripinnadas, con una longitud de 30-60 cm, plumosas en el haz y glabras en el envés. Sus flores con olor a miel son de unos 2,5 cm de diámetro con pétalos blancos o raramente rosados salpicados de rayas amarillas en la base. El fruto tiene forma de pico (puntiagudo en el ápice y ahusado en la base) cápsula, caído y de color marrón, de 20-120 cm de largo y 1-2,8 cm de diámetro, con costillas a lo largo de este y con tres ángulos (casi cilíndrico en la madurez), que se divide en tres partes cuando está seca. Posee alrededor de 15-24 semillas de color marfil blanco-marrón, con tres alas de hoja caduca parecidas a papel (Pandey et al. 2011). En la Figura 1 se pueden encontrar algunas de las partes descritas anteriormente.

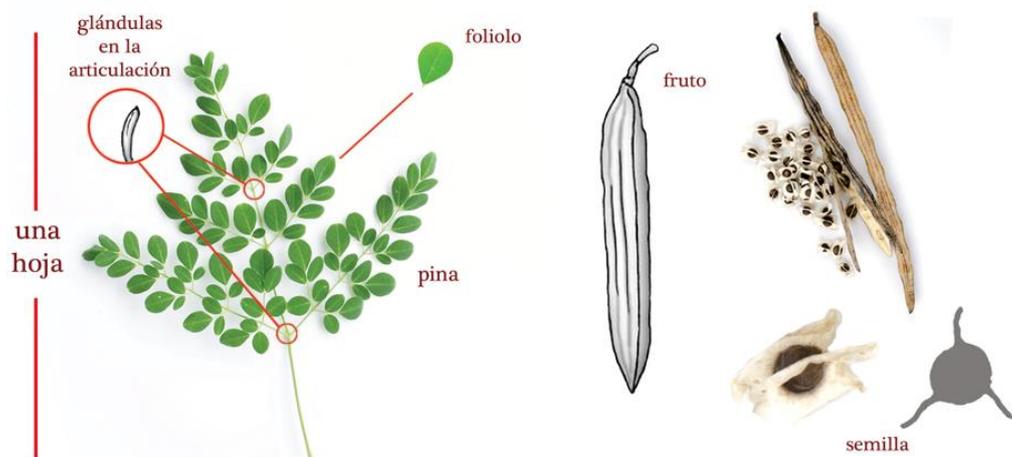


Figura 1. Descripción gráfica de las partes del árbol de *Moringa oleifera* (M.L. Santillán 2013)

1.2. Cultivo y estado de producción

El árbol de moringa crece mejor en los trópicos cálidos y semiáridos. Es tolerante a la sequía y crece con precipitaciones de entre 250-1500 mm por año. Las altitudes por debajo de 600 m son las mejores para la moringa. Sin embargo, crece hasta 1200 m en algunas áreas tropicales y en algún caso aislado se ha registrado a 2000 m. Las

condiciones de excesivo viento hacen que las hojas se sequen. Una helada puede matar un árbol maduro, hasta las raíces, pero es capaz de recuperarse, tolerando las heladas ligeras. El rango idóneo de temperaturas para el árbol es de 25-35 °C, aunque puede tolerar 48 °C por períodos de tiempo limitados, lo mismo que ocurre con las temperaturas en el límite inferior. En cuanto al suelo, lo ideal son los suelos arenosos o francos bien drenados. Toleraría un suelo arcilloso, pero no saturado de agua. El rango de pH tolerado es amplio, desde 5-9 creciendo bastante bien en condiciones alcalinas de pH 9. Para su cultivo, es aconsejable que estos grandes árboles adquieran una forma de arbusto. Para ello, se necesita una frecuente poda, si esta es de las puntas tiernas el árbol se vuelve más frondoso que en su naturaleza (Price 2007).

La planta es indígena de las regiones sub-Himalayas de India, Pakistán, Bangladesh y Afganistán (Fahey 2005). Se cultiva comúnmente en toda la India. La planta se encuentra mayoritariamente en Assam, Gujarat y Uttar Pradesh, estados del país, pero crece casi en todo el territorio nacional (hasta la elevación más baja en regiones montañosas) (Sanjay and Dwivedi 2015). La moringa es un árbol perenne tropical de madera blanda con baja calidad constructiva, pero que durante siglos ha sido recomendado para usos medicinales e industriales tradicionales. Ya es un cultivo importante en otros países como Etiopía, Filipinas y Sudán, y se cultiva en el oeste, este y sur de África, Asia tropical, América Latina, el Caribe, Florida y las islas del Pacífico (Fahey 2005). La moringa parece ser una planta de bosque caducifolio en zonas tropicales o quizás apenas afuera de la zona tropical, en su estado silvestre (Olson and Alvarado-Cárdenas 2016). En regiones de climas subtropical el árbol de moringa es caducifolio, presentando su máxima producción de hojas y vainas entre verano y principios de otoño.

En España, el cultivo de moringa se introdujo en Canarias y en ciudades mediterráneo-tropicales de la Península Ibérica, como Almería y Málaga, hace diez años. El clima subtropical similar de las Islas Canarias junto con un suelo volcánico rico en nutrientes son las condiciones más adecuadas para los cultivos de moringa, obteniendo valores nutricionales más altos en comparación con otros analizados en diferentes lugares (Rubio-Sanz et al. 2021).

1.3. Interés nutricional y usos

A través de la investigación, se encontró que la moringa contienen muchos nutrientes esenciales, por ejemplo, vitaminas, minerales, aminoácidos, betacaroteno, antioxidantes, anti- nutrientes antiinflamatorios y ácidos grasos omega 3 y 6 (Essa et al. 2014).

Concretamente las hojas, que es la parte a estudiar, es una buena fuente de aminoácidos esenciales, especialmente Lisina, minerales esenciales como; Na, K, Mg, Ca, P y Fe, y vitaminas A, B1, B2, B3, C y E (Sohaimy et al. 2015). Su contenido nutricional consta de, un 6% de Humedad, 271,54 kcal, 23,78 g de Proteína, 28,32 g de carbohidratos, 7,014 g de grasas y 11,8 g de fibra (por cada 100 g de hoja seca) (Sahay et al. 2017). A parte de contenidos nutricionales, estas también poseen principios farmacológicamente activos como; alcaloides, flavonoides, saponinas, azúcares reductores, taninos y glucósidos con agua (Chinwe et al. 2013). Estos fitoquímicos contribuyen significativamente a la protección contra infecciones y enfermedades degenerativas.

Hay numerosos usos de la hoja seca de Moringa, pero, sobre todo se hace uso de esta en su presentación de polvo. Uno de los casos más comunes del uso de este polvo, es como enriquecedor o sustituyente de harinas de trigo o otros cereales en fórmulas de panadería y bollería. Productos como pan (El-Gammal et al. 2016), galletas (Chizoba 2014), brownies (Rocha dos Santos et al. 2020), tartas (Kolawole et al. 2013) o galletas de arroz (Manoais et al. 2013) son ejemplos de fórmulas modificadas con polvo seco de moringa. También se puede ver su uso, en forma de polvo y como enriquecedor, en alimento en piscifactorías para juveniles de tilapia (Rivas et al. 2012), o en forraje para ganado (Abd El-Hack et al. 2018).

1.4. Condiciones de secado y equipos

El contenido de nutrientes de la planta varía con el suelo, el clima y otras condiciones ambientales. El procesamiento y el almacenamiento se suman a las variaciones. Aunque las hojas frescas contienen nutrientes en mayor cantidad, el procesamiento de las hojas es importante para prolongar la vida útil. Las hojas de *Moringa oleifera* se pueden secar usando varios métodos que incluyen secado al sol, secado a la sombra y secado al horno. El método más común utilizado es el secado al horno. Todo el mecanismo de secado sigue los mismos pasos preliminares, que son obtener muestras de hojas, lavarlas con agua corriente y eliminar el exceso de agua esparciéndolas. En consecuencia, estas hojas se secan al sol, a la sombra o en un secador mecánico. Los pretratamientos como el escaldado y el corte disminuyen el tiempo de remoción de humedad pero al mismo tiempo estos procesos oscurecen el color y cambian el sabor del producto deshidratado (Sahay et al. 2017).

En las condiciones de secado para hojas, la temperatura, durante muchos años, ha oscilado entre los valores de 40-60 °C. En plantas medicinales se encontró que una temperatura entre 50-60 °C era factible y también, se ha indicado que la temperatura de secado de 50 °C causa una pérdida mínima de calidad en el secado de hierbas y especias (Babu et al. 2018). Pero en esta planta, la calidad nutritiva del polvo de hoja de moringa, se ve afectada por la temperatura, decreciendo, a medida que la temperatura crece, el valor del contenido proteico, el valor de grasa total, el contenido en beta-carotenos (precursor de la Vitamina A) y el contenido en vitamina C (Alakali et al. 2015), por ello adaptarse a unas condiciones temperatura menores se traducirá en una alta conservación de sus valores nutricionales.

Los equipos más utilizados, representados en la Figura 2 suelen ser equipos de convección forzada como secadores de bandejas, o secadores de convección natural. Como se puede ver en la Figura 3 existen muchos más métodos de secado para hojas, pero, los equipos necesarios para la industrialización del secado de hoja son caros y tienen un gasto energético considerable. Por eso y como las hojas no necesitan demasiado requerimiento en sus condiciones de secado, la idea de un secador modular, escalable y económico se plantea en este trabajo.



Figura 2. Tipos de equipos de secado de moringa; (A) Secador de bandejas, (B) Secador artesanal de aire (CONA, 2022; Yguá, 2022)

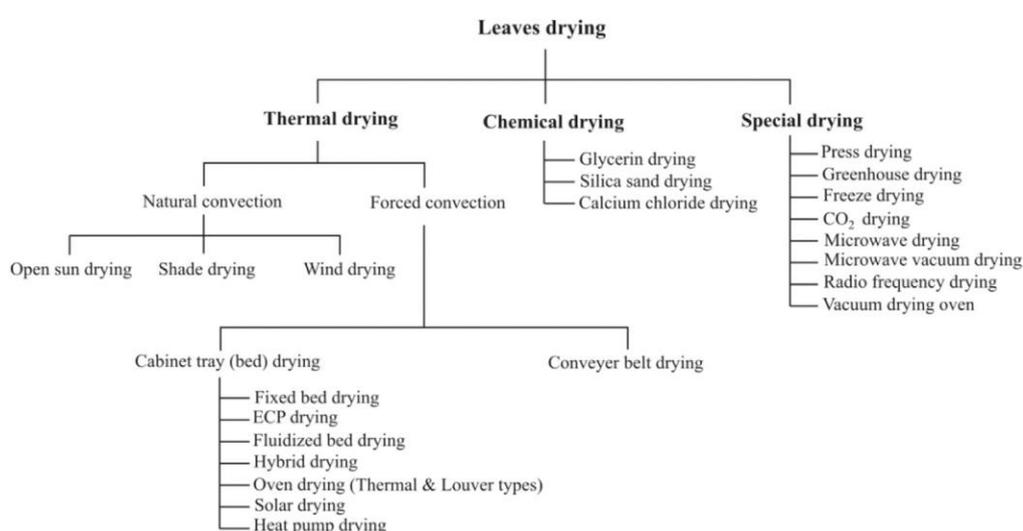


Figura 3. Clasificación de las diferentes técnicas de secado para hojas (Babu et al. 2018).

2. OBJETIVO

En el contexto de la Comunidad Valenciana, debido al clima, el cultivo de la moringa es estacional, restringiéndose la cosecha a un periodo de tiempo concreto entre Junio y Octubre, por lo que la conservación de sus hojas es vital para mantener el producto disponible todo el año.

Se plantea como objetivo el diseño y construcción de un secador modular y económico, así como el estudio de la cinética de deshidratación de las hojas comparándolo con un secador de bandejas semiindustrial.

Como este trabajo se enmarca en un proyecto de cooperación llamado, *Mejora de la producción y calidad de hojas de moringa en Paraguay para contribuir al aporte nutricional de grupos desfavorecidos (MORNUPAY) (ADSIDEAD2115)* financiado por el Centro de Cooperación al Desarrollo de la UPV, el secador deberá reunir las siguientes condiciones:

- Económico: que pueda ser implantado en zonas o países en desarrollo, que por sus características climáticas puedan cultivar la moringa, contribuyendo así a los Objetivos para el Desarrollo Sostenible de *Hambre Cero (ODS 02)*, *Trabajo decente y Crecimiento económico (ODS 08)* y *Reducción de las desigualdades (ODS 10)*. Además, debe tener un bajo gasto energético y huella de carbono, se fomenta la producción en el campo del producto terminado (ODS 12: *Producción y consumo responsables* y ODS 13: *Acción por el clima*). Así, reduciendo los gastos de transporte y de intermediarios se apuesta por la economía circular.
- Modular y escalable: sus componentes deben poder adquirirse fácilmente y con un bajo gasto energético y, por tanto, huella de carbono baja. Con ello, se contribuye al ODS de *Ciudades y comunidades sostenibles (11)*.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Materia prima

Para este trabajo se utilizaron hojas de *Moringa oleifera* recolectada de los ejemplares plantados en 2016 y en 2021 en la parcela experimental de la Universitat Politècnica de València situada en el camino de Vera, Valencia, España. La recolección de estas fue durante los meses de Octubre y Noviembre del año 2021. De esta manera, se evaluará el efecto de la edad de la plantación (4 años o 1 año) en el secado de las hojas.

3.2. Equipos y condiciones de secado

Con el fin de estabilizar y prolongar la vida útil de las hojas de moringa, estas fueron sometidas a dos tipos de deshidratación: en secador de bandejas con humedad relativa y temperaturas controladas y en un secador de campo diseñado con formato modular. A continuación, se describen cada uno de los equipos empleados para cada tipo de secado:

- *Secado en instalación convectiva de bandejas*

El equipo seleccionado fue un secador de bandejas con temperatura y humedad relativa ajustable (POL-EKO APARATURA, CLK 750 TOP+). En él, se secaron diferentes muestras de hojas de moringa distribuidas a lo largo de la superficie de dentro del secador (0,67 kg de moringa/m² de bandeja). El aire de la instalación se mantuvo a una temperatura de 40°C y a una humedad relativa de 35% y el proceso de secado se dio a lo largo de 30 horas.

- *Diseño de la instalación de secado cerrada en campo*

Esta instalación consta de diferentes partes: Dos cajas palets de plástico (contenedor Bigbox) superpuestos perforados en la base; Tapa de la caja palet; Tubo retráctil para la eliminación de aire; Ventilador extractor de aire; Calentador de aire (Voltomat HEATING Calefactor industrial); Termostato controlador de temperatura (HiLetgo XH-

W3001 220V Digital LED Temperature Controller Thermostat); Sonda de temperatura; Temporizador de enchufe; Lona de material plástico; Cestas de fruta microperforadas; Dataloggers para el registro de los valores de temperatura y humedad relativa. En las Figuras 4, 5, 6 y 7 se describen gráficamente los elementos constituyentes del secador y su posición.

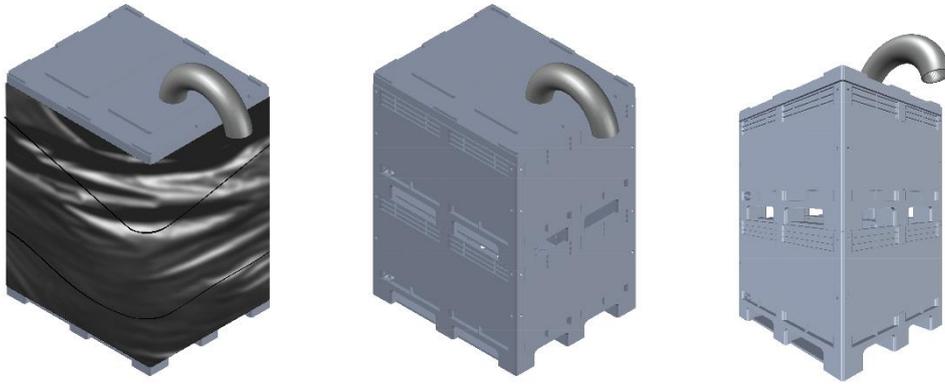


Figura 4. Distintas perspectivas del montaje del secador en su estado cerrado.

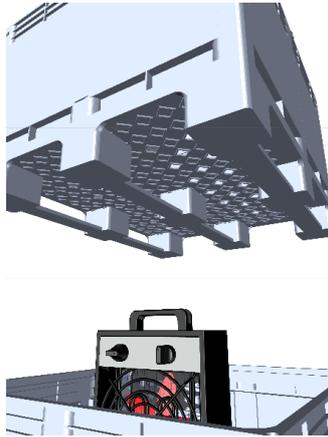


Figura 6. Detalle de las perforaciones en el suelo de la caja palet.



Figura 5. Calentador de aire encargado del secado de las hojas.

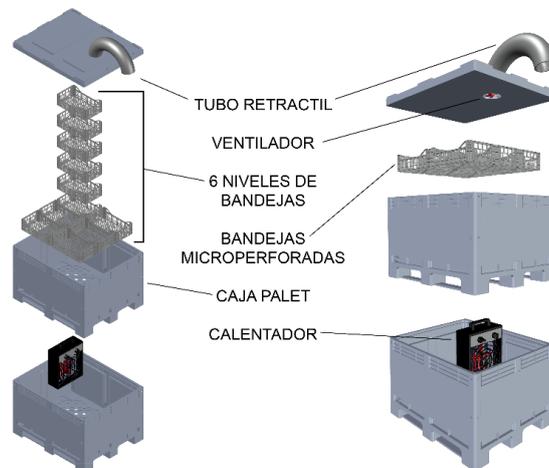


Figura 7. Desglose de las partes del secador.

En este proceso el aire caliente generado por el calentador se recirculó, aprovechando la tendencia a ascender del aire caliente, utilizando el ventilador extractor. La temperatura del aire se intentó mantener en 40°C durante las 30 horas en las que transcurrió el proceso de secado.

3.3. Modelización del secado

La cinética de secado se ajustó a los modelos presentados en la Tabla 1 seleccionados por ser utilizados en otros productos vegetales (cita). Para ello, se obtuvo la variación de peso de las hojas y su humedad a diferentes tiempos de secado (0, 1, 2, 3, 5, 7, 24, 26, 28 y 30 horas).

Tabla 1. Modelos matemáticos cinéticos para correlacionar la fuerza impulsora (Y) con el tiempo de secado.

Modelo	Fuerza impulsora (Y)
Newton	$exp(-k \cdot t)$
Page	$exp(-k \cdot t^n)$
Wang y Singh	$1 + a \cdot t + b \cdot t^2$
Logarítmico	$a \cdot exp(-k \cdot t) + c$
Exponencial	$a \cdot exp(-k \cdot t) + (1 - a) \cdot exp(-k \cdot a \cdot t)$
Henderson-Pabis	$a \cdot exp(-k \cdot t)$
Magee	$a + k \cdot \sqrt{t}$

3.4. Determinaciones analíticas

3.4.1. Humedad relativa y temperatura en el secador de campo

Como se ha comentado en el apartado de condiciones de secado, en el equipo instalado en campo, se colocaron dataloggers (Inkbird THC-4) en cuatro puntos diferentes de dentro del contenedor para evaluar la posible heterogeneidad de las condiciones del aire en términos de temperatura y humedad relativa.

3.4.2. Variación de peso y humedad

Las hojas de moringa se pesaron antes (M_0) y después de cada tiempo de secado (M_i) para obtener la variación de peso ($\Delta M = (M_0 - M_i) / M_0$). La humedad para cada tiempo de secado se obtuvo por el método gravimétrico (García-Martínez and Fernández-Segovia 2012a) en una estufa (J.P SELECTA, modelo Conterm tipo Poupinel 2000201,

Barcelona, España) a 60°C hasta alcanzar un peso constante. Ambas determinaciones se realizaron por triplicado.

3.4.3. Contenido en proteína

El contenido de proteínas presente en la muestra se analizó por el método de Kjeldahl que determina la cantidad de nitrógeno, mediante una digestión, destilación y posterior valoración. Después, aplicando un factor de conversión se obtuvo el porcentaje de proteína (García-Martínez and Fernández-Segovia 2012b). En este caso, se consideró el valor de 6,25 para este factor que sería el recomendado para vegetales. El análisis se realizó por triplicado.

3.4.4. Capacidad antioxidante

Se analizó mediante el método del DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) que consiste en la reacción de este radical con los antioxidantes presentes en la muestra analizando los cambios de absorbancia en un espectrofotómetro a 515 nm (Brand-Williams, Cuvelier, and Berset 1995). Para ello, se tomó 1 g de moringa y se trituró junto con 10 mL de una disolución metanol al 80%. La mezcla se centrifugó durante 5 minutos a 1300 rpm. A continuación, se preparó una disolución de DPPH con una concentración de 0,13 g/L. Después, se colocaron 2,5 mL de disolución de metanol al 80%, 0,6 mL de disolución de DPPH y 40 µL de sobrenadante de la muestra centrifugada en una cubeta y se procedió a la lectura de su absorbancia a tiempo 0 (A_0) y transcurridos 30 minutos (A_{t30}) para poder obtener el porcentaje de inhibición del DPPH con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ inhibición DPPH} = 100 \frac{(A_0 - A_{t30})}{A_0}$$

3.4.5. Color

Para el análisis del color de las hojas frescas y secas de moringa, se utilizó un colorímetro de mesa ("Minolta" modelo CM-3600d) obteniéndose las coordenadas de color CIE L^*a^*b por sextuplicado, tomando como referencia el observador 10° e iluminador D65 (Talens 2016).

3.4.6. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó el programa Statgraphics Centurion. Se realizó un análisis de varianza ANOVA, utilizando la prueba LSD (Least Significant Difference) a un nivel de significación del 95% ($p\text{-value} \leq 0,05$).

4. RESULTADOS

4.1. Registro de la humedad relativa y la temperatura dentro del secador de campo

En experiencias previas a este trabajo se observó que había una variación de masa tras el secado en las hojas distinta en función de la posición considerada dentro del secador de campo y en función de la incidencia solar. Por ello, se consideró oportuno registrar los valores de humedad relativa y temperatura dentro del contenedor del secador mediante 4 dataloggers tal y como se muestra en la Figura 8.

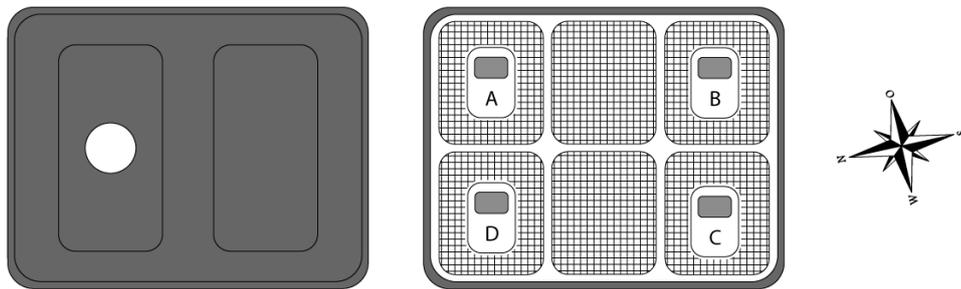


Figura 8. Distribución de los dataloggers dentro del secador y orientación de este respecto los puntos cardinales.

En las Figuras 9 y 10 se presentan los valores de temperatura y de humedad relativa obtenida de los dataloggers colocados en diferentes puntos del secador de campo desde que se colocan las hojas de moringa en las bandejas del secador hasta que finaliza el proceso de secado a las 30 horas. A partir de las 9 horas de proceso, que correspondían con la franja nocturna, se paró el calentador porque durante la noche la humedad relativa ambiental aumentaba considerablemente y, por tanto, el aire no tenía unas buenas condiciones para el secado. Durante ese periodo de tiempo y hasta la reactivación del calentador (24 horas), se observa que los dataloggers A y D registraron los mayores valores de temperatura y los menores de humedad relativa por ser los más cercanos al tubo con el extractor. Así, en las zonas donde no hay tanta circulación de aire (B y C) se acumula mayor humedad y la temperatura es más difícil de mantener.

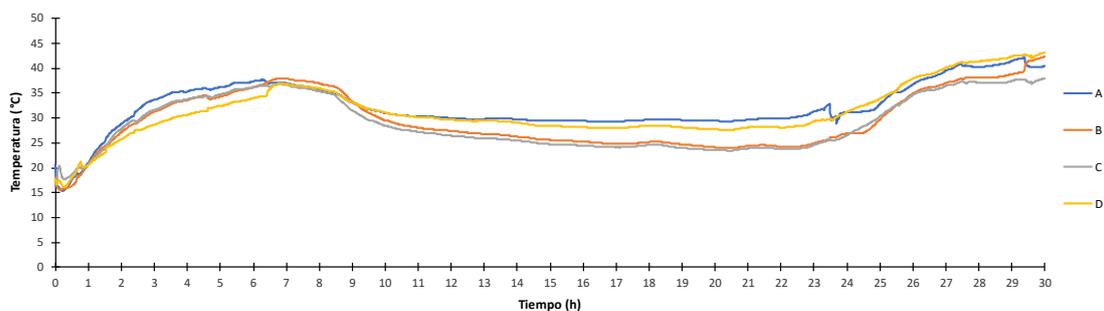


Figura 9. Valores de temperatura medidos por los distintos dataloggers en el experimento de secado.

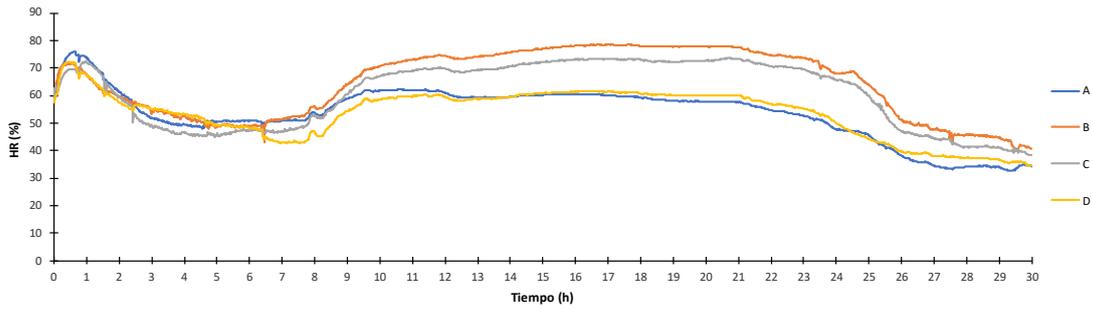
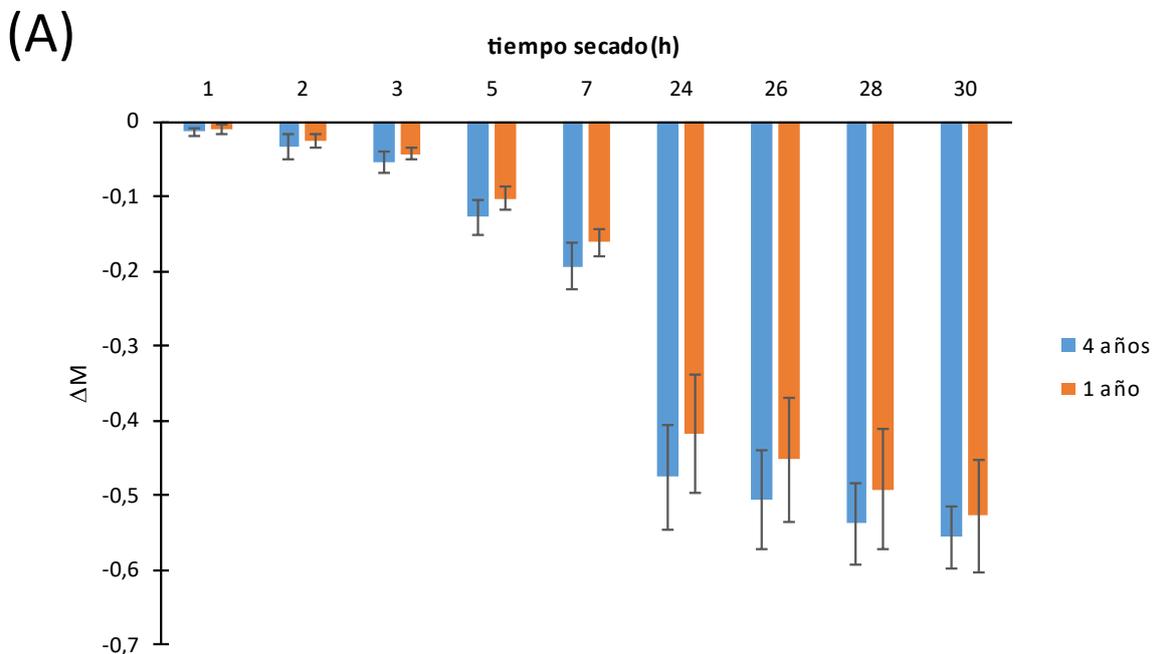


Figura 10. Valores de temperatura medidos por los distintos dataloggers en el experimento de secado.

4.2. Variación de masa total y curva de secado

En la Figura 11 se muestran los resultados de variación de masa total en el secado de hojas de moringa realizado en un equipo de campo o un secador de bandejas. Como puede observarse, la pérdida de peso fue más rápida en el secador de bandejas que en el de campo y, además, con menor variabilidad. Respecto a la edad de la plantación, comentar que sólo se observó una ligera mayor pérdida de peso en las hojas de plantas más jóvenes en el secador de bandejas a partir de las 24 horas de secado. Este comportamiento podría estar relacionado con la transferencia del agua más retenida en el tejido, siendo esta mayor en las hojas procedentes de plantas de 1 año que en las de 4 años.



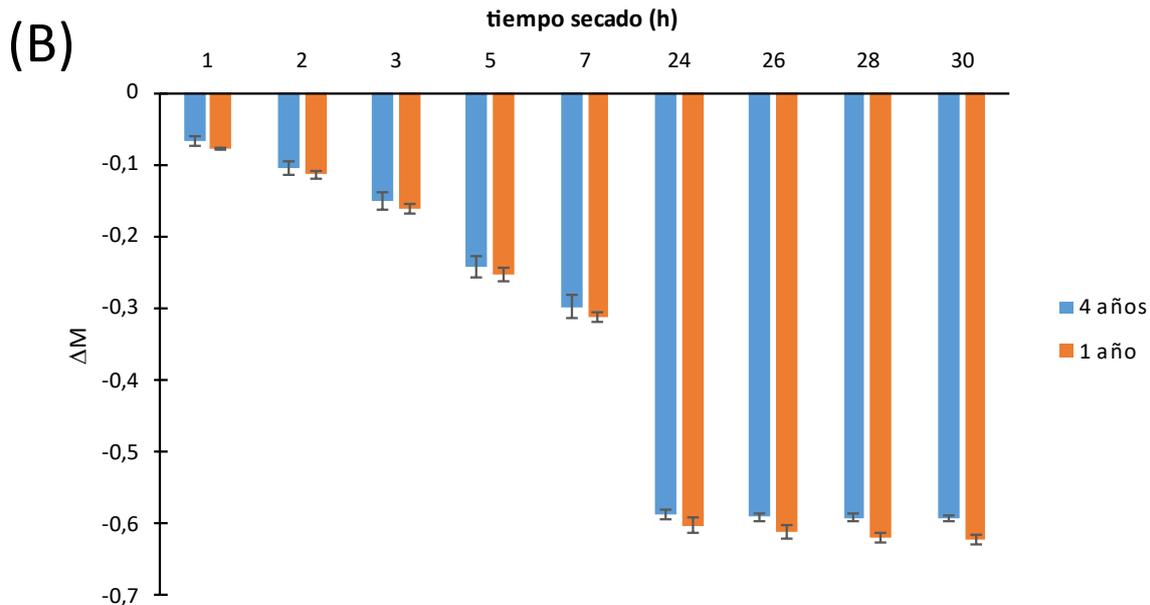


Figura 11. Variación de peso en función del tiempo en secador de campo (A) o de bandejas (B)

Las curvas de secados de las hojas de moringa estudiadas se presentan en la Figura 12. En la curva se observa un primer periodo corto de inducción (entre 0 y 1 hora), luego un periodo de velocidad de secado constante y, por último, un periodo de velocidad de secado decreciente. En el secador de bandejas la humedad final de las hojas fue menor que la alcanzada en el secador de campo, en coherencia con la variación de masa comentada anteriormente. También se observa la diferencia de humedad final entre las hojas procedentes de plantaciones jóvenes y más longevas, siendo las primeras menos húmedas, corroborando que consiguen eliminar más agua y por tanto que está menos ligada en este tipo de tejidos.

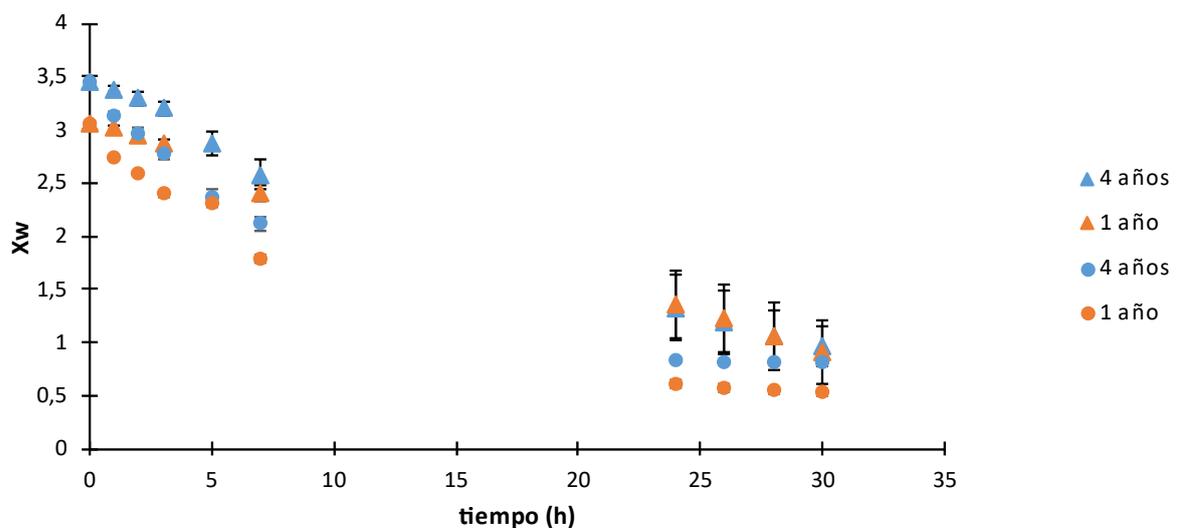


Figura 12. Curvas de secado de hojas de moringa según la edad de la plantación y el tipo de secador, siendo los los valores para el secador de campo y los círculos para el de bandejas.

4.3. Modelización del secado

En la Tabla 2 se presentan los parámetros de los modelos matemáticos ajustados a los datos experimentales de secado (fuerza impulsora vs. tiempo). Para seleccionar los mejores modelos se usaron tres parámetros estadísticos: elevados valores del coeficiente de determinación (R^2), menores valores del error estándar estimado y menores valores del error medio absoluto (Taheri-Garavand and Meda 2018). En base a ello, los modelos que cumplen mejor estos 3 criterios son: 1º el logarítmico, 2º el de Henderson & Pabis y (3º) el de Wang & Singh (Figura 13). El resto de los modelos también presentaron buenos ajustes, siendo el de Page el que peor resultados obtuvo. No obstante, en todos los casos las hojas deshidratadas en el secador de campo se desvían más de los modelos.

Fijándonos en el modelo logarítmico, el valor del parámetro k (constante de secado) fue mayor para las hojas deshidratadas en el secador de campo que en el de bandejas sin efecto de la edad de la plantación. Puesto que este parámetro se asocia con el efecto de las condiciones externas sobre el secado, se evidencia la mayor variabilidad en estas condiciones en el secador de campo.

Tabla 2. Parámetros de los modelos seleccionados para la modelización del secado.

Modelo	Año	Secador	$k \cdot 10^{-5}$	$\pm k \cdot 10^{-4}$ Error	$n \cdot 10^{-1}$	$\pm n \cdot 10^{-2}$ Error	a	$\pm a$ Error	$b \cdot 10^{-10}$	$\pm b \cdot 10^{-11}$ Error	$C \cdot 10^{-1}$	$\pm C \cdot 10^{-1}$ Error	R ² ajustada	Error estándar estimado	Error medio absoluto
Newton	1	bandejas	2,09	6,22E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	98,623	0,037	0,029
	4		1,45	4,86E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	97,280	0,045	0,037
	1	campo	1,13	5,41E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	95,324	0,065	0,057
	4		0,99	4,27E-03	-	-	-	-	-	-	-	-	95,693	0,059	0,047
Page	1	bandejas	188,96	8,16	5,74	2,84	-	-	-	-	-	-	91,201	0,092	0,084
	4		336,43	18,29	5,00	4,10	-	-	-	-	-	-	88,059	0,095	0,089
	1	campo	74,46	5,41	6,12	3,78	-	-	-	-	-	-	83,052	0,124	0,105
	4		97,11	7,69	5,80	4,64	-	-	-	-	-	-	81,347	0,122	0,108
Wang & Singh	1	bandejas	-	-	-	-	-2,04E-05	5,68E-07	1,20	0,58	-	-	99,037	0,031	0,025
	4		-	-	-	-	-1,63E-05	5,97E-07	0,89	0,61	-	-	98,629	0,032	0,025
	1	campo	-	-	-	-	-9,45E-06	1,21E-06	0,26	1,24	-	-	95,356	0,065	0,053
	4		-	-	-	-	-7,26E-06	1,00E-06	0,08	1,03	-	-	96,337	0,054	0,041
Logarítmico	1	bandejas	2,80	0,02	-	-	0,90	0,01	-	-	1,03	0,12	99,636	0,019	0,015
	4		1,91	0,02	-	-	0,82	0,03	-	-	1,40	0,36	99,062	0,027	0,019
	1	campo	1,47	0,05	-	-	0,96	0,13	-	-	0,94	1,53	95,621	0,063	0,048
	4		0,69	0,05	-	-	1,33	0,63	-	-	-3,11	6,57	96,124	0,056	0,040
Two-term exponential	1	bandejas	4,6822*	1,48E-07	-	-	4,46E-06	1,41E-07	-	-	-	-	98,568	0,037	0,029
	4		1,45	0,59	-	-	1,02	89,92	-	-	-	-	97,171	0,046	0,037
	1	campo	1,51	0,11	-	-	0,53	0,44	-	-	-	-	94,981	0,068	0,059
	4		1,22	0,10	-	-	0,59	0,66	-	-	-	-	95,373	0,061	0,048
Henderson & Pabis	1	bandejas	1,92	6,19E-03	-	-	0,95	0,01	-	-	-	-	99,085	0,030	0,021
	4		1,30	3,78E-03	-	-	0,93	0,01	-	-	-	-	98,841	0,030	0,023
	1	campo	1,21	6,63E-03	-	-	1,04	0,02	-	-	-	-	95,758	0,062	0,047
	4		1,04	5,24E-03	-	-	1,04	0,02	-	-	-	-	96,059	0,056	0,041
Magee	1	bandejas	-290,16	0,71	-	-	1,06	0,02	-	-	-	-	98,451	0,039	0,029
	4		-255,86	0,55	-	-	1,07	0,01	-	-	-	-	98,832	0,030	0,023
	1	campo	-277,40	1,16	-	-	1,19	0,03	-	-	-	-	95,673	0,063	0,052
	4		-258,65	1,11	-	-	1,18	0,02	-	-	-	-	95,418	0,060	0,047

*Es el valor directo sin considerar $K \cdot 10^{-5}$

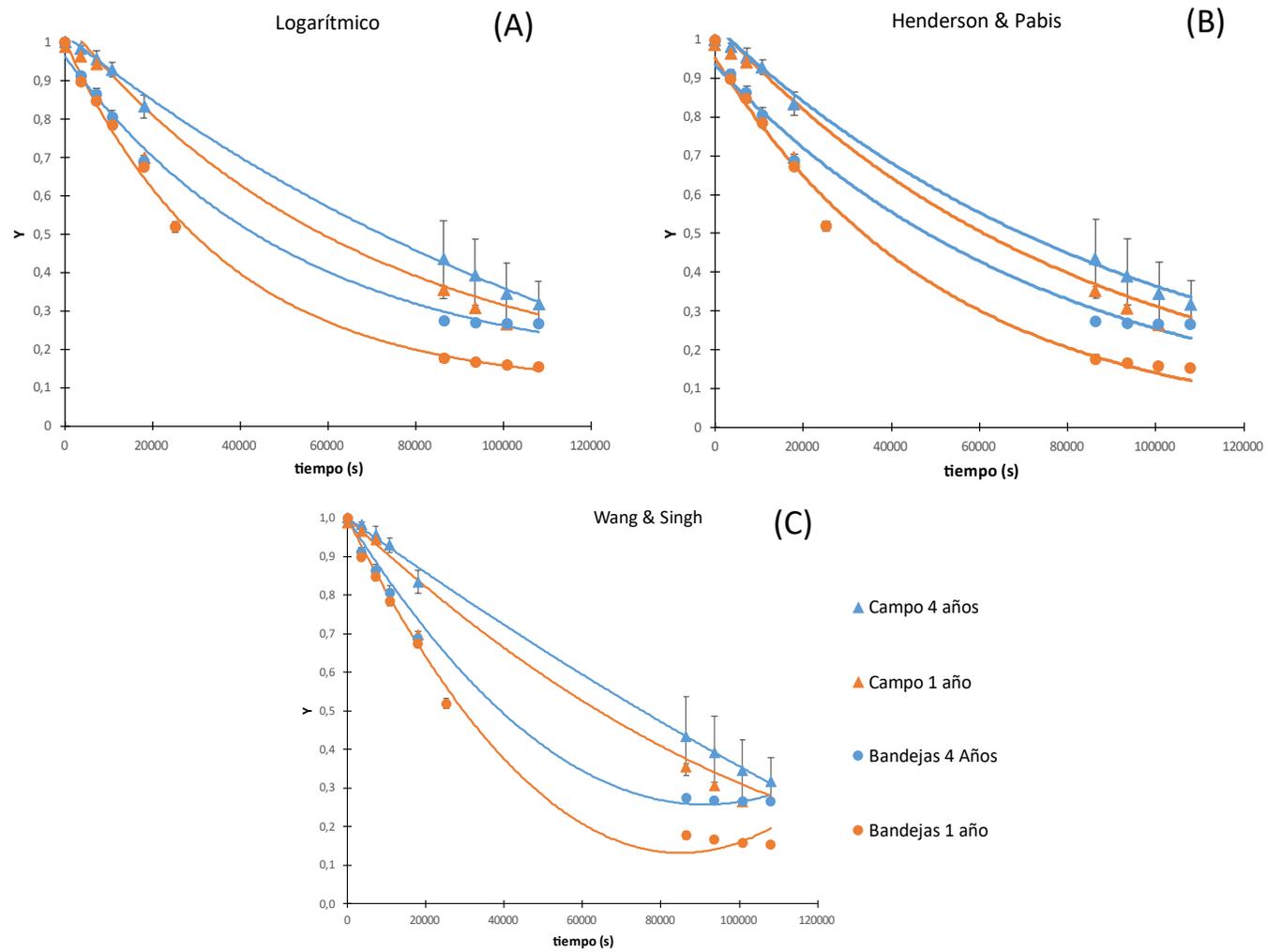


Figura 13. Modelos matemáticos (líneas) que representan la evolución de la fuerza impulsora (Y) a lo largo del tiempo de secado, generados en base a los datos experimentales (símbolos) y ordenados de mayor a menor ajuste con los datos, siendo el mayor el Logarítmico (A), seguido de Henderson & Pabis (B) y Wang & Singh (C).

4.4. Capacidad antioxidante

En la Figura 14 se muestran los valores del porcentaje de reducción de la absorbancia del DPPH por las hojas de moringa deshidratadas. Los resultados indican que el tipo de secador no influyó significativamente sobre la capacidad antioxidante total, pero sí la edad de la plantación, siendo las hojas procedentes de la más joven las que presentaron mayor nivel de antioxidantes. Estos resultados son del mismo orden que los obtenidos en trabajos previos llevado a cabo en este grupo de investigación (Ortolá et al. 2021) e inferiores a los obtenidos por Shokery et al., (2017) en otras condiciones de cultivo y de extracción.

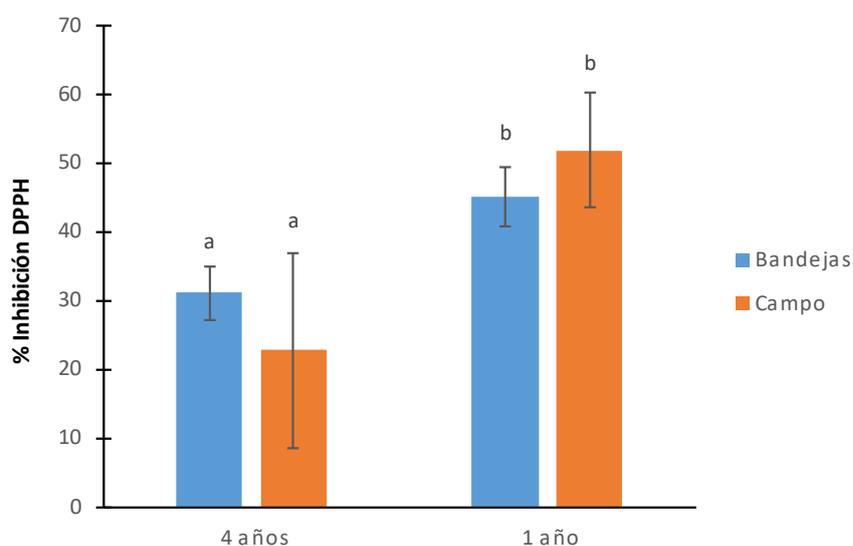


Figura 14. Representación del porcentaje de DPPH inhibido por los distintos tipos de hoja seca.

4.5. Proteínas

El contenido proteico de las hojas de moringa fresca fue de $10,8 \pm 0,5$ % sin que hubiera diferencias significativas por la edad de la plantación. Tras la deshidratación (Figura 15), se alcanzó un contenido en proteínas de alrededor del 40% sin observarse efectos significativos del tipo de secador ni de la edad de la plantación. Estos valores son superiores a los reportados por otros autores, donde predominan los valores entorno al 20% (Chinwe I et al. 2013; Offor et al. 2014; Sahay et al. 2017). Este elevado contenido en proteínas hace que las hojas de moringa deshidratadas puedan ser de interés para en la fortificación de diferentes matrices alimentarias.

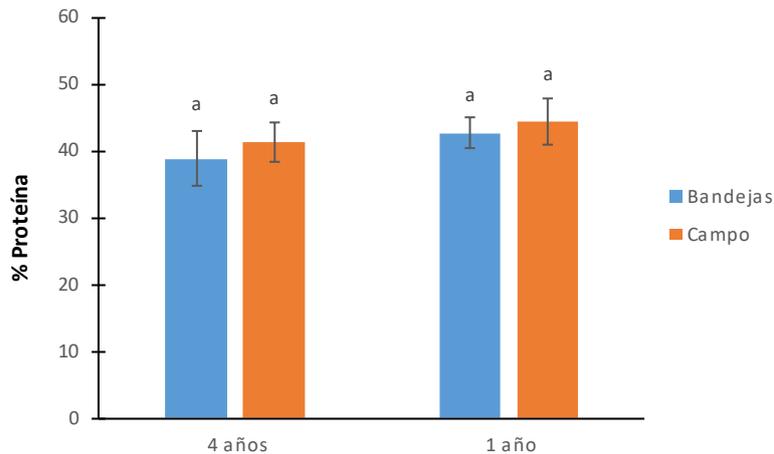


Figura 15. Porcentaje de proteína contenido en las hojas secas extraídas de los experimentos en campo y recinto cerrado

4.6. Color

En la Figura 16 se pueden observar tanto la luminosidad, como la representación en el diagrama cromático de las coordenadas a^* y b^* para las hojas frescas, como para las secadas en las diferentes estaciones.

En el caso de la luminosidad (L^*) se pueden observar diferencias significativas entre las hojas frescas y las secas, viéndose como el secado, independientemente del método, hace que la luminosidad de las muestras aumente. Por lo que hace a la edad de la plantación no se puede evidenciar ningún tipo de discordancia.

Al situar los datos en el diagrama cromático, los valores de las hojas examinadas se sitúan en el segundo cuadrante, perteneciente a la zona de amarillos y verdes. Las hojas frescas mostraron menor pureza de color al situarse más al centro del diagrama. La diferencia entre las hojas secadas en campo y bandejas fueron menos acusadas, observándose que estas últimas se acercan a tonos más verdosos. Estos resultados son similares a los obtenidos en un trabajo previo realizado por este grupo de investigación con moringa procedente de tres tipos distintos de semillas (Ortolá et al. 2021).

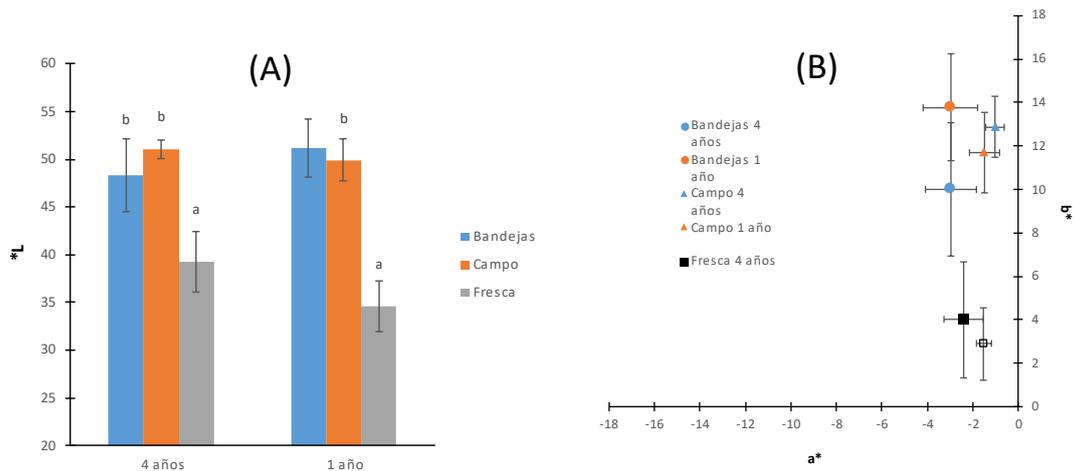


Figura 16. (A) luminosidad L^* y (B) ubicación en el diagrama cromático de las coordenadas a^* y b^* de las hojas de moringa frescas y deshidratadas en función de la edad de plantación y del tipo de secado.

5. CONCLUSIONES

- Se ha diseñado un secador modular y económico que permite secar las hojas de moringa recién recolectadas en el mismo campo. Con este secador la humedad de equilibrio alcanzada es ligeramente superior a la obtenida en el de bandejas puesto que las condiciones del aire son menos homogéneas durante todo el proceso. Además, las hojas procedentes de plantaciones más jóvenes (1 año) se secaron más rápidamente alcanzando un menor contenido en humedad que las más longevas (4 años). En cualquier caso, el modelo logarítmico es el que mejor predice la cinética de secado de las hojas.
- Las hojas de moringa deshidratadas tienen una elevada capacidad antioxidante, especialmente en las hojas procedentes de la plantación de 1 año, sin que afecte el tipo de secador utilizado
- El contenido en proteínas de las hojas de moringa seca es muy elevado ($\approx 40\%$), por lo que podrían incorporarse a diferentes matrices alimentarias para mejorar su nivel nutricional
- El proceso de deshidratación aumenta la luminosidad y la pureza de color de las hojas de moringa sin diferencias significativas por efecto del tipo de secado o de la edad de la plantación.

6. REFERENCIAS

Abd El-Hack, Mohamed E., Mahmoud Alagawany, Ahmed S. Elrys, El Sayed M. Desoky, Hala M. N. Tolba, Ahmed S. M. Elnahal, Shaaban S. Elnesr, and Ayman A. Swelum. 2018. "Effect of Forage Moringa Oleifera L. (Moringa) on Animal Health and Nutrition and Its Beneficial Applications in Soil, Plants and Water Purification." *Agriculture (Switzerland)* 8(9):1–22. doi: 10.3390/agriculture8090145.

- Ahmed, Khondoker, Rajib Banik, M. Hossain, and Ismet Jahan. 2016. "Vitamin C (L-Ascorbic Acid) Content in Different Parts of Moringa Oleifera Grown in Bangladesh." *American Chemical Science Journal* 11(1):1–6. doi: 10.9734/acsj/2016/21119.
- Alakali, J. S., C. T. Kucha, and I. A. Rabi. 2015. "Effect of Drying Temperature on the Nutritional Quality of Moringa Oleifera Leaves." *African Journal of Food Science* 9(7):395–99. doi: 10.5897/ajfs2014.1145.
- Babu, A. K., G. Kumaresan, V. Antony Aroul Raj, and R. Velraj. 2018. "Review of Leaf Drying: Mechanism and Influencing Parameters, Drying Methods, Nutrient Preservation, and Mathematical Models." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 90(April):536–56. doi: 10.1016/j.rser.2018.04.002.
- Brand-Williams, W., M. E. Cuvelier, and C. Berset. 1995. "Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant Activity." *LWT - Food Science and Technology* 28(1):25–30. doi: 10.1016/S0023-6438(95)80008-5.
- Chinwe I, Jose SM, Jaramillo J, Fausto D. 2013. "Phytochemical and Nutritional Properties of Dried Leaf Powder of Moringa Oleifera Lam. from Machala El Oro Province of Ecuador." 1:5454.
- Chizoba N., Nwakalor, . 2014. "Sensory Evaluation of Cookies Produced from Different Blends of Wheat and Moringa Oleifera Leaf Flour." *International Journal of Nutrition and Food Sciences* 3(4):307. doi: 10.11648/j.ijnfs.20140304.21.
- CONA. 2022. "Secado Solar de Moringa En Cuba En Dimensión Semiindustrial Con La Planta de Secado SF 400." CONA. Retrieved July 12, 2022 (https://cona.at/index.php?id=referenzen_heilkraeutertrocknung&L=1).
- El-Gammal, Rania, Gehan Ghoneim, and Sh. ElShehawy. 2016. "Effect of Moringa Leaves Powder (Moringa Oleifera) on Some Chemical and Physical Properties of Pan Bread." *Journal of Food and Dairy Sciences* 7(7):307–14. doi: 10.21608/jfds.2016.46005.
- Essa, M. M., S. Subash, S. Parvathy, A. Meera, G. J. Guillemin, M. A. Memon, and T. Manivasagam. 2014. "Brain Health Benefits of Moringa Oleifera." *Food and Brain Health* 2:113–18.
- Fahey, J. 2005. "Moringa Oleifera: A Review of The Medical Evidence for Its Nutritional, Therapeutic, and Prophylactic Properties. Part 1." *Trees for Life Journal* 1(5):1–15.
- García-Martínez, Eva, and Isabel Fernández-Segovia. 2012a. "Determinación de La Humedad de Un Alimento Por Un Método Gravimétrico Indirecto Por Desecación." 5.
- García-Martínez, Eva, and Isabel Fernández-Segovia. 2012b. "Determinación de Proteínas de Un Alimento Por El Método Kjeldahl. Valoración Con Un Ácido Fuerte."
- Kolawole, FL, MA Balogun, DO Opaleke, and HE Amali. 2013. "An Evaluation of Nutritional and Sensory Qualities of Wheat -Moringa Cake." *Agrosearch* 13(1):87. doi: 10.4314/agrosh.v13i1.9.
- M.L. Santillán. 2013. "Beneficios Nutritivos y Medicinales de La Moringa." *Ciencia UNAM*. Retrieved September 11, 2022 (https://ciencia.unam.mx/leer/261/Beneficios_nutritivos_y_medicinales_de_la_moringa).
- Manaois, Rosaly V., Amelia V. Morales, and Riza G. Abilgos-Ramos. 2013. "Acceptability, Shelf Life and Nutritional Quality of Moringa-Supplemented Rice

Crackers.”

- Offor, I. F., Ehiri R.C., and Njoku C.N. 2014. “Proximate Nutritional Analysis and Heavy Metal Composition of Dried Moringa Oleifera Leaves from Oshiri Onicha L.G.A, Ebonyi State, Nigeria.” *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology* 8(1):57–62. doi: 10.9790/2402-08115762.
- Olson, Mark E., and Leonardo O. Alvarado-Cárdenas. 2016. “¿Dónde Cultivar El Árbol Milagro, Moringa Oleifera, En México? Un Análisis de Su Distribución Potencial.” *Revista Mexicana de Biodiversidad* 87(3):1089–1102. doi: 10.1016/j.rmb.2016.07.007.
- Ortolá, María D., María Luisa Castelló, María C. Etchevers, Francisco José García-Mares, and María D. Soriano. 2021. “Physicochemical Properties of Moringa Oleifera Leaves Grown in Valencian Community (Spain).” 4. doi: 10.3390/blsf2021008004.
- Padayachee, Berushka, and Himansu Baijnath. 2012. “An Overview of the Medicinal Importance of Moringaceae.” 6(48):5831–39. doi: 10.5897/JMPR12.1187.
- Pandey, Anjula, K. Pradheep, Rita Gupta, E. Roshini Nayar, and D. C. Bhandari. 2011. “‘Drumstick Tree’ (Moringa Oleifera Lam.): A Multipurpose Potential Species in India.” *Genetic Resources and Crop Evolution* 58(3):453–60. doi: 10.1007/s10722-010-9629-6.
- Price, By Martin L. 2007. “THE MORINGA TREE What ’ s Inside Uses of Moringa : Appendix : Information on A.” *Echo Technical Note*.
- Rivas, Martha, Jorge López, Anselmo Miranda, and María Sandoval. 2012. “SUSTITUCIÓN PARCIAL DE HARINA DE SARDINA CON Moringa Oleifera EN ALIMENTOS BALANCEADOS PARA JUVENILES DE TILAPIA (Oreochromismossambicus x Oreochromisniloticus) CULTIVADA EN AGUA DE MAR.” *Biotechnia* 14(2):3–10.
- Rocha dos Santos, Ariadna Fernanda, Edson Douglas Silva Pontes, Germano de Araujo Mayara Gabrielly, Paloma Cristina Milhomens Ferreira Melo, Vanessa Bordin Viera, and Heloisa Maria Ângelo Jerônimo. 2020. “Preparación y Caracterización Física y Físico-Química de Un Brownie Enriquecido Con Harina de Hoja de Moringa (Moringa Oleifera).” *Research, Society and Development* 9(7):1–11.
- Rubio-Sanz, Laura, Carmen Dorca-Fornell, María Fornos, Eloy Navarro-León, and María C. Jaizme-Vega. 2021. “Phytochemical Characterization of Moringa Oleifera Leaves.” *Herba Polonica* 67(3):19–26. doi: 10.2478/hepo-2021-0019.
- Sahay, Surbhi, Upasana Yadav, and Sheetal Srinivasamurthy. 2017. “Potential of Moringa Oleifera as a Functional Food Ingredient: A Review.” *International Journal of Food Science and Nutrition* 2(5):31–37.
- Sanjay, Prakash, and K. N. Dwivedi. 2015. “Shigru (Moringa Oleifera Lam.): A Critical Review.” *International Journal of Ayurveda and Pharmaceutical Chemistry* 3(1):217–27.
- Shokery, Enaam S., Mohamed G. El Ziney, Asmaa H. Yossef, and Reda I. Mashaly. 2017. “Effect of Green Tea and Moringa Leave Extracts Fortification on the Physicochemical, Rheological, Sensory and Antioxidant Properties of Set-Type Yoghurt.” *Advances in Dairy Research* 05(02). doi: 10.4172/2329-888x.1000179.
- Sohaimy, Sobhy A. El, Gamal M. Hamad, Sameh E. Mohamed, Mohamed H. Amar, and Rashad R. Al-hindi. 2015. “Biochemical and Functional Properties of Moringa Oleifera Leaves and Their Potential as a Functional Food.” 4(4):188–99.

- Taheri-Garavand, A., and V. Meda. 2018. "Drying Kinetics and Modeling of Savory Leaves under Different Drying Conditions." *International Food Research Journal* 25(4):1357–64.
- Talens, Pau. 2016. "Evaluación Del Color y Tolerancia de Color En Alimentos a Través Del Espacio CIELAB." *Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia* 1–7.
- Yguá. 2022. "Finca Yguá - Pirareta - Piribebuy - Paraguay." *Moringa Guaraní*. Retrieved July 12, 2022 (https://yguamoringa.com/en/?attachment_id=961).