



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

MAGDALENAS CON POLVO DE HOJAS DE MORINGA (Moringa oleífera): MEJORA NUTRICIONAL Y ACEPTABILIDAD

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

ALUMNA: María Alejandra Chinchilla Reyes

TUTORA ACADEMICA: María Dolores Ortolá Ortolá

COTUTORA: María Luisa Castelló Gómez

DIRECTORA EXPERIMENTAL: Susana Rubio Arráez

Curso Académico:2018-2109

VALENCIA, julio de 2019

MAGDALENAS CON POLVO DE HOJAS DE MORINGA (*Moringa oleífera*): MEJORA NUTRICIONAL Y ACEPTABILIDAD

Chinchilla, M.A., Rubio-Arráez, S.¹, Castelló, M.L.¹, Ortolá, M.D.¹

RESUMEN

La tendencia de consumo actual, está relacionada con alimentos de fácil acceso y con elevado valor nutricional, por lo que el objetivo principal de esta investigación fue evaluar la adición de polvo de hojas de *Moringa oleífera* para mejorar el perfil nutricional de un producto de alto consumo como las magdalenas y su aceptación por el consumidor. En este estudio se llevó a cabo la caracterización del polvo (humedad, contenido en proteínas y capacidad antioxidante) y la elaboración de magdalena con 0, 1, 2.5, 5 y 10% de sustitución de harina de trigo por polvo de hoja de *Moringa oleífera*. Al producto horneado se le evaluaron propiedades mecánicas, ópticas, así como forma, tamaño, humedad, actividad de agua, contenido en alveolos, capacidad antioxidante y proteínas. De acuerdo a los resultados de caracterización obtenidos, se realizó la evaluación sensorial de las formulaciones con 1, 2.5 y 5% de sustitución. Los resultados demuestran que el polvo de moringa tiene una cantidad considerable de proteínas y capacidad antioxidante, por lo que su adición a las magdalenas aporta una mejora en su valor nutricional, respecto a una magdalena control (sin moringa). Este aporte tiene un mayor efecto conforme se aumenta el porcentaje de sustitución. Sin embargo, aunque el mayor nivel de reemplazo de harina de trigo por polvo de moringa (10%) supuso una mayor cantidad de proteína y antioxidantes, las magdalenas resultaron demasiado duras y verdosas. En general, las magdalenas ricas en moringa, fueron penalizadas principalmente por el color externo que podría mejorarse para tener más aceptación.

PALABRAS CLAVE: Moringa, magdalenas, perfil nutricional

RESUM

La tendència de consum actual està relacionada amb aliments de fàcil accés i amb elevat valor nutricional, per la qual cosa, l'objectiu principal d'aquesta investigació va ser avaluar l'addició de pols de fulles de *Moringa oleífera* per a millorar el perfil nutricional d'un producte d'alt consum com les magdalenes i la seua acceptació pel consumidor. En aquest estudi es va dur a terme la caracterització de la pols (humitat, contingut en proteïnes i capacitat antioxidant) i l'elaboració de magdalenes amb 0, 1, 2.5, 5 i 10% de substitució de la farina de blat per pols de fulla seca de *Moringa oleífera*. Al producte enforat se li van avaluar propietats mecàniques, òptiques, així com forma,

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

grandària, humitat, activitat d'aigua, contingut en alvèols, capacitat antioxidant i proteïnes. D'acord amb els resultats de caracterització obtinguts, es va realitzar l'avaluació sensorial de les formulacions amb 1, 2.5 i 5% de substitució. Els resultats demostren que la pols de moringa té una quantitat considerable de proteïnes i capacitat antioxidant, per la qual cosa la seua addició a les magdalenes aporta una millora en el seu valor nutricional, respecte a una magdalena control (sense moringa). Aquesta aportació té un major efecte conforme s'augmenta el percentatge de substitució. No obstant això, encara que el major nivell de reemplaçament de farina de blat per pols de moringa (10%) va suposar una major quantitat de proteïna i antioxidants, les magdalenes van ser massa dures i verdes. En general, les magdalenes riques en moringa van ser penalitzades principalment pel color extern que podria millorar-se per a tindre més acceptació.

PARAULES CLAU: Moringa, magdalenes, perfil nutricional

ABSTRACT

Nowadays, the consumption trending is related to easy access food products with high nutritional value. Therefore, the main purpose of this investigation was to evaluate the addition of leaf *Moringa oleifera* powder, in order to improve the nutritional value of a highly consumed product as muffins, and their acceptance by the consumer. In this study, moringa powder was characterized (humidity, protein content, and antioxidant capacity) and muffins were elaborated replacing 0, 1, 2.5, 5, and 10% of wheat flour by leaf moringa powder. Mechanical and optical properties of baked product were measured as well as the shape, size, humidity, water activity, alveoli content, antioxidant capacity, and protein concentration. According to these results, sensory evaluation was carried out for muffins containing 1, 2.5, and 5% of moringa. The results show that the Moringa powder has a considerable quantity of proteins and antioxidant capacity, and consequently its addition to the muffins provides an improved nutritional value in comparison with the control muffin (no moringa). This improvement has a stronger effect depending on the increase of the moringa percentage included in muffins. However, although the highest level of replacement of wheat flour by moringa powder (10%) implied greatest amount of protein and antioxidants, muffins were too hard and greenish. In general, muffins rich in moringa were penalized especially because of their external color, which could be improved to obtain a better consumer acceptance.

KEYWORDS: Moringa, muffins, nutritional profile.

1. INTRODUCCION

La Moringa es una planta que proviene del norte de la India y de algunas partes del norte de Europa. También se cultiva en Asia, África, Oriente medio y América del Sur. Crece en tierras cálidas y secas y en suelos poco fértiles, no viéndose demasiado afectada por la sequía (Moyo et al., 2011). Una de las especies de mayor cultivo es la *Moringa oleífera*, en la que destacan diversos nutrientes como: vitaminas, minerales, aminoácidos, β -carotenos, antioxidantes, omega 3 y 6, fibra y proteínas (Abbas et al., 2018).

Como en otros cultivos, en la moringa se pueden consumir tanto las semillas, las flores como hojas, aunque son estas últimas las más valoradas por su elevado rendimiento, ya que se pueden realizar varios cortes a la planta en una misma campaña para obtenerlas. Además, según Oyeyinka y Oyeyinka (2018), las hojas contienen la mayor cantidad de nutrientes, especialmente en términos de contenido proteico (19-29%). Como técnica de conservación, en muchos casos se recurre al secado de las hojas (Quintanilla-Medina, et al., 2018) y en este sentido, estudios previos han demostrado que el contenido en proteína de las hojas secas de *Moringa oleífera* sería similar al de los frijoles polilla, frijoles de soya y frijoles en los que las proteínas se encuentran entre 22-24% (Srinivasamurthy et al., 2017). Además, el aporte calórico de las hojas de moringa, es bajo y tiene antioxidantes naturales como vitamina C, tocoferoles, flavonoides y otros compuestos fenólicos, siendo superiores al de algunos vegetales y frutas como la espinaca, el brócoli y la fresa. Por otra parte, la moringa tiene algunas propiedades medicinales y farmacológicas como ser antiinflamatoria, analgésica, reguladora de desórdenes gastrointestinales, entre otros (Srinivasamurthy et al., 2017).

Por sus componentes nutricionales (principalmente las proteínas) y las propiedades que tienen las hojas de *Moringa oleífera*, se ha utilizado para fortificar distintos productos alimenticios como sopas, pastas, yogurt, panes, pasteles, galletas, productos cárnicos, bebidas y harinas (Oyeyinka y Oyeyinka, 2018). En el estudio realizado por Srinivasamurthy et al. (2017) sobre magdalenas con incorporación de moringa, se reporta que con la adición de hojas de moringa seca en un 12%, se obtuvo un producto sensorialmente aceptable y nutritivo. Además, en ese mismo trabajo se menciona que la incorporación de la hoja a las distintas matrices debe de ser en seco, ya que es más fácil de manipular, almacenar y tiene una mejor vida útil. Investigaciones realizadas por Quintanilla-Medina et al. (2018), evidencian que el contenido de proteínas en las hojas secas dependerá de la temperatura y tiempo de secado. En otros estudios realizados por Mbah et al. (2012), el contenido de proteína, después del secado de hojas frescas presentó un aumento significativo.

Según Vidal (2018), actualmente las personas buscan snacks y comidas preparadas que contengan nutrientes como proteínas, fibras, omega 3, entre otros. Además, aunque los consumidores priorizan el sabor en los snacks, están accesibles a que éstos sean lo más naturales y saludables posibles.

Los productos de bollería son productos calóricos que contienen mayoritariamente altas cantidades de azúcares y grasas, siendo escasos en proteínas y otros compuestos nutricionales como los antioxidantes (Varela et

al., 1993). Según la OMS la ingesta de proteínas recomendada es del 10 al 15% de la ingesta calórica diaria total. Así mismo hace mención a la importancia del consumo de alimentos, que, aunque tengan calorías, sean de alto valor nutricional para evitar algunas enfermedades crónicas como diabetes, cardiovasculares y cáncer (OMS, 2003). Las proteínas son importantes para el ser humano, ya que tienen algunas funciones entre las que se mencionan, ayudar en los procesos de crecimiento y desarrollo, crear, reparar y mantener los tejidos corporales. Además, están relacionadas con la asimilación de nutrientes y regulación de vitaminas (Torres et al., 2007). Un estudio realizado por ANIBES (2013), demuestra que la ingesta de proteínas en la población española respecto a la bollería y pastelería es de alrededor 2.77%.

Por todo ello, el objetivo de este estudio es evaluar tanto la composición (proteína y humedad) y la capacidad antioxidante de polvo de hojas secas de moringa cultivadas en la Comunidad Valenciana y su incorporación a magdalenas reemplazando parte de la harina de trigo por un 1, 2.5, 5 y 10 % de polvo de moringa. Además, se compararán las propiedades mecánicas y ópticas de las magdalenas ricas en moringa con magdalenas tradicionales y se llevará a cabo un análisis sensorial para valorar la aceptabilidad de estas nuevas magdalenas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Obtención de polvo de moringa, formulaciones y proceso de elaboración de las magdalenas

El polvo se obtuvo a partir de hojas de moringa seca (cosecha 2018) suministradas por un agricultor de la zona de Valencia, las cuales se molieron con un robot de cocina (Thermomix, TM31, Vorwerk, Wupertal, Germany), por un tiempo de 3 min a máxima velocidad. Por último, el polvo se tamizó con un tamiz de 0:100mm y se almacenó a temperatura ambiente en un recipiente de vidrio, sellado y protegido por la luz.

Se llevaron a cabo 4 formulaciones distintas de magdalenas, en donde se sustituyó la harina de trigo por polvo de moringa en distintas proporciones (1, 2.5, 5 y 10%(p/p)) y una formulación control (100% harina de trigo) para posteriormente establecer una comparación.

Para la elaboración de las magdalenas se empleó 25%(p/p) de huevo, 25%(p/p) de azúcar y 25%(p/p) de harina (harina de trigo/polvo de moringa), 12% (p/p) de aceite de girasol y 12% (p/p) de leche y un 1% de levadura química. Todos los ingredientes (excepto el polvo de moringa) fueron adquiridos en un supermercado local. Para cada formulación se batieron los huevos en una batidora eléctrica (Kenwood, modelo KM240 serie, Reino Unido) por un tiempo de 10 min a máxima velocidad, a continuación, se añadió el azúcar y se batió por 5 min más. Luego se adicionó la leche y el aceite, y se batió por 2 min a velocidad mínima, agregando, por último, la harina o mezcla con polvo de hojas de moringa y la levadura química y se mezcló por un tiempo de 5 min a velocidad mínima.

Se dejó reposar la masa por un tiempo de 30 min en refrigeración. Después del tiempo de reposo se rellenaron los moldes de papel (60x35mm) con aproximadamente 65 g de masa. Se hornearon a una temperatura de 145°C por un tiempo de 23 min con ventilación en un horno (Racional AGD-86899 Landsberg a.Lech, Germany).

2.2 Determinaciones analíticas

2.2.1 ACTIVIDAD DE AGUA (a_w)

El análisis de actividad de agua del producto horneado se llevó a cabo con un higrómetro de punto de rocío AquaLab (Decagon Devices, Inc., model 4TE, Pullman, Washington, U.S.A.) a 25 °C. Se hicieron cinco repeticiones para cada formulación de magdalenas horneadas.

2.2.2 HUMEDAD

La humedad, tanto de las magdalenas como del polvo de moringa, se analizó según el método gravimétrico (AOAC, 2000), en una estufa (J.P SELECTA, modelo conterm tipo poupinel 2000201, Barcelona, España) a 60°C hasta alcanzar un peso constante (7 días). Los análisis se hicieron por quintuplicado.

2.2.3 ALTURA, DIÁMETRO Y PESO

Se midió la altura y diámetro (mm) de las magdalenas horneadas utilizando un pie de rey. Así mismo se tomó el peso con una balanza (METTLER TOLEDO, PB303-L, Suiza). Se realizaron cinco repeticiones.

2.2.4 PROPIEDADES MECÁNICAS

Para realizar el ensayo de textura, con un sacabocados se obtuvieron cilindros de 40mm de alto y 40mm de diámetro de la parte central de la magdalena. Se determinó las propiedades mecánicas (dureza, adhesividad, cohesividad, gomosidad y elasticidad) de los cilindros por medio de un ensayo de doble compresión TPA (Texture Profile Analysis), el cual imita el proceso de masticación, utilizando un texturómetro (Analizador de textura TA.XT. plus, Microsystems estable, Godalming, Reino Unido). Se empleó una sonda con 40 mm de diámetro en su base circular, deformación hasta el 50 % a una velocidad de 1 mm/s y un intervalo de 30 segundos entre ambas compresiones. Cada muestra fue analizada por quintuplicado.

2.2.5 PROPIEDADES ÓPTICAS

El color, tanto externo como interno, de las distintas formulaciones de magdalena, se midió con un espectrocólorímetro (Konica Minolta, Inc., modelo CM 3600d, Tokio, Japón). Se obtuvieron las coordenadas de color CIE - $L^*a^*b^*$, utilizando el iluminante D65 y un ángulo de visión de 10°.

Las mediciones externas se tomaron de la superficie de las magdalenas y para las internas se utilizaron las paredes de los cilindros obtenidos en el apartado de textura. Se emplearon cinco magdalenas para cada muestra. Para calcular la diferencia total de color (ΔE^*) respecto de la formulación control, se utilizó la ecuación 1:

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

2.2.6 DETERMINACION DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

La capacidad antioxidante del polvo de moringa y de las magdalenas se pudo efectuar por la eliminación del radical libre de 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (Brand-Williams et al., 1995). Se realizó una extracción de 0.5 g de polvo de moringa o magdalena (1, 2.5, 5 y 10%) con 5 ml de metanol: agua (80:20) y se mezcló por 1 min en un vórtex (VWR, modelo Agitador vórtex, Alemania). La mezcla se centrifugó a 13400 rpm por 5 min. Para la lectura de la absorbancia, se colocó en una cubeta 3.9 ml de DPPH (0.025g/L en metanol: agua (80:20)) y se realizó la lectura a 515nm en un espectrocólorímetro (Thermo Fisher Scientific, Inc. Helios Zeta UV-VIS, Waltham, MA, EE. UU.). Por último, a 100 μ L del extracto se le agregaron 3.9ml de DPPH y después de 30 min se realizó la lectura en el espectrocólorímetro (Rubio-Arreaz et al., 2017). El análisis se realizó por quintuplicado. El porcentaje de reducción de DPPH se calculó con la siguiente ecuación 2:

$$\text{Reducción de DPPH (\%)} = \left[\frac{A_{\text{control}} - A_{\text{muestra}}}{A_{\text{control}}} \right] * 100 \quad (2)$$

En donde: A_{control} = absorbancia inicial de DPPH sin muestra y A_{muestra} = absorbancia después de 30 min de la adición de la muestra (Turkemen et al., 2004).

2.2.7 ANÁLISIS DE IMAGEN

El análisis de Imagen se llevó a cabo mediante el Software libre ImageJ (National Institutes Health, Bethesda, MD, U.S.A.). Se cortaron por la mitad transversalmente las magdalenas y se colocaron en un scanner (HP Deskjet 3637, California, U.S.A). Mediante el programa utilizado, se pudo determinar el área total de la magdalena y el área de los alveolos. Se utilizaron tres muestras de magdalena por formulación.

2.2.8 DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS

Para estimar el porcentaje de nitrógeno se utilizó el método kjeldhal y un destilador automático (UDK, 129. VELP, SCIENTIFICA). Para determinar la cantidad de proteínas se multiplicó el valor de nitrógeno obtenido por el factor 6.25 (Radha et al., 2015). El análisis se realizó por triplicado tanto en el polvo como en las magdalenas.

2.2.9 ANÁLISIS SENSORIAL

La evaluación de aceptación de 3 formulaciones de magdalena con moringa, seleccionadas tras el análisis de los resultados analíticos, se llevó a cabo con un panel de 30 catadores en edades comprendidas entre 18 y 60 años. La prueba se realizó en la sala de catas del Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo (IUIAD). Se utilizó una escala hedónica de 9 puntos según lo establecido por (ISO 4121, 2003). Los atributos evaluados fueron: aspecto, color externo e interno, aroma, esponjosidad al abrirlo, tacto, retrogusto, esponjosidad en boca, sabor, textura e intención de compra. Por último, se evaluaron los mismos parámetros según el test Just About Right (JAR).

2.3 Análisis estadístico

Se realizó el análisis de la varianza de los resultados (one way ANOVA), utilizando el programa Statgraphics Centurión versión XVI.I (2013), con un nivel de confianza del 95% ($p\text{-value} \leq 0.05$).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Composición y capacidad antioxidante del polvo de hoja de moringa

En la tabla 1 se muestra la composición, en términos de contenido en agua y en proteína, así como la capacidad antioxidante del polvo de hojas de moringa secas, comparándola con la harina de trigo convencional. Como puede observarse, el polvo contiene una mayor cantidad de proteínas en comparación con la harina de trigo. Los datos obtenidos para la humedad y proteína son similares a los presentados por El-Gammal et al. (2016) que obtuvieron valores de 6.50% para la humedad y 26.28% para la proteína. Por tanto, la moringa es una buena fuente de proteínas, aunque con ligeras diferencias dependiendo del lugar de origen y la forma de cultivo. Además, estudios de Mune Mune et al. (2016) afirman que la capacidad de retención de agua del polvo es de 3.7 g/g, valor considerado alto en comparación con la capacidad de retención de agua de la harina de trigo que es de 1.92g/g (Sandoval et al., 2012). Por tanto, este polvo podría ser utilizado en alimentos viscosos como sopas y salsas.

Respecto a la capacidad antioxidante, el polvo de moringa presenta un mayor porcentaje de inhibición en comparación con la harina de trigo. Según algunos estudios realizados, la moringa contiene elevada capacidad antioxidante en comparación con otros como la espinaca, el brócoli y la coliflor (Pakade et al., 2013). La mayor capacidad antioxidante en polvo de hojas de moringa puede estar relacionado con la presencia de compuestos antioxidantes como vitamina C, vitamina E y β -caroteno (Reddy et al., 2005). El secado del polvo de moringa presenta un aumento en el contenido de vitamina C. Young Ju y Kyung Im (2016), en su informe comentan que el extracto de hojas de moringa tiene una mayor capacidad antioxidante que las

hojas de té verde, así mismo se demostró que a mayor concentración de extracto de hoja de moringa, es mayor la capacidad antioxidante.

TABLA 1. Composición (humedad, proteína) y capacidad antioxidante del polvo de hoja de moringa y de la harina de trigo.

Formulación	%Humedad	%Proteína	Capacidad antioxidante (% de inhibición)
Polvo hoja de moringa	7.3 ± 0.3	29.5 ± 0.3	80.16 ± 0.07
Harina de Trigo	9.41 ± 0.06	10.3	8.5 ± 0.2

3.2 Composición, dimensiones, peso y capacidad antioxidante de magdalenas con polvo de hoja de moringa

En la Tabla 2, se presenta el porcentaje de humedad y proteína de las magdalenas según su contenido en polvo de moringa, así como el valor de su actividad de agua (a_w). De acuerdo a los resultados obtenidos, la humedad en las magdalenas con moringa fue superior a la de la magdalena control, sin encontrarse diferencias significativas por efecto de la cantidad de moringa añadida. Como era de esperar, a medida que se aumentó el porcentaje de moringa, también aumentó significativamente el contenido de proteínas de las magdalenas de forma lineal ($\% \text{ Proteína} = 5.8946 + 0.2264 * \% \text{ Moringa}$, $R^2 = 0.9864$). El aumento del porcentaje de proteínas en las magdalenas, se debe a la cantidad contenida en el polvo de moringa, que como se ha comentado anteriormente es muy elevado (Tabla 1) en coherencia con los resultados publicados por otros autores (Abull et al., 2014). El hecho de que las magdalenas con polvo de moringa presenten un mayor contenido en agua, podría estar relacionado con la alta capacidad de retención de agua del polvo de hoja de moringa y su contenido en proteínas, como se ha observado en otros estudios (Sun-Young y Chang-Ho, 2017). La capacidad de retención de agua está relacionada con la concentración de proteínas, dándose una interacción directa entre estas moléculas y el agua (Aryee et al., 2018). Como se ha mencionado con anterioridad, el polvo de hoja de moringa contiene en su composición aminoácidos como serina, treonina, prolina y glutamina, los cuales son polares (Moyo et al., 2011). Se ha demostrado que los aminoácidos polares son los sitios primarios para la interacción con el agua, por lo que al tener una mayor cantidad de proteínas (aminoácidos), se tendrá una mayor capacidad de retención de agua. Asimismo, al desnaturalizarse las proteínas durante el horneado, se atrapa y retiene una mayor cantidad de agua (Aryee y Boye, 2017).

TABLA 2. Composición de las magdalenas (M) (% agua y % proteína) y actividad de agua (a_w) en función del contenido de moringa (C: control (sin moringa, 1%, 2.5%, 5% y 10%))

Formulación	%Humedad	% Proteína	a_w
MC	26.5 ± 0.8 ^a	5.81 ± 0.12 ^a	0.892 ± 0.013 ^a
M1%	28.2 ± 0.4 ^{ab}	6.08 ± 0.02 ^b	0.901 ± 0.008 ^a
M2.5%	27 ± 2 ^a	6.52 ± 0.09 ^c	0.89 ± 0.02 ^a
M5%	28 ± 1 ^{ab}	7.18 ± 0.09 ^d	0.909 ± 0.008 ^a
M10%	29.33 ± 0.07 ^b	8.07 ± 0.09 ^e	0.903 ± 0.016 ^a

En la Tabla 3, se presentan los valores de altura, diámetro y peso tras el horneado de las magdalenas con el fin de evaluar el efecto del porcentaje de reemplazo de harina de trigo por polvo de moringa sobre el rendimiento del producto final. Como puede observarse, el diámetro de la magdalena no se vio afectado por el contenido de moringa, mientras que sólo se observó una menor altura final cuando el contenido de moringa fue del 10%. Respecto al peso final, sí se registró un aumento del mismo en presencia de moringa, independientemente de la concentración considerada. Este comportamiento, se correlacionaría con los mayores niveles de humedad de las magdalenas con moringa, comentados anteriormente. La disminución de la altura de la magdalena con 10% de moringa podría estar relacionada con la mayor cantidad de proteínas contenidas en el polvo de hojas de moringa. Las harinas con mayor contenido de proteínas y composición de aminoácidos distintas a las harinas de trigo afectan a las características de las magdalenas, en especial a la altura. Este parámetro, está relacionado con el gas que se puede atrapar en la masa, por lo que se puede decir que las magdalenas elaboradas con hojas de polvo de moringa tienen una baja capacidad de retención de gases durante la cocción provocando una disminución en su tamaño. Así mismo la alta capacidad de retención de agua reduce el agua libre dando una magdalena compacta y menos suave (Gómez et al., 2008). Las proteínas tienen propiedades tensoactivas, las cuales permiten la estabilidad de las burbujas de aire en los batidos para tener una textura esponjosa. De esta manera, si se tiene un efecto espumante y emulsionante inadecuado, el volumen es bajo y la textura dura (Alvarez et al., 2016). Así mismo la moringa no contiene una elevada cantidad de carbohidratos, como se ha demostrado en diversos estudios (El-Gammal et al., 2016), por lo que podría haber menos almidones disponibles capaces de retener los gases e hincharse durante el horneado (Andersson, 2015).

TABLA 3. Peso y dimensiones (altura y diámetro) de las magdalenas estudiadas en función del contenido de polvo de moringa (C: control (sin moringa), 1% , 2.5% , 5% y 10%)

Formulación	Altura (mm)	Diámetro (mm)	Peso (g)
MC	52 ± 2 ^b	65.7 ± 1.2 ^{ab}	55.4 ± 1.5 ^a
M1%	57.6 ± 0.6 ^c	67.8 ± 1.2 ^b	59.59 ± 0.16 ^b
M2.5%	54.1 ± 1.2 ^b	67.8 ± 0.4 ^b	59.2 ± 0.4 ^b
M5%	51 ± 2 ^b	67 ± 2 ^{ab}	59 ± 2 ^b
M10%	46 ± 3 ^a	65 ± 2 ^a	59.7 ± 0.3 ^b

Por otra parte, en la Figura 1 se representa el porcentaje de inhibición del DPPH como medida de la capacidad antioxidante de las magdalenas. Como puede observarse, la capacidad antioxidante aumentó de forma lineal respecto al porcentaje de moringa utilizado, poniendo de manifiesto que el poder antioxidante de este polvo persiste tras el horneado, en coherencia con los resultados observados por otros autores (Kyung Im, 2016). La persistencia de la actividad antioxidante de la moringa después del horneado puede estar relacionada con la interacción entre los componentes de la magdalena (principalmente proteínas) y los compuestos activos (fenólicos) (Bourekoua et al., 2017). También podría deberse a la formación de nuevos compuestos como los productos de la reacción de Maillard que tienen capacidad antioxidante (Mrabet et al., 2015).

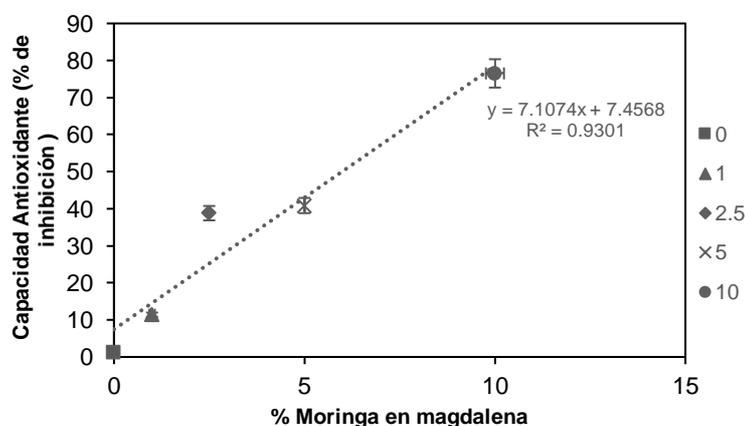


FIGURA 1. Capacidad antioxidante de las magdalenas expresada como porcentaje de inhibición en función del porcentaje de polvo de moringa utilizado para reemplazar la harina de trigo.

3.3 Propiedades ópticas y mecánicas

3.3.1 PROPIEDADES ÓPTICAS

En la Figura 2, se puede observar el valor de la luminosidad (L^*) tanto externa (corteza) como interna (miga) así como las diferencias de color de las magdalenas estudiadas respecto a las magdalenas control (sin moringa).

Como se aprecia, la incorporación de polvo de moringa disminuyó significativamente la luminosidad conforme aumentó su concentración en la magdalena, oscureciéndola. Este hecho es consecuencia de que el polvo de moringa tiene color verde, por lo que, al aumentar su cantidad en una base blanquecina (masa de magdalena) se obtiene una tonalidad más oscura. Este resultado coincide con el estudio realizado por (Páramo-Calderón et al., 2019) en tortillas de maíz. Respecto a las diferencias de color, comentar que los valores para la magdalena control fueron inferiores a dos unidades, mientras que esta diferencia aumentó significativamente conforme se incorporaba polvo de moringa en la formulación especialmente en la parte externa.

La ubicación en el plano cromático de los valores a^* y b^* se muestran en la Figura 3. Como se puede observar los valores de a^* y b^* , tanto externos como internos, presentaron una disminución significativa conforme aumentó el porcentaje de moringa. Este resultado, como era de esperar, pone de manifiesto que el color verdoso del polvo de moringa cambia de forma evidente el color de la masa y del producto final. Como se mencionó con anterioridad, además, las magdalenas se oscurecen al incrementar el porcentaje de moringa. El cambio de color en las magdalenas está relacionado con el alto contenido de pigmentos que tiene la *Moringa Olifeira*, entre ellos carotenoides (luteína, alfa caroteno, β -caroteno y xantina) y mayoritariamente clorofila (Abdalla, 2013). El hecho de que en la corteza se registren mayores disminuciones de b^* que, en el interior, también estaría relacionado con las reacciones de Maillard y la caramelización de los azúcares que se dan durante el horneado. No obstante, las tonalidades de la corteza se mantuvieron en la gama de los verdes, probablemente porque los productos de las reacciones de Maillard mejoran la estabilidad de los pigmentos evitando que se degrade la clorofila por la temperatura (Kumar et al., 2013).

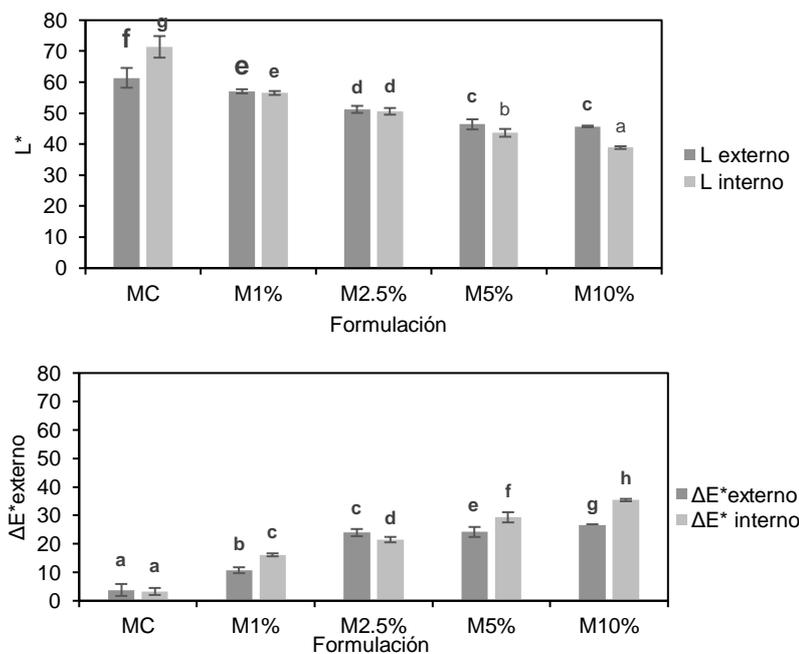


FIGURA 2. Luminosidad (L^*) del exterior e interior y diferencias de color, de las diferentes formulaciones de magdalenas horneadas con polvo de hoja de moringa.

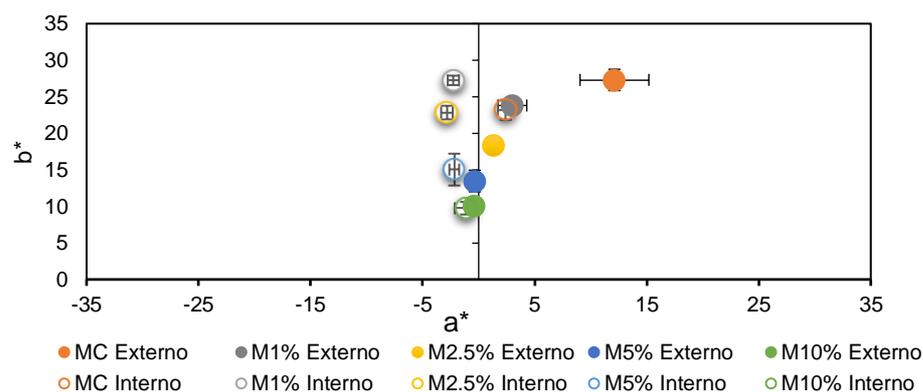


FIGURA 3. Plano crómico (a^* - b^*) del exterior e interior, de las diferentes formulaciones de magdalenas estudiadas.

3.3.2 PROPIDADES MECÁNICAS

De acuerdo a los valores que se muestran en la Tabla 4, la dureza de las magdalenas presentó diferencias significativas, siendo la magdalena con 1% de moringa la más blanda. A medida que se aumentó el porcentaje de polvo, aumentó la dureza hasta que la magdalena del 10% alcanzó valores similares a la muestra control. Este hecho podría estar relacionado con el desarrollo de la estructura del producto que parece expandirse más a concentraciones bajas de moringa (1-5%) que la muestra control, dando lugar magdalenas más altas, como se ha comentado en el apartado anterior, y más blandas. Sin embargo, un aumento superior al 5% provoca que la estructura se compacte, limitando la retención de gas y por tanto con menor altura tras el horneado y mayor dureza. Otros trabajos demuestran que un aumento en las proteínas logra un aumento en la firmeza de los productos (Gómez et al., 2008). En este trabajo, este hecho se produce cuando el porcentaje de moringa en la magdalena es del 10%. Un comportamiento similar se observa en el caso de la gomosidad.

Por otra parte, la cohesividad de las magdalenas disminuyó significativamente a concentraciones altas de moringa (5 y 10%) aumentando, por tanto, la facilidad de desintegración de la muestra. Por último, todas las muestras presentaron la misma elasticidad.

TABLA 4. Valores de dureza, adhesividad, cohesividad, gomosidad y elasticidad, para las distintas formulaciones con polvo de hojas de moringa.

Formulación	Dureza (N)	Cohesividad	Gomosidad (N)	Elasticidad
MC	15 ± 2 ^c	0.64 ± 0.04 ^{ab}	9.3 ± 1.2 ^b	0.83 ± 0.01 ^a
M1%	6.2 ± 0.9 ^a	0.711 ± 0.014 ^b	4.4 ± 0.6 ^a	0.85 ± 0.02 ^a
M2,5%	8.73 ± 0.19 ^b	0.65 ± 0.15 ^{a^b}	5.7 ± 1.4 ^a	0.83 ± 0.05 ^a
M5%	9.1 ± 0.5 ^b	0.57 ± 0.02 ^a	4.6 ± 0.9 ^a	0.82 ± 0.04 ^a
M10%	16.01 ± 1.09 ^c	0.56 ± 0.09 ^a	8 ± 2 ^b	1.0 ± 0.4 ^a

3.4 Análisis de imagen. Porcentaje de alveolos

En la Figura 4, se puede observar el aspecto externo e interno de las magdalenas control (MC) y las magdalenas formuladas con polvo de moringa (M) con diferentes porcentajes (1, 2.5, 5 y 10%). Como se ha mencionado con anterioridad, las magdalenas con moringa presentaron una coloración verdosa, pero además con una diferencia de altura considerable respecto al control. En este apartado, se pretende, además, registrar el cambio en el aspecto general de este producto cuando se incorpora moringa en su formulación. Así, como puede apreciarse en la imagen el copete de la magdalena se fue disipando conforme se aumentó el porcentaje del polvo de moringa y, además, la superficie de la magdalena presentó un alto nivel de agrietamientos. Por otra parte, la morfología superficial del producto fue variando de acuerdo al porcentaje de sustitución, siendo más ovaladas las magdalenas MC, M1% y M2.5% y más cuadradas las M5% y M10%.

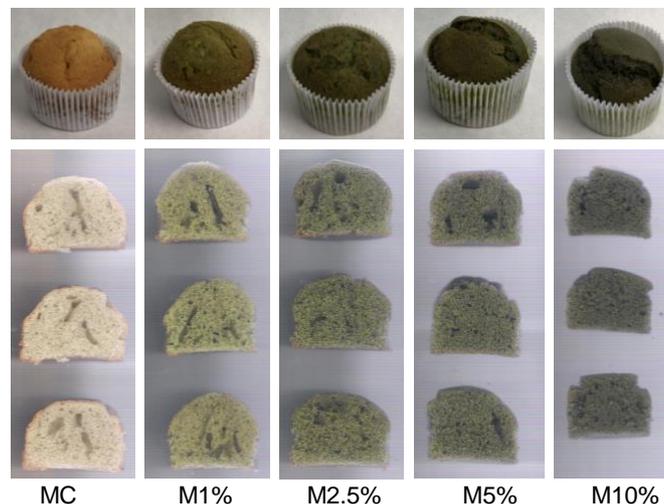


FIGURA 4. Análisis de imagen realizado a las magdalenas con distintos porcentajes de moringa.

Respecto a la morfología estructural de la parte interna de las magdalenas estudiadas, se registró el área transversal del producto (Tabla 5) así como el número de alveolos y su correspondiente área (Figura 5). Como puede verse, el área transversal fue similar en todos los casos. Sin embargo, cuando el nivel del reemplazo de harina trigo por polvo de moringa fue del 10% el número de alveolos de tamaño pequeño ($0-0.1 \text{ cm}^2$) disminuyó sustancialmente, aunque se mantuvo en valores similares para los otros dos rangos de tamaño ($0.1-0.5$ y $0.5-1 \text{ cm}^2$). En consecuencia, la incorporación de moringa compactaría la magdalena por la falta de retención de aire en su estructura, como puede verse en los cortes transversales de la Figura 4. Los alveolos pequeños ($0-0.1 \text{ cm}^2$), representan una parte del gas retenido dentro de las magdalenas. Así, Alvarez et al. (2016), reportan que la estructura de una magdalena debe de ser porosa-alveolar y de gran volumen y para ello, se requiere de una matriz semisólida con burbujas de aire pequeñas.

En el caso de la M10%, la cantidad de alveolos es muy baja, posiblemente por la mayor cantidad de proteínas que aporta la moringa y que dan lugar a una magdalena compacta y firme. Además, el número de alveolos está relacionado con las propiedades mecánicas obtenidas comentadas anteriormente, donde se evidenciaba que las magdalenas con mayor cantidad de alveolos y pequeños fueron más blandas. Estos resultados concuerdan con el estudio de Shevkani y Singh (2014), donde se indica que una magdalena es más densa cuando tiene un menor número de burbujas de gas en su estructura.

TABLA 5. Área transversal de las magdalenas en función de la concentración de polvo de moringa.

Formulación	Área magdalenas (cm ²)
MC	23.21 ± 1.17 ^{ab}
M1%	24.9 ± 0.8 ^{ab}
M2.5%	23.2 ± 1.5 ^{ab}
M5%	22.77 ± 1.10 ^b
M10%	21.3 ± 1.5 ^a

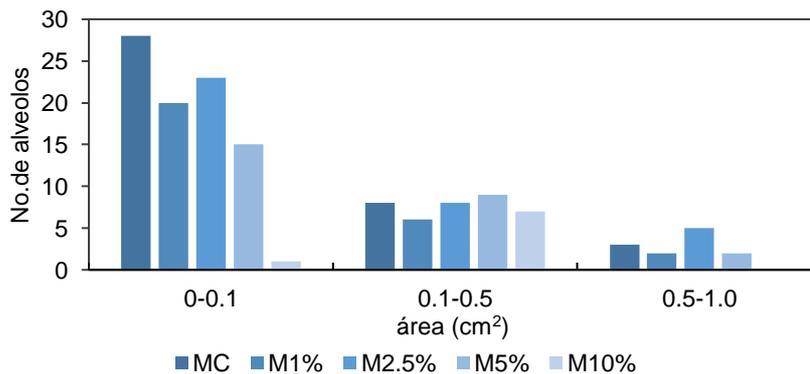


FIGURA 5. Distribución de alveolos en las magdalenas estudiadas según su tamaño.

3.5 Análisis sensorial

Con el fin de presentar un número reducido de muestras al panel de catadores, se consideró como criterios de selección de las mismas, el contenido de proteínas, la capacidad antioxidante de las magdalenas y las propiedades mecánicas/ópticas. De esta forma, se descartaron las magdalenas con un 10% de polvo de moringa, por el detrimento en sus propiedades mecánicas y de aspecto y la magdalena control, sobre todo por la gran diferencia de color. Los resultados obtenidos de la evaluación en una escala hedónica de los atributos: aspecto, color externo e interno, aroma, esponjosidad al abrir, tacto, textura, esponjosidad en boca, sabor y retrogusto se presentan en la Figura 6. Como se puede observar la M1% que contenía menor porcentaje de moringa, obtuvo las mejores valoraciones en todos los

atributos, siendo la menos valorada la M5% que contenía más moringa. Además, se encontraron diferencias significativas sólo en el aspecto, color externo, aroma, sabor y retrogusto. El color, tanto interno como externo, y el aspecto disminuyeron su puntuación conforme se incrementaba el porcentaje de moringa. Esto concuerda con la intensidad de colores verdes registrada en el plano cromático y la disminución de la altura de acuerdo al porcentaje moringa adicionado comentados previamente. Para el sabor y el retrogusto tanto la M2.5% y la M5% no se observaron diferencias significativas.

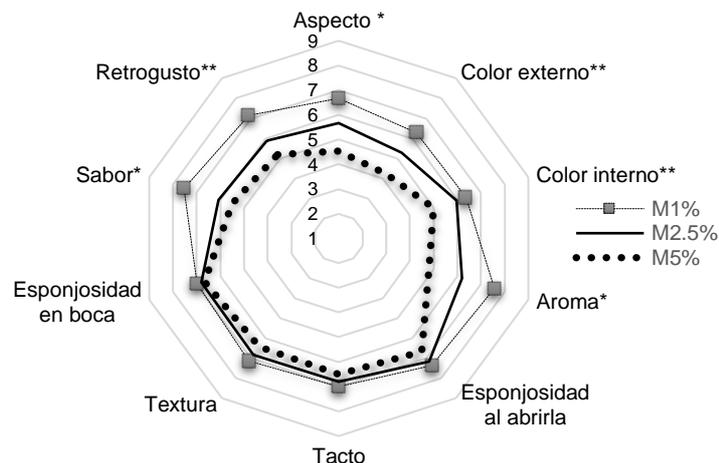


FIGURA 6. Evaluación en escala hedónica de las magdalenas formuladas con polvo de moringa.

La percepción del consumidor respecto a los atributos que se deben de mejorar se presenta en la Figura 7 de acuerdo a la escala Just About Right, en la que los catadores indican si querrían que aumentara, disminuyera o se quedara tal cual está la intensidad de los atributos estudiados. De esta manera, el color, lo consideraron demasiado oscuro para las magdalenas con un 2.5 y 5 % de polvo de moringa, de forma más acusada cuanto mayor era el contenido de moringa, especialmente en la parte externa de la magdalena. Esto es coherente con los resultados obtenidos analíticamente, donde se pudo registrar una elevada intensidad de color verdoso de las muestras enriquecidas con moringa por su perfil de pigmentos. Por otra parte, la dureza se percibió adecuada para los tres casos en concordancia con los resultados obtenidos analíticamente. Como consecuencia, la intención de compra fue superior en las magdalenas que sólo tenían un 1% de polvo de moringa que cuando las concentraciones empleadas fueron superiores.

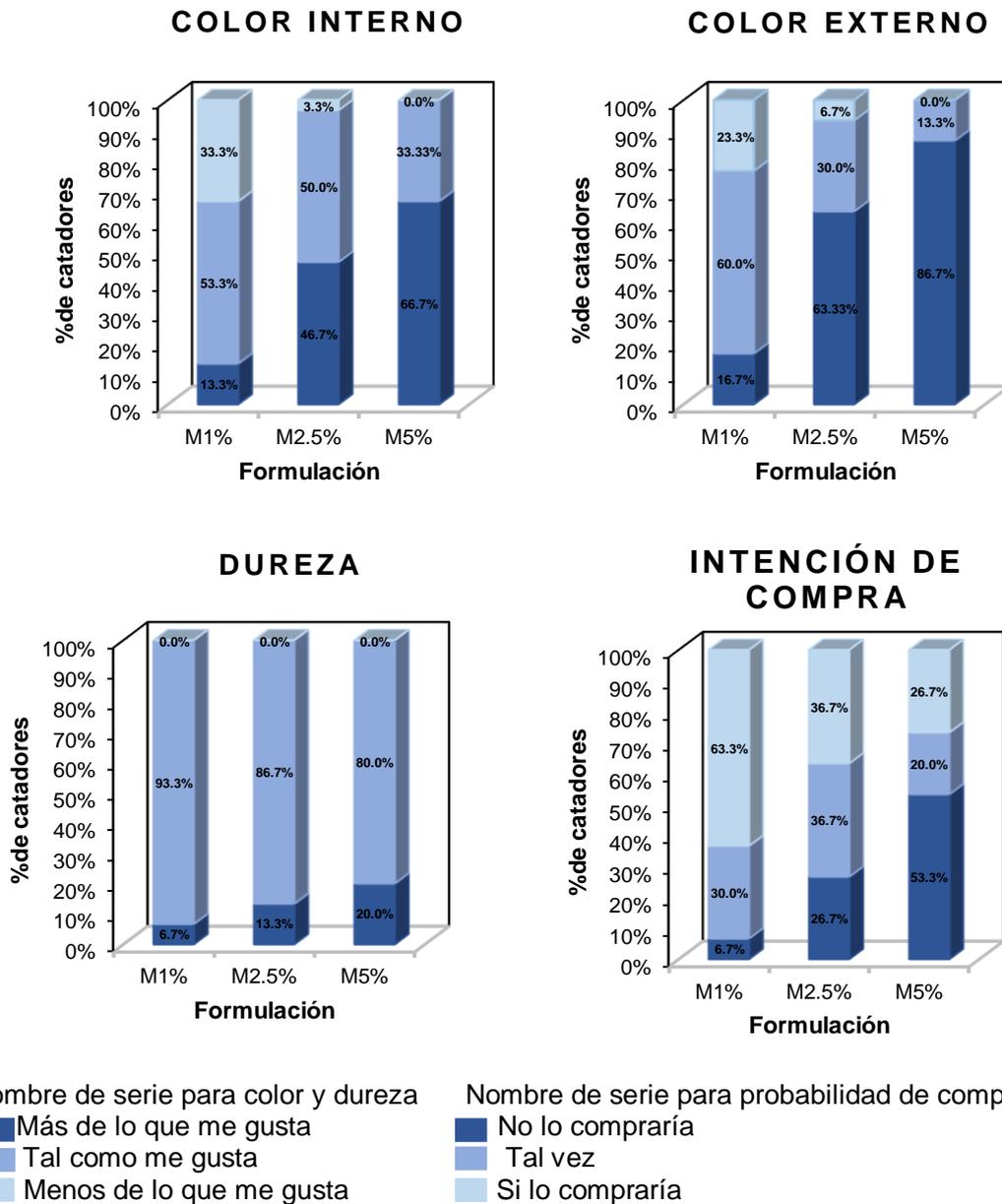


FIGURA 7. Porcentaje de catadores que seleccionaron los diferentes niveles en la escala JAR (Just-About-Right) para cada atributo en función del contenido en moringa de las magdalenas.

Aunque resulta evidente que hay que buscar estrategias de mejora del aspecto de este producto, para corroborar que realmente este parámetro es el que más condiciona la aceptación del producto se preparó un gráfico de penalizaciones (Segovia et al., 2018) que se presenta en la Figura 8. De acuerdo a los resultados sólo sería necesario optimizar el color externo de la magdalena con el mayor porcentaje de moringa (M5%), ya que más del 20% de los catadores le atribuyeron una penalización superior al 1.

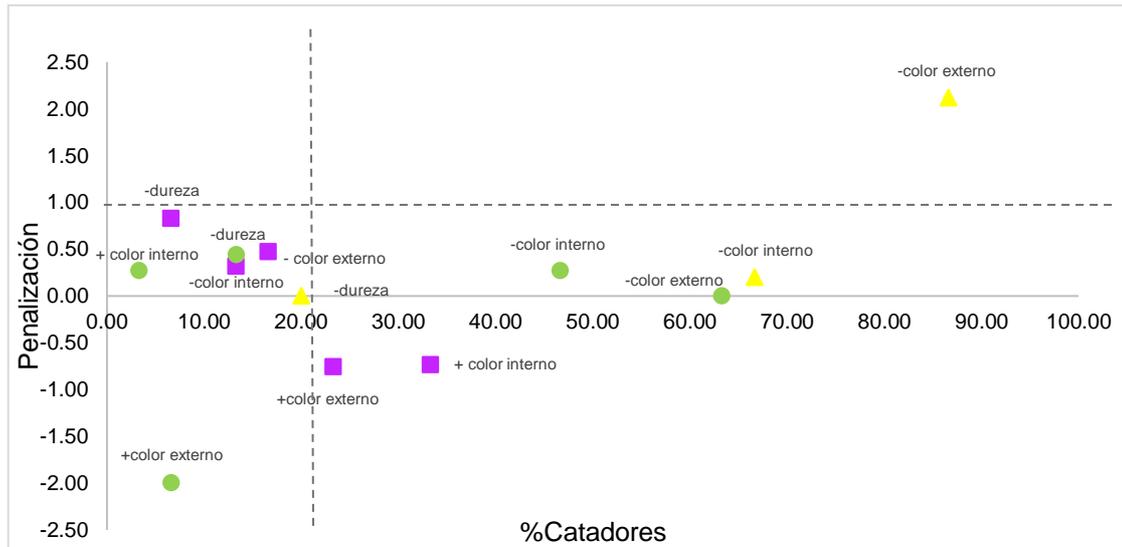


FIGURA 8. Penalizaciones de las magdalenas formuladas con distintas proporciones de polvo de moringa (cuadrado fucsia: M1%, círculo verde: M2.5%, triángulo amarillo: M5%). El símbolo – indica que querrían que tuviera menos intensidad del atributo. El símbolo + indica que querrían que tuvieran más intensidad del atributo.

4. CONCLUSIONES

El reemplazo de harina de trigo por polvo de moringa en magdalenas representa una mejora nutricional en las mismas, pero de acuerdo al grado de sustitución repercute en su humedad, altura, nivel de alveolos, propiedades mecánicas y ópticas. En base a este estudio, sería limitante una concentración de polvo de hoja de moringa del 10% por aumentar la compactación del producto y aportar coloración verdosa. Sensorialmente, se corroboró que el mayor oscurecimiento de la magdalena con moringa fue el factor determinante en la intención de compra. Por ello, sería necesario realizar otros estudios donde se enmascare el color de la moringa en magdalenas, así como plantearse la incorporación de este componente en otras matrices alimentarias para mejorar su perfil nutricional y realzar el valor de la moringa.

5. REFERENCIAS

- Abbas, R. K., Elsharbasy, F. S., & Fadlemula, A. A. (2018). Nutritional Values of Moringa oleifera, Total Protein, Amino Acid, Vitamins, Minerals, Carbohydrates, Total Fat and Crude Fiber, under the Semi-Arid Conditions of Sudan. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*, 10, 56-58.
- Abdalla, M. (2013). The potential of Moringa oleifera extract as a biostimulant in enhancing the growth, biochemical and hormonal contents in rocket (*Eruca vesicaria* subsp. *sativa*) plants. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 5 (3), 42-49.
- Abdull, R., Ahmad, F., Ibrahim, M. D., & Kntayya, S. B. (2014). Health benefits of Moringa oleifera. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 15(20), 8571-8576.
- Alvarez, M. D., Herranz, B., Fuentes, R., Cuesta, F.J., & Canet, W. (2016). Replacement of Wheat Flour by Chickpea Flour in Muffin Batter: Effect on Rheological Properties. *Journal of Food Processing Engineering*, 40(2), e12372.
- Andersson, M. (2016). Protein enriched foods and healthy ageing: Effects of almond flour, soy flour and whey protein fortification on muffin characteristics. *SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut*, 4-21.
- ANIBES. (2013). Distribución de macronutrientes y fuentes alimentarias en la población española: resultados obtenidos del estudio científico ANIBES. Fundación Española de la nutrición, 7.
- AOAC. (2000). Official Methods of Analysis, The Association of official Analytical Chemists. Gaithersburg, MD, USA.
- Aryee, A., & Boye, J. (2017). Comparative study of the effects of processing on the nutritional, physicochemical and functional properties of lentil. *Journal of food processing and preservation*, 41(1), 12824.
- Aryee, A.N.A., Agyei, D., & Udenigwe, C.C. (2018). Impact of processing on the chemistry and functionality of food proteins. In *Proteins in Food Processing* (pp. 27-45). Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition.
- Bourekoua, H., Rózyło, R., Gawlik-Dziki, U., Benatallah, L., Nasreddine Zidoune, M., & Dziki, D. (2017). Evaluation of physical, sensorial, and antioxidant properties of gluten-free bread enriched with Moringa Oleifera leaf powder. *European Food Research and Technology*, 244(2), 189-195.
- Brand -Williams, W., Cuvelier, M., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 25-30.
- El-Gammal, R. E., Ghoneim, G. A., & ElShehawy, S. M. (2016). Effect of Moringa Leaves Powder (*Moringa oleifera*) on Some Chemical and Physical Properties of Pan Bread. *Journal of Food and Dairy Science, Mansoura University*, 7(7), 307-314.
- Gómez, M., Oliete, B., Rosell, C., Pando, V., & Fernández, E. (2008). Studies on cake quality made of wheat–chickpea flour blends. *LWT-Food Science and Technology*, 41(9), 1701-1709.
- ISO 4121, S. A. (2003). Guidelines for the use of quantitative responses scales. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
- Kumar, R., Nadanasabapathi, S., & Rajamanickam, R. (2013). Effect of Maillard Reaction Products (MRP) on Chlorophyll Stability in Green Peas. *Food and Nutrition Science*, 4(09), 879-873.
- Kyung Im, J. (2016). Quality Characteristics of Muffins Added with Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) Leaf Powder. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 872-879.
- Mbah, B., Eme, P., & Paul, A. (2012). Effect of Drying Techniques on the Proximate and Other Nutrient Composition of Moringa oleifera Leaves from Two Areas in Eastern Nigeria. *Pakistan Journal of Nutrition*, 11(11), 1044.
- Moyo, B., Masika, P., Hugo, A., & Muchenje, V. (2011). Nutritional characterization of Moringa (*Moringa oleifera* Lam.) leaves. *African Journal of Biotechnology*, 10(60), 12925-12933.
- Mrabet, A., Guitierrez, G. R., Arcos, R. R., Bejarano, R. G., Ferchichi, A., Sindic, M., & Araujo, A. J. (2015). Quality Characteristics and antioxidant properties of muffins enriched with date fruit (*Phoenix dactylifera* L.) fiber concentrates. *Journal of Food Quality*, 39(4), 237-244.

- Mune Mune, M. A., Bakwo Bssogog, C. B., Nyobe, E. C., & René Minka, S. R. (2016). Physicochemical and functional properties of Moringa Oleifera seed and leaf flour. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1), 12203552.
- OMS., S. D. (2003). Dieta, nutrición y prevención de enfermedades crónicas. OMS (Organización Mundial de la Salud).
- Oyeyinka, A., & Oyeyinka, S. (2018). Moringa oleifera as a food fortificant: Recent trends and prospects. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17(2), 127-136.
- Pakade, V., Cukrowska, E., & Chimuka, L. (2013). Comparison of antioxidant activity of Moringa oleifera and selected vegetables in South Africa. *South African Journal of Science*, 109(3-4), 01-05.
- Páramo-Calderón, D. E., Aparicio-Saguilán, A., Aguirre-Cruz, A., Carrillo-Ahumada, J., Hernández-Urbe, J. P., Acevedo-Tello, S., & Torruco-Uco, J. G. (2019). Tortilla added with Moringa oleifera flour: Physicochemical, texture properties and antioxidant capacity. *LWT - Food Science and Technology*, 100, 409-415.
- Quintanilla-Medina, J., Garay-Martínez, J., Alvarado-Ramírez, E., Hernández-Meléndez, J., Mendoza-Pedroza, S., Rojas-García, A., & Hernández-Garay, A. (2018). Tiempo y temperatura sobre la pérdida de humedad y contenido de proteína en hojas de Moringa Oleifera LAM. *Agroproductividad*, 11(5), 88-92.
- 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), 145-149.
- Reddy, V., Urooj, A., & Kumar, A. (2005). Evaluation of antioxidant activity of some plant extracts and their application in biscuits. *Food Chemistry*, 90(1-2), 317-321.
- Rubio-Arreaez, S., Ferrer, C., Capella, J., Ortolá, M., & Castelló, M. (2017). Development of Lemon Marmalade Formulated with New Sweeteners (Isomaltulose and Tagatose): Effect on Antioxidant, Rheological and Optical Properties. *Journal of food processing engineering*, 40 (2), 12371.
- Sandoval, E. R., Lascano, A., & Sandoval, G. (2012). Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinoa y papa en las propiedades termométricas y de panificación de masas. *Rev. U.D.C.A Act & Div. Cient.* 15(1), 199-207.
- Segovia, I. F., Martínez, E. G., & López, A. F. (2018). Aplicación de escalas de punto ideal o Just-About-Right(JAR) en análisis sensorial de alimentos. Universidad Politécnica de Valencia.
- Shevkani, K., & Singh, N. (2014). Influence of kidney bean, field pea and amaranth protein isolates on the characteristics of starch-based gluten-free muffins. *International Journal of Food Science and Technology*, 49(10), 2237-2244.
- Srinivasamurthy, S., Yadav, U., Sahay, S., & Singh, A. (2017). Development of muffin by incorporation of dried Moringa oleifera (Drumstick) leaf powder with enhanced micronutrient content. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 2(4), 173-178.
- Sun-Young, K., & Chang-Ho, C. (2017). Quality Characteristics of Noodles added with Moringa oleifera Leaf Powder. *Journal of The East Asian Society of Dietary life*, 321-331.
- Torres, L. G., Valencia, A. T., Sampedro, J. G., & Nájera, H. (2007). Las proteínas en la nutrición. *Revista Salud Pública y Nutrición*, 8 (2).
- Turkemen, N., Sari, F., & Veliouglu, Y. S. (2004). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chemistry*, 93(4), 713-718.
- Varela, G., Valderrama, C. F., & Roso, B. R. (1993). Bollería, ingesta grasa y niveles de colesterol en sangre. Madrid: Fundación Española de la nutrición.
- Vidal, N. (2018). Alimentación saludable, la gran tendencia de consumo actual. 7 claves orientativas. Instituto Tecnológico Agroalimentario.
- Young Ju, C., & Kyung Im, J. (2016). Anti-Diabetic, Alcohol-Metabolizing, and Hepatoprotective Activities of Moringa (Moringa oleifera Lam.) Leaf Extracts. *Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition*, 819-827.