



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

CARACTERIZACIÓN Y APTITUD DE LAS HOJAS DE MORINGA PARA SU COMERCIALIZACIÓN EN FRESCO

TRABAJO FIN DE MÁSTER UNIVERSITARIO EN CIENCIA E
INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS

ALUMNA: Lizbeth Chacon Avendaño

TUTORA ACADEMICA: María Dolores Ortolá Ortolá

COTUTORA: María Luisa Castelló Gómez

DIRECTOR EXPERIMENTAL: Susana Rubio Arraez

Curso Académico:2019-2020

VALENCIA, noviembre de 2019

CARACTERIZACIÓN Y APTITUD DE LAS HOJAS DE MORINGA PARA SU COMERCIALIZACIÓN EN FRESCO

Chacon, L., Castelló, M.L.¹, Ortolá, M.D.¹, Rubio-Arreaez, S.¹

RESUMEN

La moringa (*Moringa oleifera Lam.*) es una planta multipropósito originaria de regiones con clima tropical seco que suscita mucho interés para ser cultivada en diferentes puntos de España por su gran potencial como alimento humano, forrajero (rica en proteínas, vitaminas y antioxidantes), purificante del agua, productor de aceite y su alto rendimiento en campo. Por ello, en este trabajo se han caracterizado hojas de plantas de moringa cultivadas a partir de dos semillas (originaria de Ghana (P) y PKM1 (T)) en distintas parcelas de la provincia de Valencia (UPV (1), Paiporta-Cajamar (2) y Montserrat (3)), en términos de morfología de raquis y hoja, composición (contenido en agua y proteína), actividad de agua, propiedades ópticas y mecánicas. Además, se ha modelizado su respiración a 8 y 25°C, con el objetivo de evaluar su potencialidad para su envasado en un material polimérico. Los resultados obtenidos indicaron que la moringa P1 y la T2 presentaron la mayor área foliar. La moringa procedente de las semillas de Ghana mostró una mayor capacidad antioxidante, mientras que el contenido proteico fue superior en la moringa de la semilla PKM1 cultivada en Monserrat. No se observaron diferencias en la tonalidad ni en firmeza de las hojas. Para la modelización de la tasa respiratoria de hoja fresca se ajustaron los consumos de O₂ y emisión de CO₂ con el modelo de Peleg a las temperaturas de 8°C y 25°C. Las tasas respiratorias fueron muy elevadas para todas las muestras estudiadas, por lo que, a falta de más estudios, parece que estas hojas no tienen una buena adaptabilidad para su envasado en atmósferas modificadas y por tanto, su comercialización como producto fresco sería muy complicada.

PALABRAS CLAVE: Moringa, fresco, comercialización, tasa respiratoria.

RESUM

La moringa (*Moringa oleifera Lam.*) és una planta multipropòsit originària de regions amb clima tropical sec que suscita molt interès per a ser cultivada en diferents punts d'Espanya pel seu gran potencial com a aliment humà, farratger (rica en proteïnes, vitamines i antioxidants), purificador de l'aigua, productor d'oli i el seu alt rendiment en camp. Per això, en aquest treball s'han caracteritzat fulls de plantes de moringa cultivades a partir de dos llavors (originària de Ghana (P) i PKM1 (T)) en diferents parcel·les de la província de

¹ Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo. Universitat Politècnica de València

València (UPV (1), Paiporta-Cajamar (2) i Montserrat (3)), en termes de morfologia de raquis i fulla, composició (contingut en aigua i proteïna), activitat d'aigua, propietats òptiques i mecàniques. A més, s'ha modelitzat la seua respiració a 8 i 25 °C, amb l'objectiu d'avaluar la seua potencialitat per al seu envasament en un material polimèric. Els resultats obtinguts van indicar que la moringa P1 i la T2 van presentar la major àrea foliar. La moringa procedent de les llavors de Ghana va mostrar una major capacitat antioxidant, mentre que el contingut proteic va ser superior en la moringa de la llavor PKM1 cultivada en Monserrat. No es van observar diferències en la tonalitat ni en les fermesa de les fulles. Per a la modelització de la taxa respiratòria de full fresc es van ajustar els consums d'O₂ i emissió de CO₂ amb el model de Peleg a les temperatures de 8°C i 25°C. Les taxes respiratòries van ser molt elevades per a totes les mostres estudiades, per la qual cosa, a falta de més estudis, pareix que estos fulls no tenen una bona adaptabilitat per al seu envasament en atmosferes modificades i per tant, la seua comercialització com a producte fresc seria molt complicada.

PARAULES CLAU: Moringa, fresc, comercialització, taxa respiratòria.

ABSTRACT

The moringa (*Moringa oleifera Lam.*) is a multipurpose plant native to regions with dry tropical climate that arouses much interest to be cultivated in different parts of Spain for its great potential as human food, forage (rich in proteins, vitamins and antioxidants), water purifier, oil producer and high field performance. Therefore, this work has characterized leaves of moringa plants cultivated from two seeds (native of Ghana (P) and PKM1 (T)) in different plots of the province of Valencia (UPV (1), Paiporta-Cajamar (2) and Montserrat (3)), in terms of spine and leaf morphology, composition (water and protein content), water activity, optical and mechanical properties. In addition, their respiration has been modelled at 8 and 25 ° C, estimating the characteristics of the optimal package. The results obtained indicated that moringa P1 and T2 had the largest foliar area. Moringa from seeds of Ghana showed a greater antioxidant capacity, while protein content was higher in the moringa of the PKM1 seed grown in Monserrat. There were not differences in tone or firmness of the leaves. For the modelling of the fresh leaf respiratory rate, gas concentrations were adjusted as a function of time by applying the Peleg model at temperatures of 8°C and 25°C. The respiratory rates were very high for all the samples studied, so, in the absence of further studies, it seems that these leaves do not have a good adaptability for packaging in modified atmospheres and therefore, their commercialization as a fresh product would be very complicated.

KEYWORDS: Moringa, fresh, marketing, respiratory rate.

1. INTRODUCCION

La *Moringa oleífera Lam.* (drumstick tree, horseradish tree) es de origen indígena de las montañas de Himalaya y se extiende en varios países del sur de Asia desde el norte de Pakistán hasta el norte de Bengala Occidental y la India y en las zonas tropicales de África (Sharma, et al., 2011). El árbol tiene una gran valoración en casi todos sus partes (raíz, corteza, hoja, flores, vainas, semillas, aceite de semilla) por sus propiedades nutricionales, medicinales y otros fines industriales (Gopalakrishnan, et al., 2016).

A pesar de sus enormes propiedades y su amplia utilización, la *Moringa oleífera* no ha sido explotado en su totalidad en los países fuera de su lugar de origen debido a que se cultiva en zonas tropicales y subtropicales. El interés que suscita este cultivo, no sólo por sus propiedades nutricionales y medicinales, sino también por su alto rendimiento en campo ha hecho que se esté introduciendo paulatinamente en diferentes puntos de España, en algunas zonas subtropical de la península Ibérica, Islas Baleares y en las Islas Canarias, evaluando las condiciones idóneas para su producción (Aries, 2014).

El Horticultural College & Research Institute, Periyakulam de la Universidad Agrícola Tamil Nadu, lanzó dos variedades anuales (PKM-1 y PKM-2) en 1989 y 2000 (Kumar, et al., 2014). La PKM1 se utiliza para obtener un alto rendimiento de fruta y crece rápida y vigorosamente con abundante hoja de *Moringa*. Esta variedad crece una altura de 4-6 m con un rendimiento de 52,8 t/ha. Las vainas son de 65-70 cm de largo con 6,3 cm de circunferencia. La variedad PKM-2 es una mejora de la PKM-1, tiene más ramificaciones laterales (deseable para obtener más producción de hoja) y un seedpod con más carne que semillas. En la *Moringa* PKM-2, se ha registrado una producción promedio de 98 t/ha. Produce vainas largas de unos 125-130 cm y con un grosor de 8,40 cm (70% de pulpa) (Maharshi, 2018).

Numerosas publicaciones mencionan que las hojas de *Moringa* contienen un alto perfil nutricional (Gopalan, et al., 2012). Es por eso que se consumen en ensaladas, se cocinan en guisos, sopas y se procesan en polvos que se pueden usar como suplemento dietético en sopas y salsas (Liu, et al., 2018). Cabe destacar que las hojas frescas tienen un alto contenido de betacaroteno total (40139 μg / 100g) y son un excelente fuente de nutrientes como calcio (440 mg), fósforo (259 mg), vitamina C (220 mg) y proteínas (6,7 g) por 100 g (Kaur, et al., 2018). Es una fuente de antioxidantes, tanto en la hojas viejas como en las jóvenes (Sreelatha & Padma, 2009), que está relacionado con los efectos antiproliferativos que pueden inhibir el crecimiento de células cancerosas (Hermawan, et al., 2012).

El envasado en atmósfera modificado (MAP) se basa en la interacción de la respiración del producto y la transferencia de gases a través del envase,

donde se crean las condiciones adecuadas para prolongar la vida útil del producto fresco. Para ello, se reduce la tasa de respiración, la producción de etileno y cambios fisiológicos como la oxidación (Kader, et al., 1989). Hay muchos estudios de tecnologías MAP que están estandarizados para diferentes vegetales como espinacas (Lee, et al., 2018), espárragos (Renquist, et al., 2010), perejil (Rosa, et al., 2007) y cebollas verdes (Hong, et al., 2000), entre otras. Actualmente, no hay estudios de modelización de la tasa respiratoria y MAP de la hoja fresca de moringa.

Según lo comentado anteriormente, el objetivo de este estudio es evaluar la influencia de dos variedades de Moringa (PKM1 y una semilla oriunda de Ghana) sobre las características de la hoja fresca (tamaño de hoja y de raquis, composición, color, textura y respiración), considerando diferentes parcelas de cultivo. Además, se evaluará la potencialidad de las hojas para el consumo como producto de cuarta gama, a través de estudios de modelización de la tasa respiratoria y diseño de envase.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Materia Prima y su procedencia

Las muestras de hojas fresca de *Moringa oleífera* se obtuvieron de una semilla de origen orgánico procedente de Ghana, procedente de campañas previas cultivadas en Valencia (P) y de un híbrido de Moringa tipo PKM1 (T) que se cultivaron en diferentes parcelas de Valencia ubicadas en la UPV (1), el Centro de Investigación Cajamar de Paiporta (2) y en el municipio de Montserrat (Valencia) (3). Las ramas de Moringa se recolectaron en julio, septiembre, octubre y noviembre del 2019.

2.2 Caracterización de las hojas de moringa

Una vez recolectadas, las ramas de moringa se llevaron al Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo (IIAD) de la UPV y se procedió a realizar los análisis que se detallan a continuación.

2.2.1 Determinación del tamaño del raquis y de las hojas

Con una cinta métrica flexible se midió la altura y anchura del raquis primario (raq 1^o) así como la largarías de los raquis secundarios (raq 2^o). Para medir el espesor del raq 1^o se utilizó un pie de rey digital de 150 mm. Se realizaron cinco repeticiones por medida. Tras realizar estas medidas, las hojas de moringa se deshojaron de sus ramas aplicando una ligera presión con los dedos en las ramas.

Para comparar el tamaño de las hojas, se tomaron fotografías de las hojas frescas con una cámara de teléfono móvil (Xiaomi Redmi 4A, 13 MP, LED f/2.2,

1080p@fps, China, 2017) sobre una hoja de papel milimetrado para poder comparar las dimensiones y morfología en cada caso. Las imágenes se analizaron con el Software ImageJ (National Institutes Health, Bethesda, MD, U.S.A.), determinando el área foliar (cm^2). Se realizaron 9 repeticiones por muestra.

2.2.2 Medida de la actividad de agua (a_w)

Se realizó en un higrómetro de punto de rocío AquaLab (Decagon Devices, Inc., modelo 4TE, Pullman, Washington, U.S.A.) a 25°C. Se hicieron 5 repeticiones por muestra.

2.2.3 Análisis del contenido en agua y proteína

La humedad de las hojas se analizó mediante el método gravimétrico (AOAC, 2000). Para ello, se secaron aproximadamente 1 g de hojas frescas en una estufa de aire caliente (J.P SELECTA, modelo Conterm, tipo Poupinel 2000201, Barcelona, España) a 60°C durante 3 días. Después, las muestras se llevaron a una estufa de vacío (-0.8 bar) (J.P. SELECTA, modelo Vaciotem, TV 47, Barcelona, España) durante 4 días a 60°C hasta alcanzar peso constante. Se realizaron 7 repeticiones por muestra.

El porcentaje de proteínas se analizó a partir del contenido de nitrógeno mediante el método Kjeldahl nº 2.062 de AOAC (AOAC, 1984). Este método se divide en 3 etapas: unidad de digestión (J.P SELECTIVA, modelo Bloc Digest 6, tipo Micro, España), unidad de destilación (VELP SCIENTIFICA, modelo UDK 127) y valoración semiautomática (Digital burette BRAND Titrette, Model BT30). El análisis se realizó por triplicado. Para determinar el % de proteínas se multiplicó el contenido de nitrógeno por un factor de 6,25 (Radha, et al., 2015).

2.2.4 Determinación de la capacidad antioxidante

Se realizó por el método de captación del radical libre 2,2-difenil-1-picrilidrazilo (DPPH) descrito por Brand-Williams, et al. (1995) con algunas modificaciones. Para ello, se mezclaron 0,1 g de muestra con una disolución 5 mL de metanol (compuesta por metanol: agua en una proporción 80:20) durante 120 minutos, vorteadando cada 30 minutos para mejorar su extracción. La mezcla se centrifugó (microcentrífuga, "Cencom III") a 1300 rpm durante 5 minutos (Nouman, et al., 2016). Por otro lado, se preparó una disolución de 0,025 g de DPPH en metanol en agua también 80:20. El método consiste en determinar la variación que manifiesta la absorbancia a una longitud de onda de 515 nm en un espectrofotómetro (Thermo Fisher Scientific, Inc. Helios Zeta UV-VIS, Waltham, MA, EE. UU.) de la disolución morada del DPPH en presencia de antioxidantes de las muestras de estudio. Para ello, se prepararon cubetas con 3,9 mL de DPPH y se determinó su absorbancia. A continuación, se agregó 0,1 ml del sobrenadante del extracto de la muestra

de estudio. La mezcla se dejó en reposo por 30 minutos a oscuridad y a temperatura ambiente antes de medirlas (Pakade, et al., 2013) con el fin de favorecer la acción los antioxidantes presentes en las muestras. El análisis se realizó por triplicado para cada muestra. Los resultados se expresaron en porcentaje de inhibición del radical DPPH como:

$$\% \text{ Inhibición} = 100 \frac{(A_{\text{blanco}} - A_{\text{muestra}})}{A_{\text{blanco}}} \quad (1)$$

Dónde: A_{blanco} : Absorbancia del DPPH y A_{muestra} : Absorbancia del DPPH con la muestra (Turkmen, et al., 2005).

2.2.5 Propiedades ópticas y mecánicas

Se midió el color del haz y envés de la hoja fresca utilizando un espectrocolorímetro (Konica Minolta, Inc., modelo CM 3600d, Tokio, Japón). Las coordenadas del espacio CIEL*a*b se obtuvieron por reflectancia utilizando como sistema de referencia el iluminante D65 y el observador 10°. Los parámetros medidos fueron: luminosidad (L^*), intensidad de colores rojo (+a), verde (-a), amarillo (+b) y azul (-b). La diferencia de color (ΔE^*) se estimó por la ecuación:

$$\Delta E^* = [\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}]^{1/2} \quad (2)$$

Dónde: ΔL , Δa y Δb son las diferencias de las muestras P2, T2 y T3 respecto a P1. Los ensayos se realizaron por triplicado por cada muestra.

Se realizó un test de punción (Analizador de textura TA.XT. plus, Microsystems estable, Godalming, Reino Unido) en el haz y envés de la hoja fresca. El ensayo se llevó a cabo con una sonda de 0,2 mm de punta aguja que avanzaba a una velocidad 1 mm/s para atravesar la hoja según lo descrito Aranwela, et al. (2002). Se estandarizó la posición de la hoja en test a 4 mm del nervio central según la recomendación de Gutiérrez et al. (2002). Se registró la fuerza máxima de ruptura y la firmeza. Se realizaron cinco repeticiones por muestra.

2.3 Modelización de la tasa respiratoria de hoja fresca de Moringa

La determinación de la tasa respiratoria de la hoja fresca de Moringa se realizó en un sistema cerrado según lo descrito por Fonseca, et al. (2002). Se colocaron 10 gramos de hojas frescas, previamente atemperadas durante 3 horas a las temperaturas de 8°C y 25°C. Se introdujeron en frascos de vidrio de 250 mL herméticos y se registraron las concentraciones de gases O_2 y CO_2 en el espacio de cabeza cada 30 minutos con un analizador de gases (Dan sensor, modelo CheckPoint 3, Barcelona, España). La toma de datos se finalizó cuando la concentración del O_2 (%) alcanzó aproximadamente el 2% (Yaptenco, et al., 2007) para la temperatura de almacenamiento a 25°C. Para

la temperatura de almacenamiento de 8°C se realizaron las mediciones las primeras 24 horas. El análisis se llevó a cabo por triplicado para cada muestra (P1, P2, T2 y T3) y temperatura de almacenamiento (8°C y 25°C).

Con este sistema puede determinarse la tasa respiratoria utilizando las ecuaciones 3 y 4 (Kays, 1991):

$$TR_{O_2} = \frac{d[O_2]}{dt} \cdot \frac{V_a}{M} \quad (3)$$

$$TR_{CO_2} = \frac{d[CO_2]}{dt} \cdot \frac{V_a}{M} \quad (4)$$

Donde TR_{O_2} y TR_{CO_2} son las tasas respiratorias (mL/kg h) en términos de consumo de O_2 y emisión de CO_2 respectivamente, $d[O_2]$ y $d[CO_2]$ lo que varía la concentración de O_2 y CO_2 en un intervalo de tiempo (dt), V_a el volumen del espacio de cabeza (mL) y M la masa de producto (kg).

Para modelizar los cambios en la tasa respiratoria, los valores experimentales obtenidos en el sistema cerrado se ajustaron al modelo de Peleg (Peleg, 1988), propuesto para curvas de sorción de humedad y ampliamente utilizado para modelizar tasas respiratorias en frutas frescas como manzanas (Mahajan & Goswami, 2001), bananas (Bhande, et al., 2008) y papaya (Rahman, et al., 2013) (Ec. 5 y 6):

$$[O_2] = 0,21 - \frac{t}{at+b} \quad (5)$$

$$[CO_2] = \frac{t}{at+b} \quad (6)$$

Donde $[O_2]$ y $[CO_2]$ son las concentraciones de gases a tiempo t y a y b las constantes del modelo.

La velocidad del cambio en la concentración de gas en el espacio de cabeza se determinó a partir de la primera derivada de las funciones de regresión obtenidas con el modelo de Peleg (Ec. 7 y 8):

$$\frac{d[O_2]}{dt} = at(at+b)^{-2} - (at+b)^{-1} \quad (7)$$

$$\frac{d[CO_2]}{dt} = -(at+b)^{-2} - (at+b)^{-1} \quad (8)$$

De esta forma, a diferentes tiempos se determinó la tasa respiratoria del producto sustituyendo los valores obtenidos de $d[O_2]/t$ y $d[CO_2]/t$ en las Ec. 3 y 4 respectivamente.

2.4 Análisis estadístico

Los resultados se evaluaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) utilizando el software Statgraphics Centurión versión XVI.I (2013), con un nivel de confianza del 95% ($p\text{-value} \leq 0.05$).

El ajuste de los modelos se llevó a cabo con el mismo software Statgraphics Centurión versión XVI.I (2013).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Tamaño del raquis y de las hojas

En la Tabla 1 se presentan las dimensiones de la anchura, la altura y el diámetro del raquis 1°. En términos de anchura y altura del raquis, los resultados ponen de manifiesto que sólo la moringa cultivada en la parcela de Monserrat fue significativamente más pequeña en todas sus dimensiones que el resto, que no mostraron diferencias entre sí. Sin embargo, el diámetro del raquis fue muy superior en la moringa originaria de Ghana, siendo también más pequeño el de la moringa de Montserrat. Este comportamiento sería consecuencia del mayor vigor que alcanza el árbol obtenido con la semilla de Ghana que podría ser más resistente al viento, aunque habría que ver la evolución a largo plazo de todos los casos. En cuanto al número de uniones en los raquis, no se observaron diferencias significativas. Por otra parte, el área foliar fue también inferior en la moringa cultivada en Montserrat, destacando a su vez un efecto de la parcela de cultivo, de tal manera que la moringa originaria de Ghana mostró mayor área cuando se cultivó en la parcela de la UPV que en la de Cajamar, mientras que la procedente de semilla PKM1 desarrolló mayor superficie foliar en la parcela de Cajamar que en la de Montserrat. Puesto que las condiciones de cultivo del centro de experiencias de Cajamar eran las más controladas, con unas condiciones óptimas de suelo, los resultados indicarían que la variedad PKM1 (T2) sería más productiva en términos de tamaño hoja. De acuerdo a las recomendaciones dadas por Tshabalala, et al. (2019), la moringa crece bien en suelos arenosos y arcillosos y tolera bajas precipitaciones, especialmente en zonas tropicales y subtropicales. Estas características son propias de la región de Valencia más próximas a la costa. El hecho de que Montserrat esté una región más hacia el interior podría haber condicionado el menor tamaño de la hoja.

TABLA 1. Largo, ancho, diámetro del raquis 1°, largo del raquis 2°, Números de raquis 2° por unión de raquis 1° y el área foliar de las hojas fresca P1, P2, T2 y T3.

Muestras	Largo raquis 1° (cm)	Ancho raquis 1° (cm)	Diámetro raquis 1° (mm)	Nro. de raquis 2° por unión de raquis 1°	Largo raquis 2° (cm)	Área foliar de las hojas (cm ²)
P1	79,5 ± 0,7 ^b	59,0 ± 1,4 ^b	10,2 ± 0,5 ^d	10,0 ± 1,4 ^a	38,5 ± 2,1 ^b	3,1 ± 0,5 ^c
P2	79,75 ± 8,45 ^b	61,8 ± 13,4 ^b	7,7 ± 0,4 ^c	9,0 ± 0,6 ^a	33,5 ± 5,6 ^b	2,0 ± 0,4 ^b
T2	79,75 ± 4,34 ^b	71,4 ± 7,4 ^b	6,3 ± 0,9 ^b	9,3 ± 0,8 ^a	36,3 ± 5,4 ^b	3,0 ± 0,6 ^c
T3	52,8 ± 6,0 ^a	32,8 ± 8,3 ^a	4,52 ± 0,95 ^a	9,1 ± 0,4 ^a	19,8 ± 1,6 ^a	1,4 ± 0,2 ^a

Las letras indican los grupos homogéneos obtenidos del ANOVA con un nivel de 95% de confianza.

Para mostrar la morfología de las ramas de la moringa, en la Figura 1 se aportan 4 imágenes representativas de las muestras P1, P2, T2 y T3 donde se puede apreciar que de los raquis primarios siempre brotan pares de raquis

secundarios simétricos que dan lugar, en la mayoría de los casos, a raquis terciarios también simétricos (Ruiz, et al., 2019).

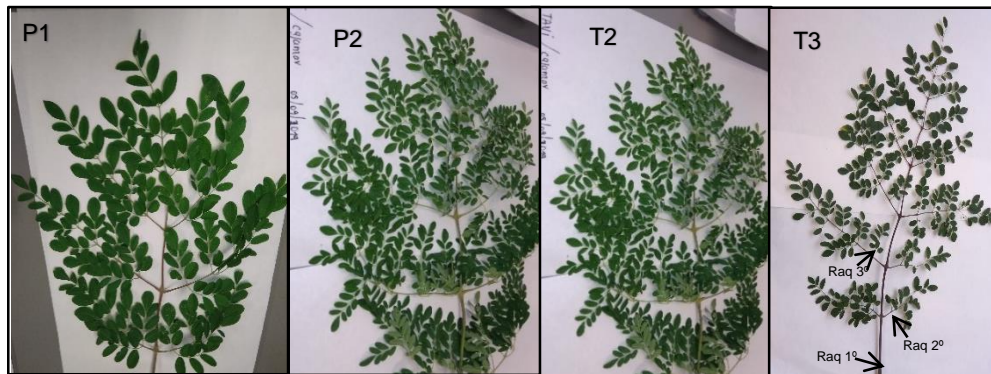


FIGURA 1. Imágenes representativas de los Raq1^o, Raq2^o y Raq3^o de la *Moringa oleífera* de las muestras P1, P2, T2 y T3.

3.2. Caracterización composicional de la hoja fresca de Moringa

En la Tabla 2 se muestran los resultados de actividad de agua (a_w), contenido en humedad, capacidad antioxidante y contenido proteico. Como se puede ver, tanto la actividad de agua como la humedad fueron significativamente inferiores en la moringa PKM1 de Montserrat (T3). La hoja de moringa tiene un aspecto bastante semejante a la de los canónigos, cuyo contenido en humedad también es similar (Zahid, et al., 2019). Respecto a la capacidad antioxidante, resaltar que la moringa originaria de Ghana presentó un mayor poder de inhibición del radical libre DPPH, especialmente cuando se cultivó en la parcela de la UPV. Estos resultados fueron similares a los obtenidos en un estudio previo con la moringa de la UPV (Gil Zanón, et al., 2019). Cabe destacar que las hojas de moringa poseen alta capacidad antioxidante, que se puede atribuir a su alto aporte de componentes fenólicos (Sreelatha & Padma, 2009). Por otra parte, el mayor contenido proteico se registró en la moringa procedente de semilla PKM1 cultivada en Monserrat aunque con valores muy próximos a la moringa oriunda de Ghana y similares a los recogidos en la base de datos del Departamento de Agricultura de EEUU (USDA, 2019), donde se reporta un contenido medio de proteínas de 9,40 g/100 g. No obstante, algunos estudios realizados en moringas cultivadas en Ghana indican que éstas tienen alto contenido proteico (%N) en las hojas procedentes de plantas vegetativas ($28,1 \pm 0,5\%N$) y de plantas florecientes ($29,4 \pm 0,3\%N$) atribuyéndose estos valores al clima tropical húmedo de Ghana (Amaglo, et al., 2010). Como se ha comentado en la introducción, el alto aporte de proteínas de la moringa hace que sea un producto nutricionalmente muy atractivo para los consumidores. Por ello, la moringa es un excelente recurso para afrontar la malnutrición en países en desarrollo y ofrece una alternativa saludable al consumo proteico en países desarrollados distinta a la procedente de la carne, huevos o pescado (Navarro, 2015).

TABLA 2. Análisis de actividad de agua (a_w), Humedad (x_w), Capacidad Antioxidante (% de Inhibición) de las hojas de moringa estudiadas

Muestras	a_w	x_w (g agua/g moringa)	Cap. Antioxidante (% inhibición)	Proteínas (g/100g)
P1	0,967 ± 0,004 ^b	0,746 ± 0,005 ^b	27,1 ± 3,1 ^c	9,8 ± 0,4 ^b
P2	0,975 ± 0,006 ^c	0,753 ± 0,007 ^b	16,0 ± 1,5 ^b	9,4 ± 0,4 ^b
T2	0,968 ± 0,004 ^b	0,751 ± 0,010 ^b	8,97 ± 0,83 ^a	6,32 ± 0,06 ^a
T3	0,955 ± 0,003 ^a	0,64 ± 0,03 ^a	6,4 ± 0,6 ^a	10,95 ± 0,2 ^c

Las letras indican los grupos homogéneos obtenidos del ANOVA con un nivel de 95% de confianza.

3.3. Propiedades ópticas y mecánicas

En la Figura 2 se presenta la ubicación en el plano cromático del color de las hojas de moringa estudiadas tanto en la parte del haz como del envés. La pureza de color fue superior en el envés que en el haz, sin evidenciarse cambios en la tonalidad de las hojas. Respecto al tipo de semilla y parcela de producción, sólo se aprecia una menor pureza de color en la moringa de semilla de Ghana cultivada en la parcela de Cajamar.

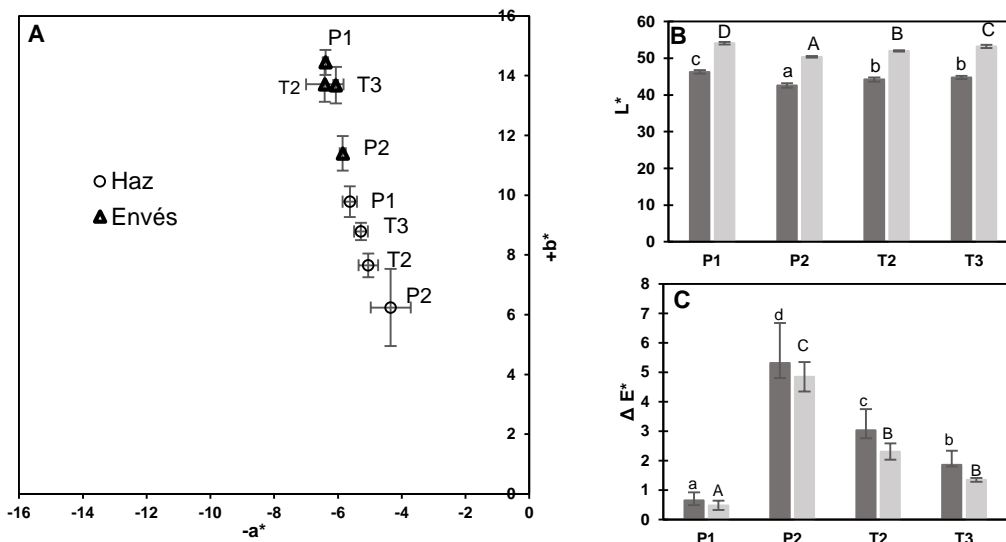


FIGURA 2. A: Ubicación en el diagrama cromático (b^* vs. a^*) del color de las hojas frescas de moringa P1, P2, T2 y T3 tanto del haz como del envés. B: Luminosidad (L^*) del haz (■) y envés (□) y C: Diferencia de color (ΔE^*) del haz (■) y envés (□) de las hojas frescas de moringa P1, P2, T2 y T3 respecto a la muestra P1. Las letras minúsculas (Haz) o las letras mayúsculas (Envés) indican los grupos homogéneos obtenidos del análisis ANOVA con un nivel de 95% de confianza.

En cuanto a los valores de luminosidad y diferencia de color respecto a la moringa cultivada en UPV (Figura 2), en todos los casos el haz presentó mayor luminosidad que el envés, en coherencia con la mayor intensidad de color verde de esta parte consecuencia de su mayor nivel de clorofila (Casierra Posada, et al., 2012), destacando la moringa P2 como la más diferente a la referencia a pesar de proceder de la misma semilla.

Los resultados de fuerza máxima y consistencia de las hojas frescas de moringa estudiadas se presentan en la Tabla 3. En este caso, no se registraron diferencias significativas en términos de la fuerza máxima s por efecto de la semilla ni por la parcela considerada, aunque la consistencia fue superior en la moringa cultivada en Montserrat. No obstante, las diferencias no fueron muy relevantes. Por tanto, la sensación de carnosidad y turgencia en boca deberían ser similares. Estos valores fueron muy próximos a los obtenidos en un estudio previo en la P1(Gil, et al.,2019).

TABLA 3. Fuerza máxima y Consistencia de las hojas fresca en el haz y envés de las muestras P1, P2 y T2.

Muestras	F máxima (N)		Consistencia (N.s)	
	Haz	Envés	Haz	Envés
P1	0,15±0,03 ^a	0,16±0,04 ^A	0,47±0,07 ^a	0,450±0,133 ^A
P2	0,14±0,03 ^a	0,16±0,03 ^A	0,450±0,10 ^a	0,483±0,130 ^A
T2	0,14±0,02 ^a	0,138±0,014 ^A	0,45±0,08 ^a	0,423±0,043 ^A
T3	0,211±0,014 ^a	0,173±0,018 ^A	0,661±0,099 ^b	0,557±0,095 ^B

Las letras minúsculas (Haz) o las letras mayúsculas (Envés) indican los grupos homogéneos obtenidos del análisis ANOVA con un nivel de 95% de confianza.

3.4. Modelización de la tasa respiratoria

La Figura 3 muestra un ejemplo de la evolución de la concentración de gases en el espacio de cabeza de cada una de las muestras (P1, P2, T2 y T3) almacenadas a temperatura ambiente (25°C) y a temperatura de refrigeración (8°C).

Como puede observarse, a 25°C, las hojas consumieron, en todos los casos, rápidamente el O₂ del espacio de cabeza, al mismo tiempo que la concentración de CO₂ aumentó por efecto de la respiración. Según esto, la hoja de moringa fresca puede considerarse un vegetal con muy alta tasa respiratoria a temperatura ambiente (Kader & Saltveit, 2003), lo que estaría relacionado con una muy corta vida útil. A temperaturas de refrigeración, sin embargo, el consumo de O₂ y generación de CO₂ se ralentiza notablemente, observándose tasas respiratorias muy bajas y prácticamente constantes cuando el porcentaje de O₂ se encuentra entre 17-18% y el CO₂ alcanza valores entre 2-3%.

La Tabla 4 muestra los valores de los coeficientes obtenidos según el modelo de Peleg (Ec. 5 y 6) para cada una de las muestras. Como puede observarse, ambos parámetros fueron dependientes de la temperatura, disminuyendo en ambos casos cuando aumenta la temperatura. Por analogía con el modelo de Peleg, el parámetro a podría relacionarse físicamente con la variación de gas en el espacio de cabeza a tiempos muy cortos, mientras que el parámetro b estaría relacionado con las concentraciones de gases cuando el tiempo tiende a infinito (Bhande, et al., 2008). Valores del mismo orden para el parámetro b a ambas temperaturas y el parámetro a a 25°C son reportados por Bhande (2008) en banana y por Mahajan (2001) en manzana.

Sin embargo, los valores obtenidos del parámetro a a 8°C son más elevados que los encontrados en bibliografía.

Para una misma temperatura, aunque estadísticamente se encontraron algunas diferencias entre las muestras, no se observan tendencias claras entre los diferentes valores de los coeficientes.

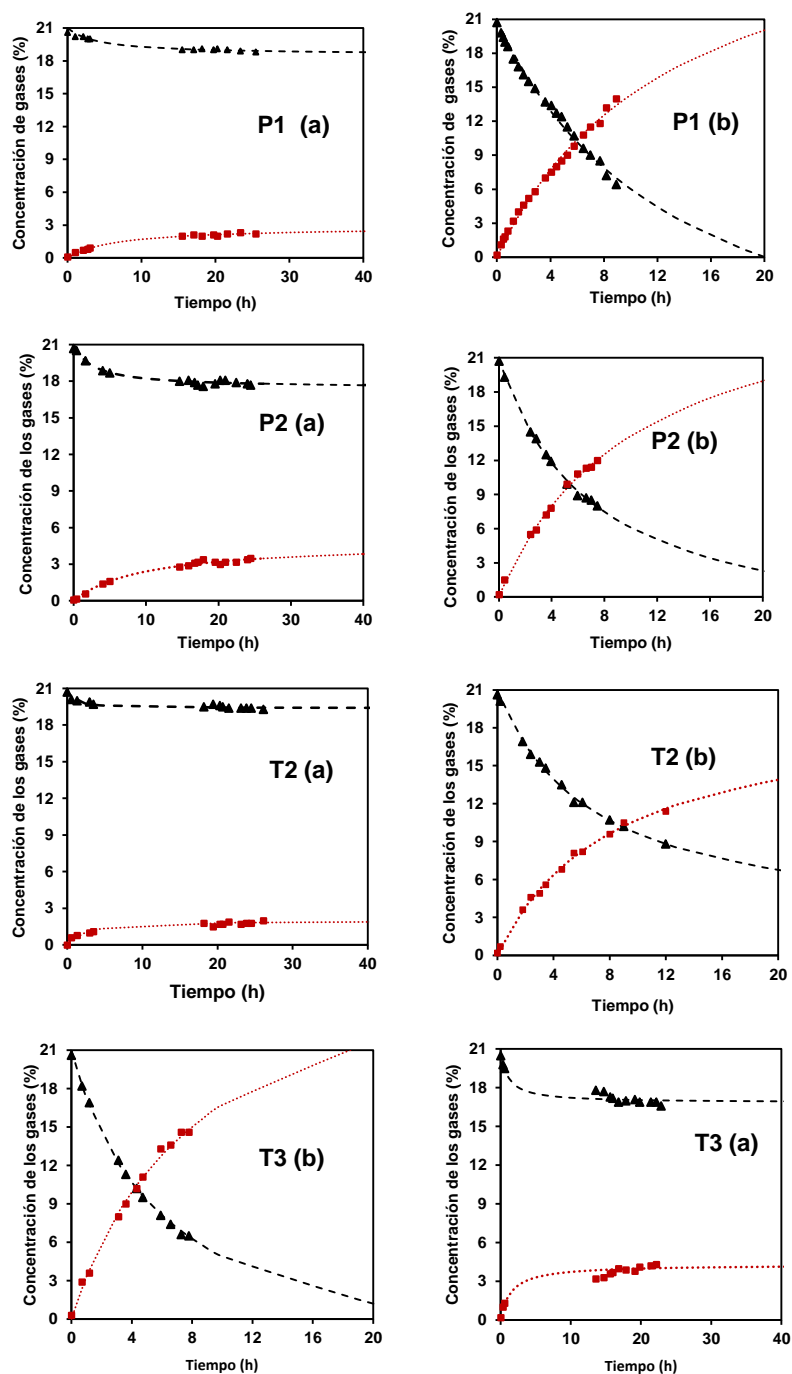


FIGURA 3. Ejemplos de la evolución de la concentración de O_2 (■) y CO_2 (▲) en el espacio de cabeza de las muestras P1, P2, T2 y T3 a 8°C (a) y a 25°C (b).

TABLA 4. Coeficientes a y b del Modelo Peleg de las muestras P1, P2, T2 y T3 a 8°C y 25°C.

Temperatura	Muestras	a		b		R ² (*)	
		O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂
8°C	P1	44,6±6,0 ^b	37,9±6,1 ^b	155,5±26,6 ^b	204,5±43,8 ^c	0,84	0,96
	P2	24,7±5,0 ^a	16,7±5,9 ^a	67,0±14,5 ^a	234,6±38,3 ^c	0,86	0,91
	T2	60,8±9,6 ^c	52,3±9,7 ^c	56,8±16,0 ^a	122,7±20,8 ^b	0,83	0,92
	T3	32,9±0,4 ^a	23,1±0,3 ^a	23,7±0,9 ^a	33,2±3,1 ^a	0,93	0,93
25°C	P1	3,5±0,8 ^A	2,9±0,4 ^A	30,1±5,1 ^{BC}	34,4±4,9 ^{BC}	0,99	0,99
	P2	3,7±0,2 ^A	2,9±0,5 ^A	23,8±2,7 ^{AB}	31,8±3,1 ^{AB}	0,998	0,99
	T2	4,6±0,6 ^B	3,9±0,8 ^B	31,7±8,0 ^C	39,8±8,0 ^C	0,98	0,98
	T3	3,5±0,3 ^A	2,8±0,4 ^A	21,5±1,4 ^A	24,7±1,6 ^A	0,999	0,995

Las letras minúsculas (Coeficientes a 8°C) o las letras mayúsculas (Coeficientes a 25°C) indican los grupos homogéneos obtenidos del análisis ANOVA a un nivel de confianza del 95%.

(*) R² es el coeficiente de regresión mínimo obtenido en las diferentes repeticiones de una misma muestra.

Con los valores de los coeficientes del modelo de Peleg, y aplicando las ecuaciones 7 y 8, se determinó la variación de las tasas respiratorias (Ec. 1 y 2) para las muestras analizadas.

En la Figura 4 se muestra dicha variación de TR en términos de consumo de O₂ (a) y emisión de CO₂ (b). A temperatura de refrigeración (8°C), la velocidad de consumo de O₂ o emisión de CO₂ varió por efecto de las concentraciones de gases en el espacio de cabeza. Este comportamiento está relacionado con la adaptación del producto a la variación de la composición de gas que le rodea. Así, a medida que disminuye el O₂ disponible, la tasa respiratoria disminuye, y, por tanto, decrece la energía disponible para llevar a cabo todos los procesos metabólicos que conducen al producto hacia la senescencia. Muchos estudios sobre respiración en productos postcosecha apuntan que existe una relación inversamente proporcional entre la tasa de respiración (TR) y la vida útil del producto (Kader & Saltveit, 2003). Cabe destacar que pequeñas variaciones en la concentración de gases atmosféricas producen grandes reducciones de la TR, llegando a valores muy cercanos a cero con concentraciones de O₂ por encima del 18%. Esto tendrá una gran importancia durante el envasado en atmósferas modificadas, donde la atmósfera de equilibrio no podrá ser nunca inferior a este valor.

En general la hoja fresca de moringa tiene elevados valores de TR pudiéndose incluir en la clasificación de alimentos con TR extremadamente alto (>60mg CO₂/kg h) como los espárragos, espinacas, perejil, champiñones y setas (Kader, 2002).

De la Figura 4 se observan también diferencias del comportamiento respiratorio entre las muestras estudiadas. Cabe destacar que la muestra P3, con concentraciones de gases cercanas a la atmosférica, presenta siempre una tasa respiratoria superior a las otras muestras de hojas, con valores cercanos a 1000 mL O₂/kg h, indicando que requiere una alta demanda energética para sus procesos metabólicos. Esto podría estar relacionado con una diferencia entre ellas en cuanto a desarrollo fisiológico. Así, los tejidos,

órganos o plantas jóvenes, en pleno crecimiento, experimentan mayores tasas de respiración que cuando los mismos tejidos están completamente desarrollados. La alta tasa de respiración específica de tejidos y plantas jóvenes se debe a la gran demanda de esqueletos de carbono para crear las nuevas estructuras vegetales, al reciclaje del poder reductor metabolizado durante su biosíntesis, y a la elevada demanda con la edad de las hojas (Ribas Carbó, et al., 2008) (Athanasios, et al., 2007). Dado que, tal y como se ha mostrado en la Tabla 2, las muestras P3 tenían una menor morfología foliar, su alta tasa respiratoria podría estar relacionada con su menor desarrollo.

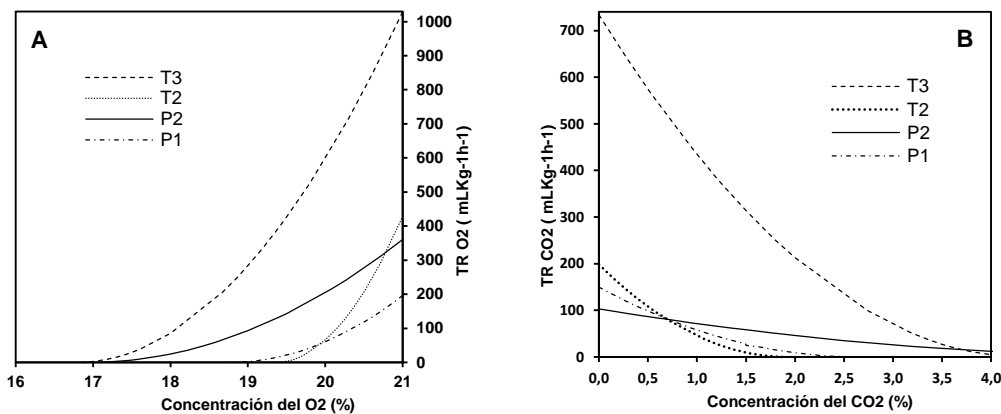


FIGURA 4. Predicción de la tasa respiratoria de O₂ (A) y CO₂ (B) con la Ec. 3 y 4 respectivamente en el espacio de cabeza de las muestras P1, P2, T2 y T3 a 8°C.

3.5. Estimación del envase óptimo

Puesto que uno de los mayores retos para la comercialización de la hoja fresca de moringa es conseguir ralentizar su deterioro y, teniendo en cuenta los resultados anteriores, se hizo una estimación del material de envasado óptimo para hojas frescas de moringa. Para la optimización se consideró únicamente el almacenamiento en refrigeración (8°C), temperatura habitual en las cámaras de los supermercados.

El envasado en atmósfera modificada (MAP) consiste en el envasado de alimentos en un material polimérico de forma que la composición de gases que rodea al producto sea diferente de la composición de gases en el aire. Para que se establezca una atmósfera interna con una determinada concentración de oxígeno y CO₂, es necesario que el material polimérico tenga una permeabilidad selectiva a estos gases (Mahajan, et al., 2007).

De este modo, en el sistema se establecen unos flujos de gases debidos por una parte a la actividad metabólica del producto y por otra al flujo de gas a través del material polimérico (Ec. 9 y 10):

$$\frac{dO_2}{dt} = -P_{O_2} \cdot A \cdot (x_{O_2}^i - x_{O_2}^e) - TR_{O_2} \cdot M \quad (9)$$

$$\frac{dCO_2}{dt} = -P_{CO_2} \cdot A \cdot (x_{CO_2}^i - x_{CO_2}^e) - TR_{CO_2} \cdot M \quad (10)$$

Siendo:

di/t : variación de la concentración de gas (O_2 , CO_2) en el espacio de cabeza con el tiempo (mL/h)

P_i : permeabilidad del material al gas i (O_2 , CO_2) (mL $_i$ /h m 2)

A : área de la superficie permeable (m 2)

x_i : fracción volumétrica de gas en el interior (i) y exterior (e) del film (v/V)

TR_i : tasa respiratoria del producto en términos de consumo de O_2 o eliminación de CO_2 (mL i /kg/h)

M : masa de producto en el envase (kg)

Cuando el sistema llegue al régimen estacionario, la concentración de gases en el espacio de cabeza será constante (atmósfera de equilibrio). Esto se alcanzará cuando se cumpla la relación descrita en las ec. 11 y 12 (Caleb, et al., 2013):

$$-TR_{O_2} \cdot M = P \cdot A \cdot (x_{O_2}^i - x_{O_2}^e) \quad (11)$$

$$TR_{CO_2} \cdot M = P \cdot A \cdot (x_{CO_2}^i - x_{CO_2}^e) \quad (12)$$

Con estas premisas, y pensando en el producto que se deseaba ofertar, hojas frescas envasadas en un material polimérico, se planteó como envase óptimo un envase que reuniera las características que se muestran en la tabla 5. Como se ha comentado anteriormente, a concentraciones de O_2 cercanas al 18% y de CO_2 superiores al 2%, la tasa respiratoria decrece hasta valores cercanos a cero. En estas condiciones, el material vegetal se deteriorará notablemente por falta de energía para mantener su metabolismo activo, llegando muy rápidamente a la muerte celular. Por este motivo, se calculará un envase semipermeable donde la atmósfera de equilibrio no baje de estos niveles de O_2 ni supere los de CO_2 .

TABLA 5. Características del envase a optimizar

Peso neto de hojas	10 g
Relación hojas: aire	1/25
Volumen total envase ^(*)	250 mL
Alto envase ^(*)	118 mm
Ancho del envase ^(*)	192 mm
Largo del envase ^(*)	30 mm
Atmósfera de equilibrio	18-19,5% O_2 y 1,5-2% CO_2

^(*) Se consideró para el envase un formato comercial de referencia del catálogo Fresh Produce Packaging de la empresa ILIP (ILIP, 2018)

En la tabla 6 se muestran los valores de permeabilidad del envase óptimos para cada una de las muestras considerando los diferentes niveles de O_2 y CO_2 a alcanzar en la atmósfera de equilibrio.

TABLA 6. Permeabilidad al O₂ (P_{O₂}) y al CO₂ (P_{CO₂}) óptima del material para envasado de las muestras

Muestra	P _{O₂} (cm ³ /m ² 24h atm)			P _{CO₂} (cm ³ /m ² 24h atm)		
	18% O ₂	19% O ₂	19,5% O ₂	1,5% CO ₂	1,8% CO ₂	2,0% CO ₂
P1	-	434	5400	467	295	173
P2	3058	17391	35839	1114	986	903
T2	-	-	827	1050	146	-
T3	9300	46496	93200	6042	4905	4205

Como puede observarse, en general, se necesita un material polimérico con alta permeabilidad al oxígeno y baja al CO₂. Sin embargo, se obtuvieron valores de permeabilidad muy variables entre las muestras, por lo que teóricamente cada una de ellas tendría que envasarse con un material específico para ella. En principio, a nivel comercial, esto no resultaría viable.

Por tanto, los resultados obtenidos no son concluyentes para poder seleccionar un material de envasado óptimo, y se necesitarían hacer más estudios para intentar ajustar mejor las tasas respiratorias y poder así llegar a un envasado óptimo. Posteriormente, deberían continuarse los estudios envasando hojas en las condiciones óptimas y evaluando su vida útil. En cualquier caso, y a la vista de los resultados obtenidos, parece que la comercialización de hojas frescas para su consumo en fresco plantea problemas de estabilidad del producto.

4. CONCLUSIONES

El cultivo de la moringa se ha adaptado bien a las condiciones climáticas y edafológicas de las zonas de cultivo consideradas, especialmente en las parcelas de Cajamar-Paiporta y Valencia durante este primer año. El tamaño foliar fue superior en la moringa originaria de Ghana cultivada en la UPV y también en la moringa PKM1 de la parcela Paiporta-Cajamar. El contenido proteico fue mayor en la moringa PKM1 cultivada en Monserrat mientras la capacidad antioxidante fue mayor en la moringa de Ghana, sin se registrarse cambios en la tonalidad ni en las propiedades mecánicas de las hojas.

En general, las hojas frescas de moringa requieren elevadas cantidades de O₂ (18-19.5%) y menores cantidades de CO₂ (5-2%) para realizar sus procesos metabólicos. La tasa respiratoria de las hojas es extremadamente alta (>100mg/kg h a 8°C) de manera que se requiere un material polimérico con alta permeabilidad al oxígeno y baja al CO₂. Se sugiere realizar más ensayos de tasa respiratoria y estudios de vida útil con material polimérico para determinar la viabilidad de la comercialización de las hojas frescas.

5. REFERENCIAS

- Amaglo, N. K., Bennett, R. N., Lo Curto, R. B. & Rosa, E. A., 2010. Profiling selected phytochemicals and nutrients in different tissues of the multipurpose tree *Moringa oleifera* L., grown in Ghana. *Food Chemistry*, 122(4), pp. 1047-1054.
- AOAC, 1984. *Official Methods of Analysis. Kjeldahl method (2.062)*. 14 ed. Washington D.C.: s.n.
- AOAC, 2000. *Official Methods of Analysis, The Association of official Analytical Chemists*. 17th edn ed. USA: Gaithersburg.
- Aranwela, N., Sanson, G. & Read, J., 2002. Methods of assessing leaf-fracture properties. *New Phytologist*, 144(2), pp. 369-383.
- Aries, C., 2014. *Estudio de las posibles zonas de introducción de la Moringa oleifera Lam. en la Península Ibérica, Islas baleares e isla Canarias*. España: s.n.
- Athanasios, K., Anastasios, S. & Evangelos, S., 2007. Postharvest CO₂ and ethylene production and quality of rocket (*Eruca sativa* Mill.) leaves as affected by leaf age and storage temperature. *Postharvest Biology and Technology*, 46(2), pp. 167-173.
- Bhande, S., Ravindra, M. & Goswami, T., 2008. Respiration rate of banana fruit under aerobic conditions. *Journal of Food Engineering*, 87(1), pp. 116-123.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E. & Berset, C., 1995. Use of a Free Radical Method to Evaluate Antioxidant. *Food Science and Technology*, 28(1), pp. 25-30.
- Caleb, O. J., Mahajan, P. V., Al-Julanda Al-Said, F. & Linus Opara, U., 2013. Modified Atmosphere Packaging Technology of Fresh and Fresh-cut Produce and the Microbial Consequences—A Review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(2), pp. 303-329.
- Casierra Posada, F., Riascos, D. H. & Ávila León, O. F., 2012. Cambios diarios del contenido de pigmentos fotosintéticos en hojas de caléndula bajo sol y sombra.
- Fonseca, S. C., Oliveira, F. A. & Brecht, J. K., 2002. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified. *Journal of Food Engineering*, 52(2), pp. 99-119.
- García Martínez, E. & Fernández Segovia, I., s.f. *Determinación de la humedad de un alimento por un método gravimétrico indirecto por desecación*, Valencia: ETSIAMN. Universitat Politècnica de València.
- García Martínez, E. & Fernández Segovia, I., s.f. *Determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con un ácido fuerte*, Valencia: ETSIAMN. Universitat Politècnica de València.
- Gil Zanón, F., Ortolá Ortolá, M. D., Castelló Gómez, M. L. & Rubio Arraez, S., 2019. *Caracterización de hojas de moringa (Moringa oleifera lam.) y optimización del secado por aire caliente*. Valencia: Tesis de máster. Universitat Politècnica de València.
- Godino García, M., 2016. *Moringa oleifera: Árbol multiusos de interés forestal para el sur de la Península Ibérica*, España: Drumstick tree' (*Moringa oleifera* Lam.): A multipurpose potential species in India.
- Gopalakrishnan, L., Doriya, K. & Santhosh Kumar, D., 2016. Moringa oleifera: A review on nutritive importance and its medicinal application. *Food Science and Human Wellness*, 5(2), pp. 49-56.
- Gopalan, C., Rama Sastri, B. V. & Balasubramanian, S. C., 2012. *Nutritive value of Indian foods*. India: s.n.
- Gutiérrez-Rodríguez, E., Lieth, H., Jernstedt, J. & Labavitch, J., 2012. Texture, composition and anatomy of spinach leaves in relation to nitrogen fertilization. *J Sci Food Agric*, 93(2), pp. 227-237.
- Hermawan, A., Sarmoko, S., Nur, K. A. & Dewi, D., 2012. Ethanolic Extract of Moringa oleifera Increased Cytotoxic Effect of Doxorubicin on Hela Cancer Cells. *Journal of Natural Remedies*, 12(2), pp. 108-114.
- Hong, G., Peiser, G. & Cantwell, M. I., 2000. Use of controlled atmospheres and heat treatment to maintain quality of intact and minimally processed green onions. *Postharvest Biology and Technology*, 20(1), pp. 53-61.
- Horticultural College and Research Institute, s.f. *Tamil Nadu Agricultural university*. [En línea] Available at: <https://sites.google.com/a/tnau.ac.in/horticultural-college-research->

- [institute/departments/department-of-vegetable-science/varieties-and-technologies](https://www.institute/departments/department-of-vegetable-science/varieties-and-technologies)
[Último acceso: 29 10 2019].
- ILIP, 2018. *ILIP*. [En línea] Available at: <https://www.ilip.it/es/descarga/#catalogos> [Último acceso: 7 Noviembre 2019].
- Kader, A., 2002. Postharvest Biology and Technology: An Overview. En: *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. s.l.:s.n.
- Kader, A. a., 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technology*, 40(5), pp. 102-104.
- Kader, A. & Saltveit, M., 2003. Respiration and gas exchange of vegetables. En: s.l.:s.n., pp. California, USA.
- Kader, A., Zagory, D. & Kerbel, E., 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 28(1), pp. 1-30.
- Kaur, G., Singla, N. & Jain, R., 2018. Nutritional and Health Attributes of Herbs. *Chemical Science Review and Letters*, 25(7), pp. 250-255.
- Kays, S. J., 1991. Metabolic processes in. En: *Metabolic processes in harvested products respiration*. New York: s.n., pp. 79-131.
- Kumar, A. R. y otros, 2014. SCIENTIFIC SEED PRODUCTION TECHNIQUES IN MORINGA.. *Agricultural Reviews*, 35(1), pp. 69-73.
- Lee, J. H., An, D. S. & Lee, D. S., 2018. Fresh produce container adaptively controlled in its atmosphere modification under variable temperature conditions. *Biosystems Engineering*, Volumen 171, pp. 265-271.
- Liu, Y. y otros, 2018. Values, properties and utility of different parts of Moringa oleifera: An overview. *Chinese Herbal Medicines*, 10(4), pp. 371-378.
- Mahajan, P., Oliveira, F., Montanez, J. & Frias, J., 2007. Development of user-friendly software for design of modified atmosphere packaging for fresh and fresh-cut produce. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 8(1), pp. 84-92.
- Mahajan, P. V. & Goswami, T. K., 2001. Enzyme Kinetics Based Modelling of Respiration Rate for Apple. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 79(4), pp. 399-406.
- Maharshi, D., 2018. *Medium*. [En línea] Available at: <https://medium.com/@dpmaharshi/most-popular-moringa-seed-varieties-1e31e974aee4> [Último acceso: 7 Noviembre 2019].
- Müller, L. E., 1964. *Manual de laboratorio de Fisiología vegetal*. 1 ed. Turrialba: SIC.
- Nouman, W. y otros, 2016. Profiling of polyphenolics, nutrients and antioxidant potential of germplasm's leaves from seven cultivars of Moringa oleifera Lam.. *Industrial Crops and Products*, Volumen 83, pp. 166-176.
- Pakade, V., Cukrowska, E. & Chimuka, L., 2013. Comparison of antioxidant activity of Moringa. *South African Journal of Science*, 109(3-4), pp. 1-5.
- Paula, N. G., 2015. *Acción contra el hambre*. [En línea] Available at: <https://www.accioncontraelhambre.org/es/moringa-oleifera-un-aliado-en-la-lucha-contra-la-desnutricion>
- Peleg, M., 1988. An Empirical Model for the Description of Moisture Sorption Curves. *Journal of Food Science*, 53(4), pp. 1216-1217.
- Peppelenbos, H. W. & Leven, J. v. '., 1996. Evaluation of four types of inhibition for modelling the influence of carbon dioxide on oxygen consumption of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 7(1-2), pp. 27-40.
- Radha, C., Ogunsina, B. & Hebina Babu, K., 2015. Some Quality and Micro-structural Characteristics of soup Enriched with Debittered Moringa Oleifera Seeds Flour. *American Journal of Food Science and Technology*, 3(6), pp. 145-149.
- Rahman, E. A. A., Talib, R. A., Aziz, M. G. & Yusof, Y. A., 2013. Modelling the effect of temperature on respiration rate of fresh cut papaya (*Carica papaya* L.) fruits. *Food Science and Biotechnology*, 22(6), pp. 1581-1588.
- Read, J. & Sanson, G., 2003. Characterizing sclerophylly: the mechanical properties of a diverse range of leaf types. *New Phytologist*, 160(1), pp. 81-99.
- Renquist A. R., Lill, R. E., Borst, W. M. & Bycroft, B. L., 2010. Postharvest life of asparagus (*Asparagus officinalis*) under warm conditions can be extended by controlled atmosphere



- or water feeding. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, Volumen 33, pp. 269-276.
- Ribas Carbó, M., Flórez Sarasa, I. & Gonzáles Meler, M. Á., 2008. La respiración de las plantas. En: *Fundamento de la fisiología vegetal*. España: McGraw-Hill Interamericana de España , pp. 2668-285.
- Rosa, C., Sapata, M. & Guerra, M. M., 2007. Chemical and sensory characteristics and microbiological safety of fresh finely chopped parsley packed in modified atmosphere. *Food Control*, 18(8), pp. 1008-1012.
- Ruiz, A. I., Mercado, M. I., Guantay, M. E. & Ponessa, G. I., 2019. Anatomía e histoquímica foliar y caulinar de Moringa oleifera (Moringaceae). *Boletín De La Sociedad Argentina De Botánica*, 54(3).
- Sharma, V., Paliwal, R., Sharma, P. & Sharma, S., 2011. Phytochemical analysis and evaluation of antioxidant activities of hydro-ethanolic extract of Moringa oleifera Lam. Pods. *Journal of Pharmacy Research*, 4(2), pp. 554-557.
- Singh, R., Giri, S. K. & Kulkarni, S. D., 2013. Respiratory behavior of turning stage mature tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *The Croatian Journal of Food Science and Technology*, 5(2), pp. 78-84.
- Sreelatha, S. & Padma, P., 2009. Antioxidant activity and total phenolic content of Moringa oleifera leaves in two stages of maturity. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64(4), pp. 303-311.
- Tshabalala, T., Moyo, H., Ncube, B. A. & Abdel-Rahman, E., 2019. Predicting the spatial suitability distribution of Moringa oleifera cultivation using analytical hierarchical process modelling. *South African Journal of Botany*.
- Turkmen, N., Sari, F. & Velioglu, Y. S., 2005. The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*, 93(4), pp. 713-718.
- USDA, 2019. U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. [En línea] Available at: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/168416/nutrients> [Último acceso: 16 10 2019].
- Yaptenco, K. F., Kim, G. J. & Lee, H. E., 2007. Respiration Modeling of Cherry Tomato (cv. Coco) at Different Temperatures. *THE PHILIPPINE AGRICULTURAL SCIENTIST*, 90(4), pp. 272-282.
- Zahid, A. y otros, 2019. Characterization and Water Content Estimation Method of Living Plant Leaves Using Terahertz Waves. *Applied Sciences*.