



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica  
y del Medio Natural

Caracterización del comportamiento de los aceites de  
moringa y oliva tras varios ciclos de fritura de patatas

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Agronómica

AUTOR/A: Sesé Guillén, Tomás

Tutor/a: Castelló Gómez, María Luisa

Cotutor/a: Ortolá Ortolá, M<sup>a</sup> Dolores

Director/a Experimental: Cervera Chiner, Lourdes

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

## Resumen

La *Moringa oleifera* es una planta originaria del sur de Asia que se adapta perfectamente a climas cálidos y, por ello, se ha extendido su cultivo por África y América del Sur. Se trata de una planta muy versátil, donde cada una de sus partes tiene utilidad ya sea para el consumo humano o animal, medicinal o cosmético. Las semillas de esta planta son de gran interés industrial, de las que se puede obtener aceite. Dada la situación geopolítica y climática actual, varios de los productos de consumo habitual como el aceite de oliva han sufrido un incremento de sus precios, lo que hace que sea más difícil su acceso para la población. Así, el objetivo de este trabajo ha sido estudiar la viabilidad del consumo del aceite de moringa y compararlo con el de aceite de oliva. Para ello, se ha estudiado sus cinéticas de calentamiento, analizando también los parámetros de calidad (acidez, índice de peróxidos, índice de saponificación e índice de yodo), su capacidad antioxidante y contenido en fenoles totales, así como su comportamiento durante distintos ciclos de fritura de patatas. Concretamente, las patatas fritas han sido caracterizadas en términos de variación de masa, humedad, actividad de agua, propiedades ópticas y mecánicas, así como su aceptación sensorial. Los resultados ponen de manifiesto que ambos aceites presentan parámetros de calidad dentro de los rangos permitidos para su consumo, siendo la acidez mucho mayor en el aceite de moringa. Asimismo, el índice de peróxidos aumentó con los ciclos de fritura en ambos casos evidenciando el deterioro progresivo del aceite, aunque dentro de los límites establecidos por la legislación. A pesar de que el aceite de moringa mostró una actividad antioxidante mucho más baja que la de oliva, su color durante los ciclos de fritura fue más estable y las patatas fritas con moringa perdieron menos peso durante la fritura sin registrarse diferencias de color ni de textura entre ellas. Por último, a nivel sensorial, los jueces evaluaron todas las muestras por encima de 5 puntos, penalizando que los atributos de las patatas fritas con aceite de moringa de primer ciclo fueran demasiado bajos.

**Palabras clave:** moringa, semillas, aceite, fritura, patata, ciclos.

Autor: Tomás Sesé Guillén

Valencia, junio 2024

Tutoras: M<sup>a</sup> Luisa Castelló Gómez

M<sup>a</sup> Dolores Ortolá Ortolá

Lourdes Cervera Chiner

## Resum

La Moringa *oleifera* és una planta originària del sud d'Àsia que s'adapta perfectament a climes càlids i, per això, s'ha estès el seu cultiu per Àfrica i Amèrica del Sud. Es tracta d'una planta molt versàtil, on cadascuna de les seues parts té utilitat ja siga per al consum humà o animal, medicinal o cosmètic. Les llavors d'aquesta planta són de gran interès industrial, de les quals es pot obtindre oli. Donada la situació geopolítica i climàtica actual, diversos productes de consum habitual com l'oli d'oliva han patit un increment dels seus preus, la qual cosa fa que siga més difícil el seu accés per a la població. Així, l'objectiu d'aquest treball ha sigut estudiar la viabilitat del consum de l'oli de moringa i comparar-lo amb el d'oli d'oliva. Per a això, s'ha estudiat les seues cinètiques de calfament, analitzant també els paràmetres de qualitat (acidesa, índex de peròxids, índex de saponificació i índex de iode), la seua capacitat antioxidant i contingut en fenols totals, així com el seu comportament durant diferents cicles de fritura de creïlles. Concretament, les creïlles fregides han sigut caracteritzades en termes de variació de massa, humitat, activitat d'aigua, propietats òptiques i mecàniques, així com la seua acceptació sensorial. Els resultats posen de manifest que tots dos olis presenten paràmetres de qualitat dins dels rangs permesos per al seu consum, sent l'acidesa molt major en l'oli de moringa. Així mateix, l'índex de peròxids va augmentar amb els cicles de fritura en tots dos casos, evidenciant el deterioro progressiu de l'oli, encara que dins dels límits establits per la legislació. Malgrat que l'oli de moringa va mostrar una activitat antioxidant molt més baixa que el d'oliva, el seu color durant els cicles de fritura va ser més estable i les creïlles fregides amb moringa van perdre menys pes durant la fritura sense registrar-se diferències de color ni de textura entre elles. Finalment, a nivell sensorial, els jutges van avaluar totes les mostres per damunt de 5 punts, penalitzant que els atributs de les creïlles fregides amb oli de moringa de primer cicle foren massa baixos.

**Paraules clau:** moringa, llavors, oli, fritura, creïlles, cicles.

Autor: Tomás Sesé Guillén

Valencia, junio 2024

Tutoras: M<sup>a</sup> Luisa Castelló Gómez

M<sup>a</sup> Dolores Ortolá Ortolá

Lourdes Cervera Chiner

## **Abstract**

*Moringa oleifera* is a plant native to South Asia that is perfectly adapted to warm climates and has therefore been cultivated throughout Africa and South America. It is a very versatile plant, where each of its parts is useful for human or animal consumption, medicinal or cosmetic purposes. The seeds of this plant are of great industrial interest, from which oil can be obtained. Given the current geopolitical and climatic situation, several of the commonly consumed products such as olive oil have suffered an increase in price, which makes it more difficult for the population to access them. Therefore, the aim of this work was to study the viability of moringa oil consumption and to compare it with olive oil. To do so, we have studied its heating kinetics, analysing also the quality parameters (acidity, peroxide index, saponification index and iodine index), its antioxidant capacity and total phenol content, as well as its behaviour during different potato frying cycles. Specifically, the fried potatoes have been characterised in terms of mass variation, moisture, water activity, optical and mechanical properties, as well as their sensory acceptability. The results show that both oils have quality parameters within the permitted range for consumption, with the moringa oil having a much higher acidity. Likewise, the peroxide index increased with frying cycles in both cases, showing the progressive deterioration of the oil, although within the limits established by legislation. Although moringa oil showed a much lower antioxidant activity than olive oil, its colour during the frying cycles was more stable and the moringa fries lost less weight during frying, with no differences in colour or texture between them. Finally, at the sensory level, the judges evaluated all samples above 5 points, penalising the attributes of the first-cycle moringa oil fries for being too low.

**Keywords:** moringa, seeds, oil, frying, potato, cycles.

Autor: Tomás Sesé Guillén

Valencia, junio 2024

Tutoras: M<sup>a</sup> Luisa Castelló Gómez

M<sup>a</sup> Dolores Ortolá Ortolá

Lourdes Cervera Chiner

# Índice

1.	Introducción.....	8
1.1.	<i>Moringa oleifera</i> y sus partes.....	8
1.2.	Cambio climático y sus consecuencias sobre el cultivo de <i>Moringa oleifera</i> .....	8
1.3.	Aumento de precios de los aceites y sus motivos .....	9
1.4.	Fritura como método de cocción .....	9
1.5.	Patata .....	10
2.	Objetivos.....	11
3.	Materiales y métodos.....	12
3.1.	Materias primas .....	12
3.2.	Fritura de las patatas .....	12
3.3.	Determinaciones analíticas .....	12
3.3.1.	Variación de masa .....	12
3.3.2.	Humedad .....	12
3.3.3.	Actividad del agua .....	12
3.3.4.	Propiedades ópticas .....	12
3.3.5.	Propiedades mecánicas.....	13
3.3.6.	Acidez .....	13
3.3.7.	Capacidad antioxidante .....	13
3.3.8.	Fenoles totales .....	14
3.3.9.	Índice de yodo .....	14
3.3.10.	Índice de saponificación .....	14
3.3.11.	Índice de Peróxidos.....	15
3.3.12.	Análisis sensorial.....	15
3.4.	Análisis estadístico.....	15
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	16
4.1.	Características de los aceites .....	16
4.1.1.	Cinética de calentamiento .....	16
4.1.2.	Calidad del aceite.....	16
4.1.3.	Propiedades ópticas .....	18
4.2.	Características de la patata .....	21
4.2.1.	Propiedades fisicoquímicas .....	21
4.2.2.	Propiedades ópticas .....	22
4.2.3.	Propiedades mecánicas.....	24
4.3.	Sensorial .....	24
5.	Conclusiones .....	29

6. Referencias .....	30
7. Anexos .....	33
Anexo I. al Trabajo de Fin de Master en Agronomía.....	33
Anexo II. Cuestionario para el análisis sensorial con la Plataforma SensesBit.....	35

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Árbol de moringa (A) y sus partes (hojas (B), vaina (C), flor (D) y semillas (E)) (iNaturalistEc, 2024; Mashamaite et al., 2024; Pratiksha & R, 2024; Spandana et al., 2016) .....	8
<b>Figura 2.</b> Evolución de las temperaturas a lo largo de los años (Lindsey et al., 2024). .....	9
<b>Figura 3.</b> Cinéticas de calentamiento de los aceites de oliva (A) y moringa (B). .....	16
<b>Figura 4.</b> Aspecto de los aceites de oliva y moringa frescos y de sus respectivos ciclos de fritura. ....	19
<b>Figura 5.</b> Variación de las coordenadas a* y b* de los aceites en función del ciclo de fritura. Letras iguales indican grupos homogéneos del ANOVA con un nivel de significancia del 95%, siendo las minúsculas para la coordenada a* y las mayúsculas para la coordenada b*. ....	20
<b>Figura 6.</b> Luminosidad (L*) (A) y diferencia de color ( $\Delta E$ ) (B) de los aceites en función del ciclo de fritura. Letras iguales indican grupos homogéneos del ANOVA con un nivel de significancia del 95%. ....	20
<b>Figura 7.</b> Variación de masa de la patata utilizando aceites de oliva o moringa procedentes de diferentes ciclos de fritura. Letras iguales indican grupos homogéneos del ANOVA con un nivel de significancia del 95%. ....	21
<b>Figura 8.</b> Variación de humedad y actividad del agua en la patata cruda y frita en función de aceite y del ciclo de fritura. Letras iguales indican grupos homogéneos del ANOVA con un nivel de significancia del 95%. ....	22
<b>Figura 9.</b> Aspecto de las patatas fritas con aceite de oliva y moringa de cada ciclo de fritura. ....	22
<b>Figura 10.</b> Variación de las coordenadas a* y b* de las patatas en función del ciclo de fritura. Letras iguales indican grupos homogéneos del ANOVA con un nivel de significancia del 95%, siendo las minúsculas para la coordenada a* y las mayúsculas para la coordenada b*. ....	23
<b>Figura 11.</b> Luminosidad (L*) y diferencia de color ( $\Delta E$ ) de las patatas fritas en función del ciclo de fritura y el tipo de aceite. Letras iguales indican grupos homogéneos del ANOVA con un nivel de significancia del 95%. ....	23
<b>Figura 12.</b> Fuerza máxima (A) y Área hasta el punto de corte de la patata (B). Letras iguales indican grupos homogéneos del ANOVA con un nivel de significancia del 95%. ..	24
<b>Figura 13.</b> Resultados del análisis sensorial con la escala hedónica de las patatas fritas con aceite de oliva y moringa. Según los datos obtenidos del análisis ANOVA **Nivel de significancia del 95%. ....	25
<b>Figura 14.</b> Probabilidad de compra de las patatas fritas con los aceites estudiados.....	25
<b>Figura 15.</b> Resultados del análisis sensorial con la escala JAR de las patatas fritas con aceite de oliva y moringa. ....	27
<b>Figura 16.</b> Gráfico de penalizaciones de las patatas fritas con aceite de oliva y moringa (Circulo: OC2, Cuadrado: MC1, Rombo: OC3 y Triangulo: MC3) en el análisis sensoria en función de los atributos analizados (T: Textura, C: Color, S: Sabor y A: Aroma). Color rojo indica que la intensidad del atributo es demasiado alta y color azul demasiado baja. ....	28

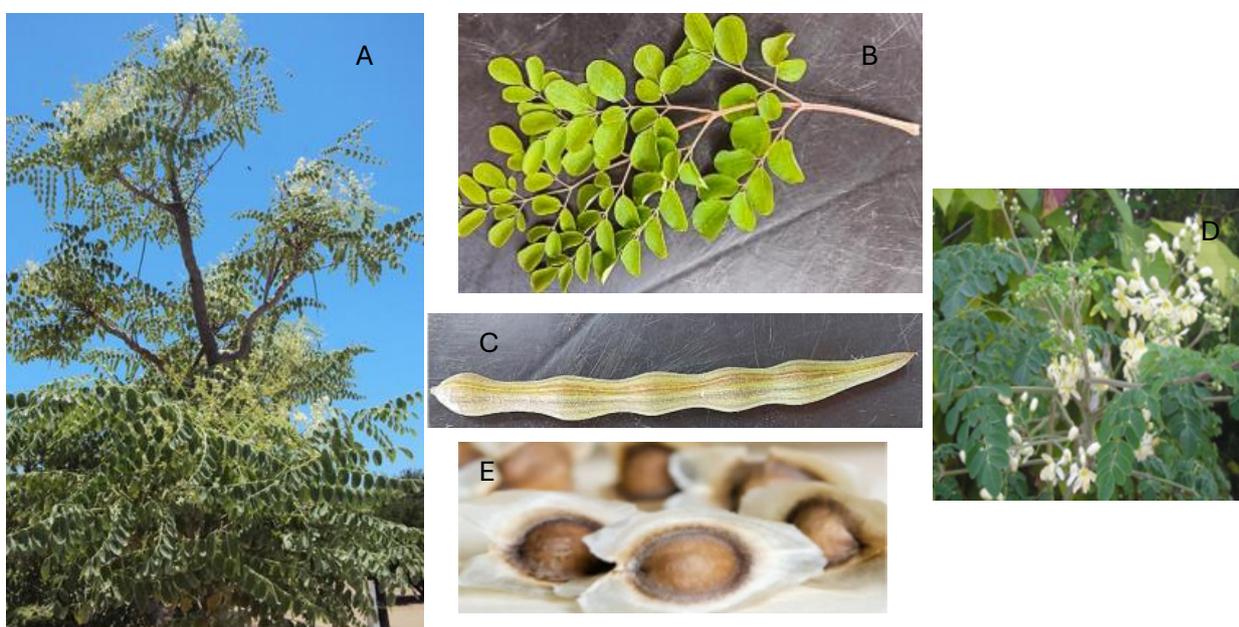
## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Índice de acidez, Índice de peróxidos, Índice de saponificación y Índice de yodo.....	17
<b>Tabla 2.</b> Capacidad antioxidante y contenido en fenoles totales.....	18

# 1. Introducción

## 1.1. *Moringa oleifera* y sus partes

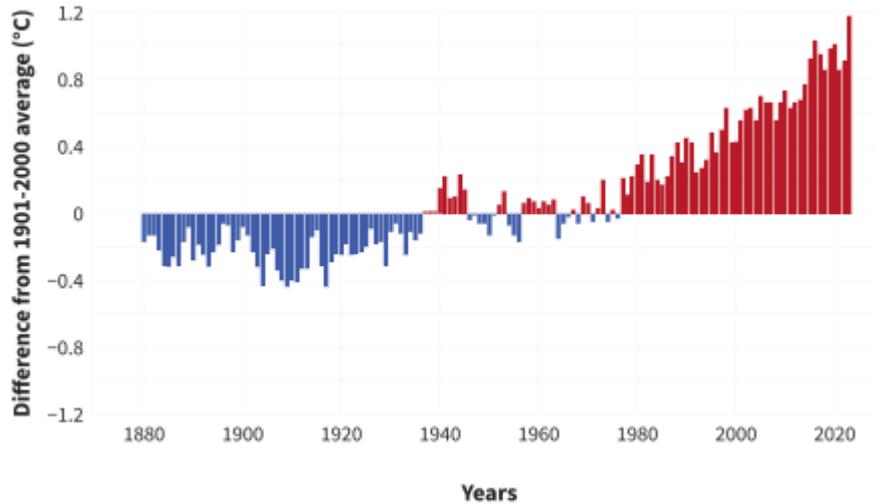
Esta planta pertenece a la familia *Moringaceae*, un grupo reducido de especies del orden *Brassicales*. Es originaria del sur de Asia, sobre todo de India, y se ha extendido por América del Sur y África, siendo utilizada desde hace mucho tiempo dada su polivalencia de todas las partes del árbol (Olson, 2002). Así, las hojas y las vainas son utilizadas tanto para alimentación humana como animal, gracias a sus grandes propiedades nutricionales (contenido en proteína, vitamina C, etc.) (Godino, 2016). Por otro lado, las flores y la corteza tienen propiedades medicinales, tanto en formato de infusiones como en ungüentos y cremas (Urquillas, 2017). Por último, las semillas, ricas en aceite con un alto contenido en ácido oleico (Saa et al., 2019) también pueden utilizarse para la depuración de agua (Aziz et al., 2023). En la Figura 1, se presentan distintas imágenes con el aspecto que tiene el árbol y sus distintas partes.



**Figura 1.** Árbol de moringa (A) y sus partes (hojas (B), vaina (C), flor (D) y semillas (E)) (iNaturalistEc, 2024; Mashamaite et al., 2024; Pratiksha & R, 2024; Spandana et al., 2016)

## 1.2. Cambio climático y sus consecuencias sobre el cultivo de *Moringa oleifera*

Hoy en día, las actividades humanas afectan rápidamente y de manera muy significativa al cambio climático. En consecuencia, el incremento de los gases de efecto invernadero ha supuesto una subida de la temperatura de 13.9 °C a lo largo del siglo XX y se estima que siga subiendo entre 1.5 y 2 °C durante este siglo XXI (Lindsey et al., 2024). En la Figura 2 se presenta la variación de temperatura mundial desde el año 1880, destacando el aumento progresivo desde la Tercera Revolución Industrial (1970) que se debe a la introducción de la informática y la tecnología digital en ámbitos de la producción. Por otra parte, el patrón de precipitaciones ha cambiado y se observa una mayor variabilidad, generando sequías en algunas zonas y precipitaciones extremas en otras que pueden ir asociados a los cambios en las estaciones climáticas que afectan a los ciclos agrícolas y ecosistemas naturales (AEMET, 2023; *Climate at a Glance*, 2023).



*Figura 2. Evolución de las temperaturas a lo largo de los años (Lindsey et al., 2024).*

En este sentido, la búsqueda de alternativas de producción de alimentos más sostenibles es una necesidad para reducir sus efectos negativos en el medio ambiente. Una posibilidad, sería potenciar la producción de moringa ya que es uno de los cultivos que requiere elevadas temperaturas para su desarrollo y pocos aportes hídricos. La cuenca mediterránea española es una región que reúne los requisitos para que la moringa pueda cultivarse (Godino, 2016).

### 1.3. Aumento de precios de los aceites y sus motivos

A los problemas mencionados anteriormente, se le suma la actualidad política en la que nos encontramos, múltiples guerras a lo largo de todo el planeta que están afectando al abastecimiento de determinados alimentos básicos para el ser humano. Entre ellos, está el aceite de girasol, cuya producción se ha visto seriamente afectada desde el inicio de la guerra entre Ucrania y Rusia desde el año 2022 y cuya escasez está haciendo que el aceite de oliva vea aumentado su precio, imposibilitando a la población acceder a estos recursos (Stepanov, 2022). Esta situación, hace que el cultivo de la moringa sea aún más interesante, ya que se sitúa como una alternativa viable al uso de los aceites que se ven afectados por la coyuntura actual.

### 1.4. Fritura como método de cocción

La fritura es uno de los procesos de cocción más utilizados en todo el mundo, ya que es capaz de otorgarles a los alimentos texturas y sabores únicos. Este proceso consiste generalmente en la aplicación de altas temperaturas sobre los alimentos durante periodos de tiempo reducidos (de 0.5 a 5 minutos), utilizando aceites o grasas como medio de calentamiento en el que se sumergen. Durante estos procesos, tanto la transferencia de calor como la variación de masa ocurren de forma simultáneamente, entrando el calor y el aceite en los alimentos, mientras a su vez disminuye la humedad. Además, la fritura es capaz de eliminar mayores cantidades de bacterias y microorganismos que el resto de los métodos de cocción, ya que se dan condiciones muy desfavorables para estas (altas temperaturas y alto contenido de grasa y bajo de agua), al mismo que tiempo que los alimentos una vez fritos tampoco favorecen al desarrollo de estos (Saguy & Dana, 2003). Sin embargo, desde el punto de vista

nutricional, es cierto que la fritura no es el mejor método de cocción ya que la absorción de aceite hace que el contenido calórico del alimento aumente considerablemente, además de que al someter a los alimentos a tan elevadas temperaturas puede provocar la degradación química de los componentes más termolábiles (Wang et al., 2021). A pesar de ello, dependiendo del tipo de aceite, su incorporación en la dieta puede aportar numerosos beneficios a nivel cardiovascular si en su perfil lipídico predominan los ácidos grasos insaturados como los omega 6 (principalmente linoleico), 3 (alfa-linolénico (ALA), eicosapentaenoico (EPA) y docosahexaenoico (DHA)) y 9 (oleico).

En los países desarrollados, el uso del aceite de moringa no está muy extendido. No obstante, en el sur de Asia y en África sí que se consume. A nivel científico, se han encontrado varios trabajos que estudian la respuesta del aceite de moringa en la fritura (Abdulkarim et al., 2007; Iranloye et al., 2021; Tsaknis & Lalas, 2002). No obstante, hay poca información sobre su aceptación sensorial en las matrices alimentarias y sobre su calidad y estabilidad.

La reutilización del aceite implica, sin duda, una medida de ahorro y de disminución del desperdicio alimentario. Además, su vertido a la red supone un nivel de contaminación muy elevado de las aguas residuales (Abdelkader et al., 2022). Por ello, se debe buscar el compromiso de maximizar su reutilización siempre que se garantice que la calidad del aceite cumple los requisitos establecidos por la legislación (Codex Alimentarius, 2021) para no poner en riesgo la salud del consumidor. En este contexto, hay mucha información relativa al manejo de aceites convencionales como el de oliva (Santos et al., 2013) o el de girasol (Nanayakkara et al., 2020; Turan et al., 2019), pero poca respecto a la reutilización del aceite de moringa (Abdulkarim et al., 2007; Iranloye et al., 2021; Tsaknis & Lalas, 2002).

## 1.5. Patata

La patata es uno de los alimentos más consumidos en el planeta, cuya producción mundial anual en 2022 fue de aproximadamente 375 millones de toneladas, situándose China en la cabeza de los productores mundiales, junto con los países de América Latina (FAOSTAT, 2024). Se trata de un alimento básico, que contribuye a los Objetivos de Desarrollo Sostenible, con la finalidad de aportar seguridad alimentaria y terminar con la pobreza, suministrando no solo alimento sino también empleo e ingresos como cultivo comercial (Nunn et al., 2009).

La patata es una planta perenne que pertenece a la familia de las *Solanaceae* y originaria de USA, desarrollándose este tubérculo como tallo subterráneo, siendo rico en almidones y proteínas de almacenamiento. Estas se suelen cultivar a partir de las semillas botánicas o bien propagándose vegetativamente mediante trozos de los tubérculos. Morfológicamente, se trata de un tubérculo con forma ovalada o redonda, de color blanquecino-amarillento en el interior y marrón pálido en el exterior y de tamaño variable en función de las características del cultivar. Estas características, son atributos de calidad, evaluados por el consumidor para determinar su aceptabilidad, considerándose generalmente buenas patatas, aquellas que son relativamente suaves, firmes y libres de brotes o trastorno.

La patata como alimento necesita ser cocinada para su consumo, debido a la indigestibilidad de su almidón y a la presencia de toxinas naturales de tipo glicoalcaloides, siendo la más conocida la solanina. La forma más frecuente de cocinarla es frita, siendo tan popular que en algunos países Europeos y en USA se procesan entre el 50 y el 60% de la cosecha en este formato (Singh & Kaur, 2017).

## 2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es evaluar los posibles cambios en las propiedades fisicoquímicas y su calidad a lo largo de tres ciclos de fritura del aceite de moringa comparándolo con el aceite de oliva virgen extra. Además, se pretende analizar si existen diferencias entre las características fisicoquímicas de patatas fritas con ambos aceites y si el consumidor es capaz de detectar esas diferencias a nivel organoléptico.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Analizar la cinética de calentamiento de ambos aceites.
- Caracterizar las propiedades ópticas, la capacidad antioxidante y el contenido en fenoles totales del aceite de moringa y de oliva en función de los ciclos de fritura.
- Evaluar la estabilidad de los aceites mediante el índice de peróxidos, la acidez, el índice de saponificación y de yodo.
- Determinar variación de masa y propiedades ópticas y mecánicas de patatas fritas con ambos aceites en función de los ciclos de fritura.
- Evaluación sensorial de las patatas fritas en función de los ciclos de fritura.

El estudio está alineado en un alto grado con los ODS 2 (Hambre cero) y 13 (Acción por el clima) (Anejo I). Dadas las características de la producción de moringa, el fomento de este cultivo y el aprovechamiento de sus semillas en zonas afectadas por el cambio climático asociado al aumento de temperaturas y a la escasez hídrica (ODS13), podría suponer una alternativa al aceite de oliva, contribuyendo así al ODS2.

## 3. Materiales y métodos

### 3.1. Materias primas

Las experiencias se llevaron a cabo con patatas (variedad Alegria, origen España, calibre 50/80 mm CAT I) y con aceite de oliva virgen extra (variedad Hojiblanca) adquiridos en un supermercado local. El aceite de moringa se extrajo de semillas de vainas de moringa cultivadas en una parcela experimental de la UPV con una prensa de tornillo sin fin a 100°C (GBT26883-2011) en el instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos-FoodUPV de la Universitat Politècnica de València.

### 3.2. Fritura de las patatas

Las patatas se sometieron a un proceso de fritura con una relación patata-aceite de 1:1.5, introduciéndolas en la sartén (de 16 cm de diámetro) cuando los aceites alcanzaban una temperatura de 160 °C y friéndolas durante 4 minutos. El aceite se guardó en recipientes de cristal y en oscuridad para utilizarlo en los siguientes ciclos.

Este proceso se llevaba a cabo igual para los tres ciclos de fritura analizados.

### 3.3. Determinaciones analíticas

Todas las determinaciones analíticas llevadas a cabo sobre las patatas y sobre los aceites se realizaron antes y después del proceso de fritura, como mínimo por triplicado.

#### 3.3.1. Variación de masa

Las patatas se pesaron en balanza analítica antes y después de su fritura y la variación de masa se expresó en función de la masa inicial.

#### 3.3.2. Humedad

El contenido en agua de las patatas crudas y fritas se obtuvo mediante el método gravimétrico secando en una estufa a 60°C primero en una estufa durante 24 h y después, en una estufa de vacío (SELECTA VACIOTEM, 4001489) durante 48 h hasta alcanzar un peso constante.

#### 3.3.3. Actividad del agua

La actividad del agua ( $a_w$ ) de las patatas crudas y fritas se analizó mediante higrómetro de punto de rocío (Decagon Devices Inc de AquaLab TDL).

#### 3.3.4. Propiedades ópticas

Para el análisis del color de las patatas fritas y de los aceites, se utilizó un colorímetro de mesa ("Minolta" modelo CM-3600d) obteniéndose las coordenadas CIEL  $L^*a^*b^*$  por sextuplicado, tomando como referencia el observador 10° e iluminador D65. Además, se calculó el índice de color (IC) y las diferencias de color ( $\Delta E$ ) respecto de las patatas frescas mediante las siguientes ecuaciones:

$$IC = \frac{1000 * a}{L * b}$$

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2}$$

### 3.3.5. Propiedades mecánicas

Se llevó a cabo un ensayo de corte en las patatas fritas con los distintos aceites con una sonda (A/BS cuchilla de corte según método AIB) con una velocidad de avance de 0,5 mm/s utilizando una prensa universal (Texturómetro TA-XTplus Texture Analyse Aname) y analizando la fuerza hasta el punto de rotura, el área bajo la curva, así como el tiempo y la distancia del ensayo. Las medidas se realizaron por sextuplicado.

### 3.3.6. Acidez

Se analizó mediante valoración con hidróxido potásico al 0.5 N. Para ello, se pesaron 5 g de aceite añadiéndole 12.5 mL de éter etílico y 12.5 mL de alcohol etílico y 0.1 mL de fenolftaleína. Una vez preparada la mezcla se realizó la valoración manual mediante una bureta de 50 mL hasta el viraje de amarillo a rosa. Para realizar los cálculos del % ácidos grasos libres y del índice de acidez se utilizaban las siguientes ecuaciones:

$$\% \text{ Ácidos grasos} = \frac{282 \cdot V \cdot N}{P}$$

$$\text{Índice acidez} \left( \frac{\text{mL KOH}}{\text{g aceite}} \right) = \% \text{ Ácidos grasos libres} \cdot 1.99$$

Siendo:

V = Volumen consumido de la disolución valorante.

N = Normalidad de la disolución valorante.

P = Peso de la muestra en gramos.

### 3.3.7. Capacidad antioxidante

Se analizó mediante el método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) que consiste en la reacción de este radical con los antioxidantes presentes en las muestras de aceites, analizando los cambios de absorbancia en un espectrocolorímetro a 515 nm. Para ello, se tomó 1 g de muestra y se le añadió 1 mL de metanol al 80%. La mezcla se centrifugó durante 5 minutos a 10000 rpm. A continuación, se preparó una disolución de DPPH con una concentración de 0.025 g/L. Después, se añadieron 3.9 mL de la disolución de DPPH en cada una de las cubetas y se midió su absorbancia. A continuación, se añadió a cada cubeta 0.1 mL del sobrenadante de la muestra anteriormente centrifugada. Esta mezcla se homogeneizó y se dejó reposar por 30 minutos en oscuridad y finalmente se midió la absorbancia a 515 nm.

Para realizar los cálculos del % de inhibición se midió la absorbancia de referencia del DPPH y se procesaron mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ inhibición DPPH} = 100 \cdot \frac{(A_0 - A_{30})}{A_0}$$

Siendo:

$A_0$  = Absorbancia de la disolución de DPPH a los 0 minutos.

$A_{30}$  = Absorbancia pasados 30 minutos de la disolución de DPPH y la muestra

Los resultados se expresaron respecto a la capacidad antioxidante del Trolox, realizando una recta de calibrado con este antioxidante.

### 3.3.8. Fenoles totales

El contenido en fenoles totales se analizó mediante el método de Folin-Ciocalteu, que se basa en la reacción de los compuestos fenólicos con el reactivo de Folin-Ciocalteu, produciendo un cambio de coloración de amarillo a azul según la concentración de compuestos fenólicos en la muestra de aceite. Para ello, se diluyeron 3 mL de muestra en 6 mL de metanol al 80%, agitando la mezcla 2 minutos en el vortex. Después, se tomaron 0.25 mL del sobrenadante, introduciéndolo en un matraz aforado de 25 mL y añadiéndole 15 mL de agua destilada y 1.25 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu. Esta mezcla se dejó reposar en oscuridad durante 8 minutos, para una vez transcurridos estos, añadir 3.75 mL de carbonato de sodio al 7.5%, terminando por aforar el matraz con agua destilada. Finalmente, se dejó reposar la mezcla 2 horas en oscuridad y se midió la absorbancia a 765 nm.

### 3.3.9. Índice de yodo

Para el análisis del índice de yodo de los aceites, se llevó a cabo una valoración con tiosulfato de sodio 0.1 N. Para ello, se pesaron 0.3 gramos de cada muestra, añadiéndole 10 mL de cloroformo y 25 mL de reactivo de Hanus, homogeneizando esta mezcla y dejándola reposar en oscuridad durante 1 h. Pasado este tiempo, se añadieron 20 mL de una disolución acuosa de KI al 10%, 100 ml de agua destilada y dos gotas de indicador de almidón y se valoraba. Para realizar los cálculos del índice de yodo, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de yodo} = \frac{(B - M) \cdot N \cdot 0.1269 \cdot 100}{\text{Peso muestra (g)}}$$

Siendo:

B = Volumen de la disolución valorante gastada en el blanco.

M = Volumen de la disolución valorante gastada en la muestra.

N = Normalidad de la disolución valorante.

### 3.3.10. Índice de saponificación

Para el análisis del índice de saponificación de los aceites, se llevó a cabo una valoración con ácido clorhídrico 0.5 N. Para ello, se pesaron 2 g de cada muestra de aceite, añadiéndoles 25 mL de hidróxido potásico etanólico 0.5 N y se llevaron a un baño maría a 100°C durante 30 minutos. Pasado este tiempo, se retiraron de la fuente de calor y se les añadieron 2 gotas de indicador de fenolftaleína, valorando en caliente con

la disolución de ácido clorhídrico 0.5 N. Para realizar los cálculos del índice de saponificación, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{Índice de saponificación} = \frac{56.1 \cdot N \cdot (V - V')}{m}$$

Siendo:

N = Normalidad de la disolución valorante de ácido clorhídrico.

V = Volumen utilizado de ácido clorhídrico del ensayo en blanco.

V' = Volumen utilizado de ácido clorhídrico del ensayo de muestra.

### 3.3.11. Índice de Peróxidos

Para el análisis de peróxidos, se llevó a cabo una valoración con un valorador automático (Metrohm con los módulos Titrande 905, Ti Stand 804 y electrodo de platino) con tiosulfato de sodio 0.001 N. Para ello, se prepararon los reactivos necesarios:

- Disolvente: Mezcla de 300 mL de ácido acético con una disolución de yodo (10-15 mg de I<sub>2</sub> en 200 mL de 1-decanol).
- Disolución saturada de KI: Se pesaron 32.5 g KI y se enrasaron con agua destilada previamente hervida en un matraz de 25 mL.
- Disolución valoradora: Tiosulfato de sodio 0.001 N.

Para la realización de la valoración se pesó 1 g de muestra a la que se le añadieron 10 mL del disolvente y 200 µL de la disolución saturada de KI, dejando reposar esta mezcla en oscuridad durante 1 minuto. Pasado este tiempo, se añadieron 50 mL de agua destilada hervida. Por último, se realizó la valoración de la mezcla en el valorador automático obteniendo los resultados en miliequivalentes de O<sub>2</sub>/ kg de aceite.

### 3.3.12. Análisis sensorial

Se realizó un análisis organoléptico de 4 patatas fritas según el aceite utilizado (M: moringa y O: oliva) y considerando uno (C1) o tres (C3) ciclos de fritura. De esta forma, las muestras escogidas para este análisis fueron: MC1, OC1, MC3 y OC3 que fueron codificadas con números aleatorios de tres dígitos. La cata se realizó presentando las patatas recién fritas a 14 jueces con edades comprendidas entre 18 y 60 años. El cuestionario se realizó utilizando la plataforma SensesBit en la que se incluyeron preguntas de escala hedónica (de 9 puntos según las normas ISO 4121:2003 y UNE-87025:1996) relacionadas con el aspecto, el color, el aroma, la textura, el sabor y la aceptación global. En el caso del color, el aroma y la textura y el sabor, se evaluó la intensidad percibida de estos atributos mediante una escala de punto óptimo o JAR. Además, se realizó un análisis de penalizaciones para saber si un atributo situado por encima o debajo del JAR, penalizaba la puntuación de la aceptación global (Segovia et al., 2018). Por último, se incluyó una pregunta de probabilidad de compra en una escala Likert de 5 puntos y una pregunta de ordenación de las 4 muestras de patata (Anexo II).

## 3.4. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó el programa Statgraphics CenturionXIX.64. Se realizó un análisis de varianza ANOVA, utilizando el test LSD (Least Significant Difference) a un nivel de significación del 95% (p-value ≤ 0.05).

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Características de los aceites

#### 4.1.1. Cinética de calentamiento

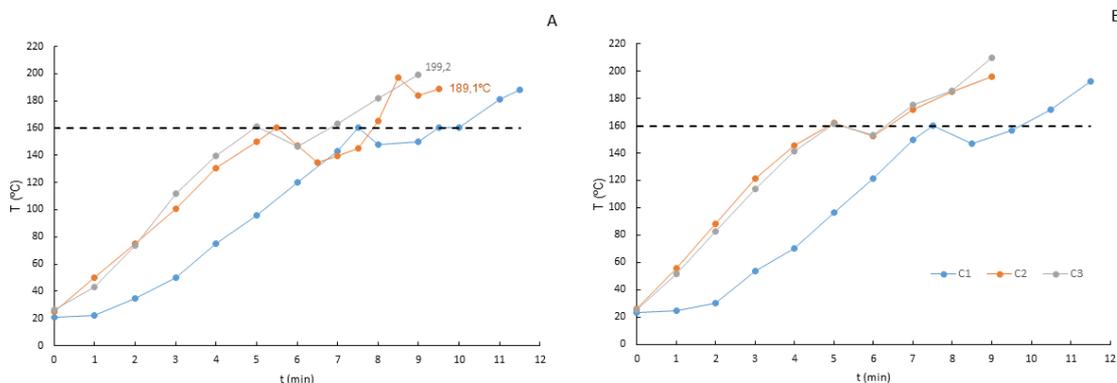


Figura 3. Cinéticas de calentamiento de los aceites de oliva (A) y moringa (B).

En la Figura 3 se presentan los resultados de la cinética de calentamiento de los aceites de moringa y oliva atendiendo a los diferentes ciclos de fritura estudiados. Como se puede observar, el comportamiento de ambos aceites fue similar, alcanzando aproximadamente 2.5 minutos antes 160°C (que es cuando se introducen las patatas) en el segundo y tercer ciclo respecto al primer ciclo de fritura. Por otra parte, durante la fritura, el aceite de moringa alcanzó temperaturas más elevadas que el de oliva y en menos tiempo. Además, este comportamiento también fue observado en aceite de cacahuete que aumentó su velocidad de calentamiento con los sucesivos ciclos de fritura lo que podría ser debido a la disminución significativa de los ácidos grasos insaturados (Sangavi et al., 2022).

#### 4.1.2. Calidad del aceite

En la Tabla 1, se indican los valores de una serie de parámetros que marcan la calidad de los aceites (Acidez, Capacidad antioxidante, Peróxidos y Fenoles totales).

Respecto al índice de acidez, se observa que el aceite de oliva presenta un valor significativamente inferior ( $\approx 0.4$ - $0.45$  mg KOH/g aceite) al de moringa ( $\approx 2$ - $3$  mg KOH/g aceite). En ambos casos, los valores son aceptables para su consumo según el Codex Alimentario, que establece como 4 mg KOH/g aceite el valor máximo del índice de acidez para aceites vírgenes o crudos/prensados (FAO, 2023). Los resultados de acidez del aceite de moringa publicados por otros autores abarcan un rango muy amplio (0.25, 1.25 y 6.73 mg KOH/g aceite) (Adegbe et al., 2016; Aly et al., 2016; Gharsallah et al., 2021) en el que se encuentran los valores de este estudio. Esto indicaría que hay una gran variabilidad de la acidez del aceite de moringa en función de la procedencia de la semilla, variedad o proceso de extracción (tipo de prensa, agentes químicos, etc). El aumento en los ciclos de fritura no parece influir en la acidez ni del aceite de oliva ni de moringa.

En cuanto al índice de peróxidos (IP), se puede observar que los valores del aceite de oliva fueron superiores a los valores del aceite de moringa, y en ambos se sigue la

misma tendencia, aumentando conforme aumentan los ciclos de fritura. Estos resultados podrían ser consecuencia de la diferencia en el tiempo de almacenamiento del aceite de oliva comercial y el de moringa, ya que este último estaba recién extraído. En cualquier caso, ambos aceites presentan un valor de IP inferior a 20 mEqO<sub>2</sub>/kg cumpliendo así el requisito establecido por el Reglamento de Ejecución (UE) 2022/2015 que recoge las normas relativas a los controles de conformidad y de comercialización del aceite de oliva y los métodos de análisis de las características del aceite de oliva. En este sentido, se corrobora que el aceite de moringa sería apto para almacenar durante largos periodos de tiempo sin enranciarse debido a su bajo nivel de oxidación y su actividad lipolítica (Adegbe et al., 2016). En ambos casos, el calentamiento sucesivo del aceite aumentó el IP. Según otros autores, este incremento en el IP es debido a la mayor oxidación lipídica que se da en los aceites al someterlos a elevadas temperaturas, lo que provoca el aumento del IP (Velasco, 2021).

Por otra parte, los valores del índice de saponificación (IS), que se define como los mg de KOH necesarios para saponificar los ácidos grasos libres y combinados de 1 g de aceite, se encuentran dentro de los niveles reportados en otros trabajos en aceite de moringa (Aly et al., 2016; Gharsallah et al., 2021) y para el aceite de oliva (Codex Alimentarius, 2021). Esta medida informa del peso molecular promedio de los triglicéridos que constituye la grasa y en ambos casos los elevados valores obtenidos evidencian la presencia de triglicéridos de alto peso molecular que son útiles para la formación de jabones (Khan et al., 2007). En este trabajo se pone de manifiesto que los ciclos de fritura aumentaron el IS del aceite de moringa en todos los casos y solo en el tercer ciclo en el de oliva.

Por último, el índice de yodo (IY) informa del grado de insaturación del aceite. Dado que el aceite de moringa y el de oliva tienen un perfil lipídico similar, en el que predomina el ácido oleico con una concentración próxima al 70% (referencias), este índice es similar para ambos casos y se encuentra dentro de los valores establecidos para el consumo de aceite de oliva virgen (75-94 g I<sub>2</sub>/100 g aceite) según el Codex Alimentario (Codex Alimentarius, 2021). Los ciclos de fritura no afectaron en ningún al IY tal y como se ha descrito en el trabajo de Lalas et al., (2006) para aceite de moringa de la variedad *stenopetala*.

Tabla 1. Índice de acidez, Índice de peróxidos, Índice de saponificación y Índice de yodo.

<b>Muestra</b>	<b>Índice de acidez (mg KOH/g de aceite)</b>	<b>Índice de peróxidos (meq O<sub>2</sub>/ kg muestra)</b>	<b>Índice de saponificación (mg KOH/ g muestra)</b>	<b>Índice de yodo (g I<sub>2</sub>/ 100 g muestra)</b>
<b>Oliva Fresco</b>	0.37 ± 0.13 <sup>a</sup>	9.75 ± 1.4 <sup>b</sup>	199.2 ± 1.4 <sup>b</sup>	90 ± 12 <sup>a</sup>
<b>O.C1</b>	0.45 ± 0.11 <sup>a</sup>	13.8 ± 1.4 <sup>c</sup>	194 ± 2 <sup>ab</sup>	94 ± 14 <sup>a</sup>
<b>O.C2</b>	0.45 ± 0.02 <sup>a</sup>	15 ± 2 <sup>c</sup>	194 ± 2 <sup>ab</sup>	89 ± 16 <sup>a</sup>
<b>O.C3</b>	0.45 ± 0.11 <sup>a</sup>	16 ± 2 <sup>c</sup>	203 ± 5 <sup>bc</sup>	87 ± 17 <sup>a</sup>
<b>Moringa Fresco</b>	2.13 ± 0.11 <sup>b</sup>	4.37 ± 0.13 <sup>a</sup>	192 ± 6 <sup>a</sup>	79 ± 3 <sup>a</sup>
<b>M.C1</b>	3.0 ± 0.3 <sup>c</sup>	10.1 ± 0.9 <sup>b</sup>	208 ± 2 <sup>c</sup>	99 ± 19 <sup>a</sup>
<b>M.C2</b>	2.4 ± 0.3 <sup>bc</sup>	8.11 ± 0.15 <sup>b</sup>	200 ± 4 <sup>b</sup>	80 ± 2 <sup>a</sup>
<b>M.C3</b>	2.8 ± 0.6 <sup>bc</sup>	10.4 ± 0.9 <sup>b</sup>	201 ± 5 <sup>bc</sup>	105 ± 8 <sup>a</sup>

Letras iguales en cada columna indican grupos homogéneos en el ANOVA Multifactorial realizado considerando un nivel de significancia del 95%

En la Tabla 2 se presentan los resultados de la capacidad antioxidante y del contenido en fenoles totales de los aceites de oliva y moringa en función de los ciclos de fritura considerados. Lo más destacable es la mayor capacidad antioxidante del aceite de oliva en comparación al de moringa. Para este último aceite, otros autores (Athikomkulchai et al., 2021) han publicado valores más elevados (129.1 mg de TroloxE/mL) que los obtenidos en este trabajo. Quizás la diferencia se debe a que la extracción del aceite realizada por esos autores fue con un disolvente orgánico en frío y en este trabajo se ha hecho una extracción a 100°C con una prensa de tornillo sinfín. A su vez, a medida que aumentaron los ciclos de fritura ésta disminuyó significativamente en el aceite de oliva, mientras que se mantuvo constante en el aceite de moringa. Otros autores (Ramírez-Anaya et al., 2019) comentan que la capacidad antioxidante en aceites de oliva virgen extra disminuye significativamente tras cocinar con estos y que este descenso vendría dado por la degradación de los compuestos fenólicos y la transferencia de compuestos entre el aceite y los alimentos cocinados.

En coherencia con los resultados anteriores, el contenido en fenoles totales fue inferior en el aceite de moringa que en el de oliva. No obstante, se produjo un aumento significativo de este contenido en el tercer ciclo de fritura del aceite de oliva, mientras que se mantuvo constante en el de moringa. Este fenómeno no es común, ya que lo normal es que los compuestos fenólicos se degraden debido a la temperatura, pero otros autores (Baig et al., 2022) ponen de manifiesto que es posible que el contenido en fenoles totales aumente debido a la formación de compuestos fenólicos secundarios derivados de la degradación de otros componentes del aceite de oliva.

*Tabla 2. Capacidad antioxidante y contenido en fenoles totales.*

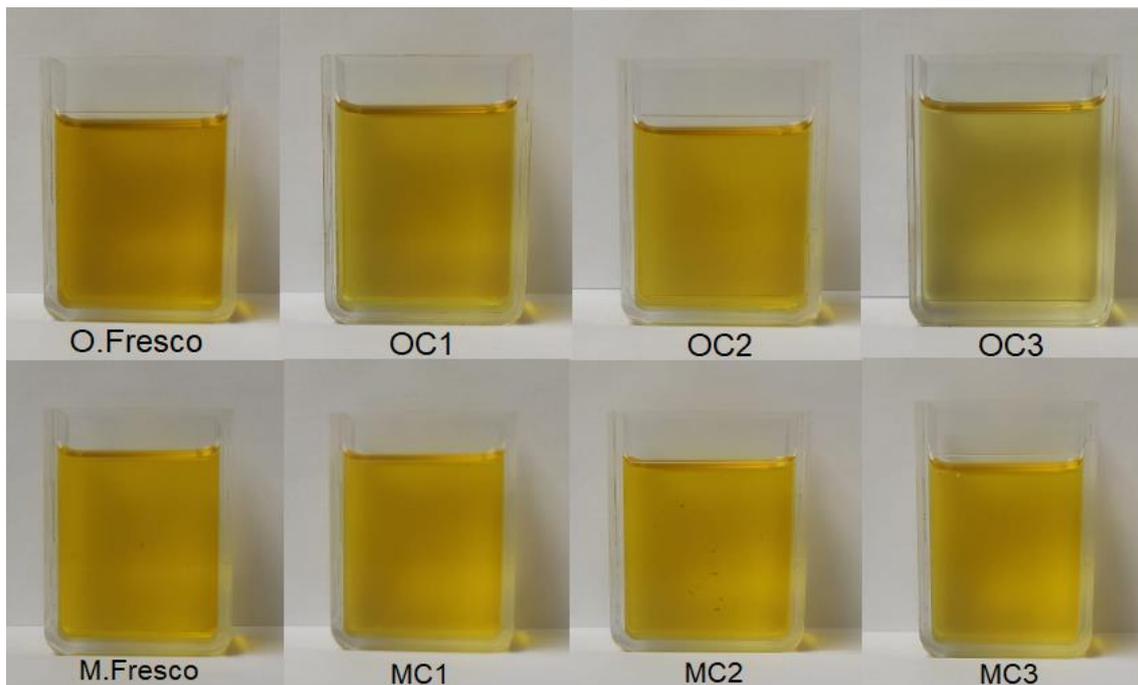
<b>Muestra</b>	<b>Capacidad antioxidante (mg Trolox E/ 100g moringa)</b>	<b>Contenido en fenoles Totales (mg ac gálico/100 g muestra)</b>
<b>Oliva Fresco</b>	30.2 ± 0.0 <sup>d</sup>	10.4 ± 0.7 <sup>c</sup>
<b>O.C1</b>	18.1 ± 0.6 <sup>c</sup>	8.4 ± 1.5 <sup>c</sup>
<b>O.C2</b>	16.25 ± 1.11 <sup>c</sup>	9.3 ± 0.9 <sup>c</sup>
<b>O.C3</b>	12.0 ± 0.6 <sup>b</sup>	18.6 ± 1.5 <sup>d</sup>
<b>Moringa Fresco</b>	1.6 ± 0.4 <sup>a</sup>	0.7 ± 0.2 <sup>a</sup>
<b>M.C1</b>	1.4 ± 0.4 <sup>a</sup>	4.1 ± 1.9 <sup>b</sup>
<b>M.C2</b>	1.8 ± 0.2 <sup>a</sup>	1.8 ± 0.0 <sup>a</sup>
<b>M.C3</b>	1.3 ± 0.8 <sup>a</sup>	3.6 ± 0.8 <sup>b</sup>

Letras iguales en cada columna indican grupos homogéneos en el ANOVA Multifactorial realizado considerando un nivel de significancia del 95%

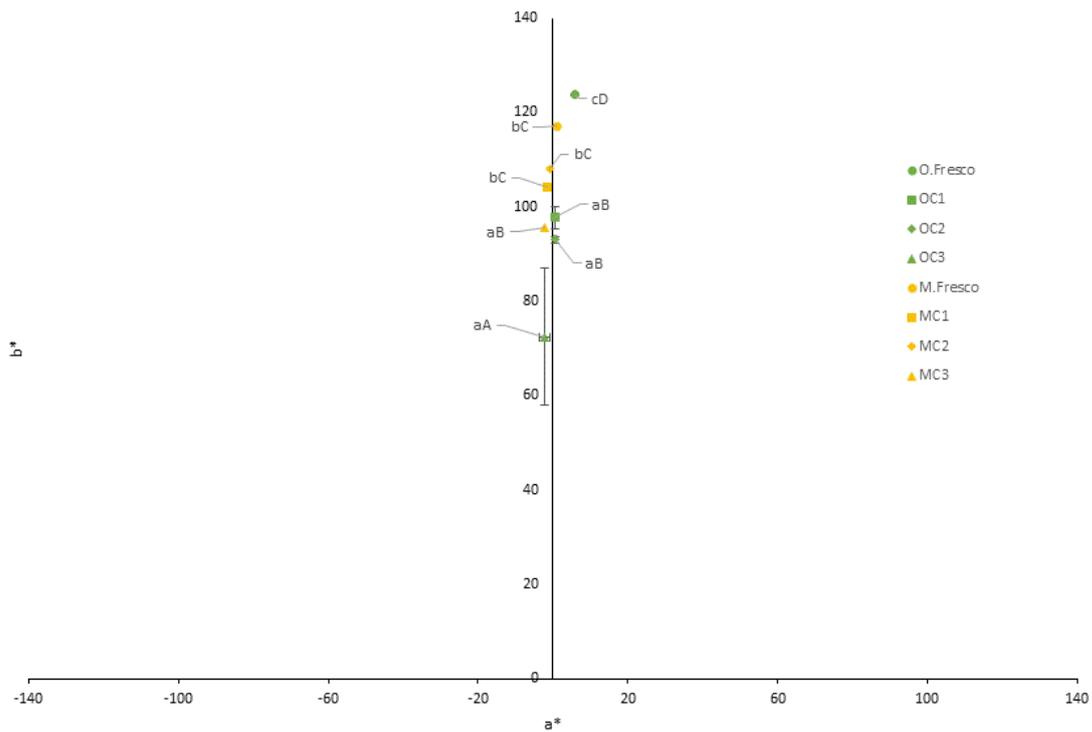
#### 4.1.3. Propiedades ópticas

En la Figura 4 se presentan el aspecto de los distintos aceites estudiados en este trabajo. Además, en la Figura 5, se muestra la ubicación en el diagrama cromático de las coordenadas a\* y b\* en función de los ciclos de fritura de cada uno de los aceites, así como de los aceites antes del calentamiento. Los resultados de estas coordenadas se sitúan entre el primer y segundo cuadrante, pero muy próximos al centro (zona de verdes-amarillos). Antes del calentamiento, ambos aceites presentaron valores de la

coordenada  $b^*$  muy similares y elevados, mientras que la coordenada  $a^*$  fue significativamente menor en el de moringa. Esto se traduce en unos aceites de tonalidades amarillas-verdosas. A medida que se aplicaron los ciclos de fritura, en ambos casos se redujo significativamente la coordenada  $b^*$ , pero de forma más acentuada en el aceite de oliva, manteniéndose estable la coordenada  $a^*$ . Estos resultados ponen de manifiesto que el tono de todos los aceites fue similar, aunque la pureza de color disminuyó en todos los casos conforme aumentaba los ciclos de fritura, dando lugar a unos aceites más pardos. Otros autores (Meng, 2019) reafirman el efecto de pardeamiento de los aceites sometidos a ciclos de fritura, oscureciéndose y formando compuestos polares totales y aumentando los valores de  $p$ -anisidina, la cual indica oxidación en los aceites.

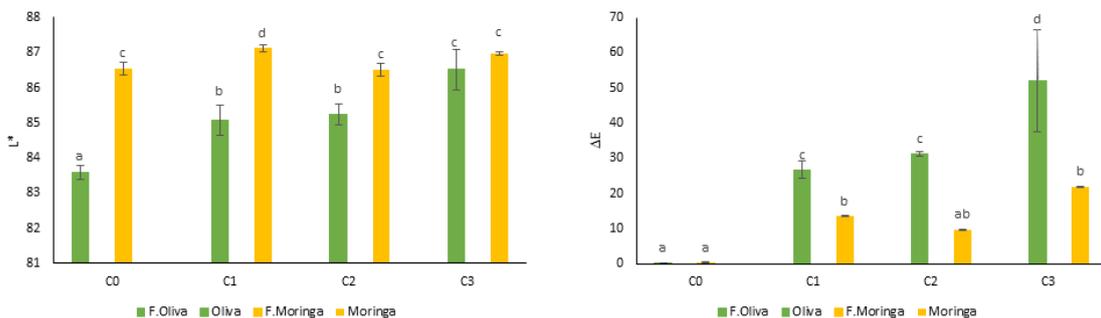


**Figura 4.** Aspecto de los aceites de oliva y moringa frescos y de sus respectivos ciclos de fritura.



**Figura 5.** Variación de las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  de los aceites en función del ciclo de fritura. Letras iguales indican grupos homogéneos del ANOVA con un nivel de significancia del 95%, siendo las minúsculas para la coordenada  $a^*$  y las mayúsculas para la coordenada  $b^*$ .

En la Figura 6, se muestran tanto la Luminosidad ( $L^*$ ) como la diferencia de color ( $\Delta E$ ) de los aceites en sus diferentes ciclos de fritura. Como se puede observar, el aceite de moringa en crudo mostró una luminosidad significativamente mayor al de oliva. Sin embargo, ésta permaneció constante en el de moringa con los calentamientos, pero aumentó significativamente en el de oliva hasta alcanzar valores similares al de moringa en el tercer ciclo de fritura. Este aumento en la luminosidad se puede apreciar en la Figura 9 como una mayor translucidez del aceite. Además, las diferencias de color con sus respectivos aceites crudos fueron significativamente mayores en el aceite de oliva, indicando la mayor estabilidad óptica del aceite de moringa.

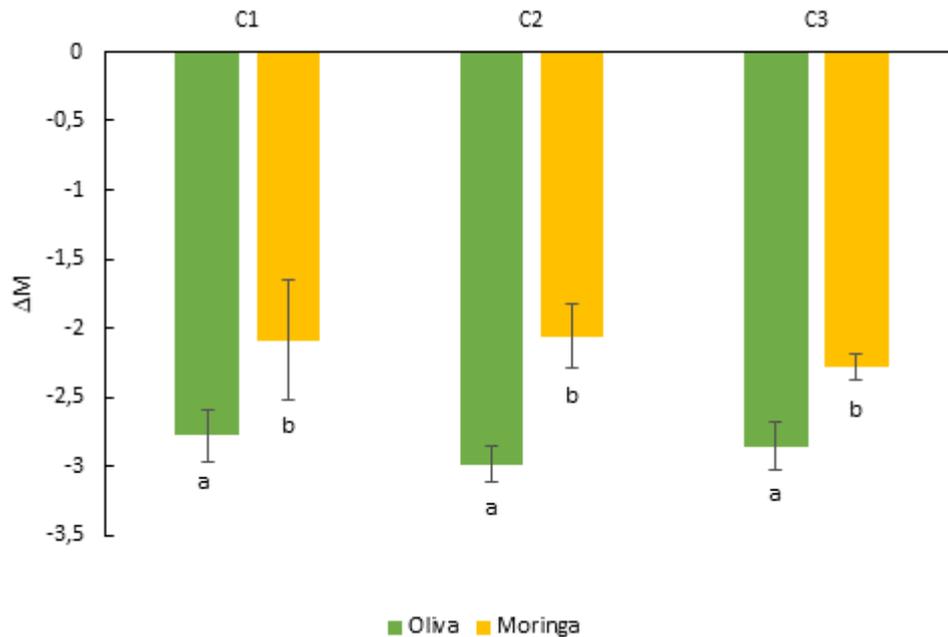


**Figura 6.** Luminosidad ( $L^*$ ) (A) y diferencia de color ( $\Delta E$ ) (B) de los aceites en función del ciclo de fritura. Letras iguales indican grupos homogéneos del ANOVA con un nivel de significancia del 95%.

## 4.2. Características de la patata

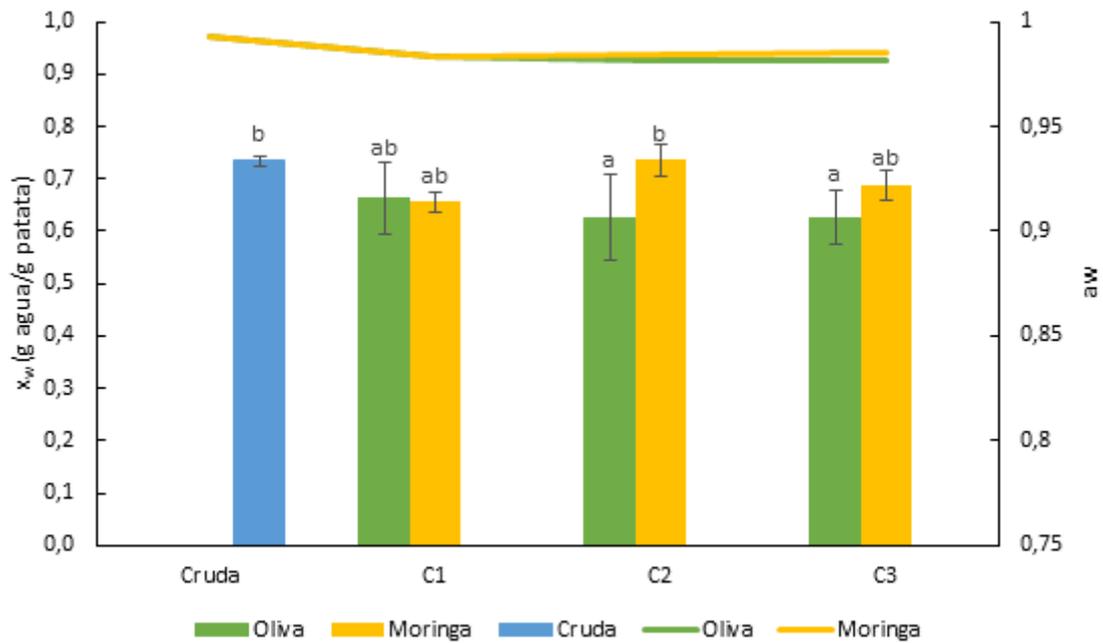
### 4.2.1. Propiedades fisicoquímicas

En la Figura 7, se muestra la variación de peso sufrida por las patatas en cada uno de los ciclos de fritura, donde se observa que las patatas fritas en aceite de oliva pierden significativamente más peso que las fritas con aceite de moringa para todos los ciclos.



**Figura 7.** Variación de masa de la patata utilizando aceites de oliva o moringa procedentes de diferentes ciclos de fritura. Letras iguales indican grupos homogéneos del ANOVA con un nivel de significancia del 95%.

Esta pérdida de peso va ligada a la evaporación del agua durante la etapa de fritura combinada con la ganancia de aceite. Por ello, en la Figura 8, se muestran tanto la humedad como la actividad del agua de las patatas tras la fritura. Cuando se utilizó aceite de moringa, no se observaron diferencias significativas en el contenido de agua con respecto a la patata fresca en ningunos de los ciclos de fritura, lo que estaría indicando que la pérdida de peso estaría relacionada solo con la ganancia de aceite. Sin embargo, en la patata frita con aceite de oliva sí que se registró un descenso significativo en el contenido en agua cuando se utilizó un aceite de un segundo o tercer ciclo de fritura. Por tanto, y relacionando la pérdida de peso con el contenido en agua final del producto, la fritura con aceite de moringa favorecería la obtención de productos menos grasos.



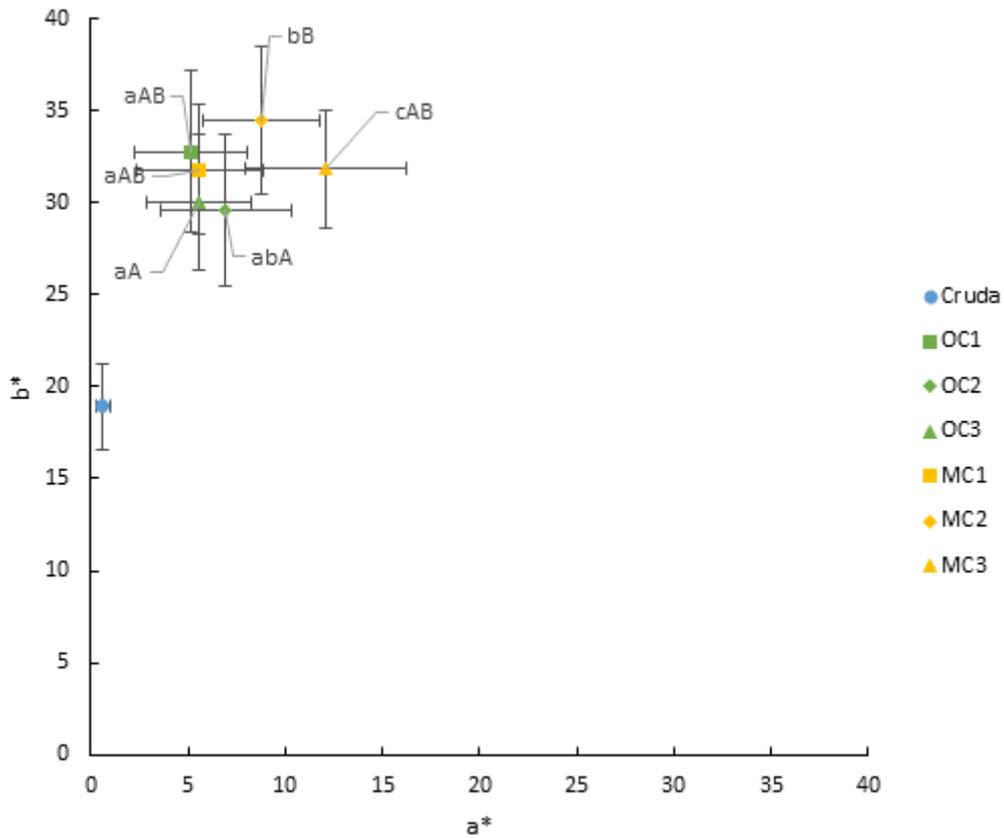
**Figura 8.** Variación de humedad y actividad del agua en la patata cruda y frita en función de aceite y del ciclo de fritura. Letras iguales indican grupos homogéneos del ANOVA con un nivel de significancia del 95%.

#### 4.2.2. Propiedades ópticas

La apariencia de las patatas fritas de este estudio se muestra en la Figura 9. Por otra parte, en la Figura 10 se muestra la representación en el diagrama cromático de las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  y la variación de estas a lo largo de los ciclos de fritura. Todos los valores se situaron sobre el primer cuadrante (zona de verdes-amarillos). Como se puede ver, no existieron diferencias significativas entre las patatas fritas en aceite de oliva, aunque cuando se frieron en aceite de moringa aumentó significativamente con el ciclo de fritura la coordenada  $a^*$ .

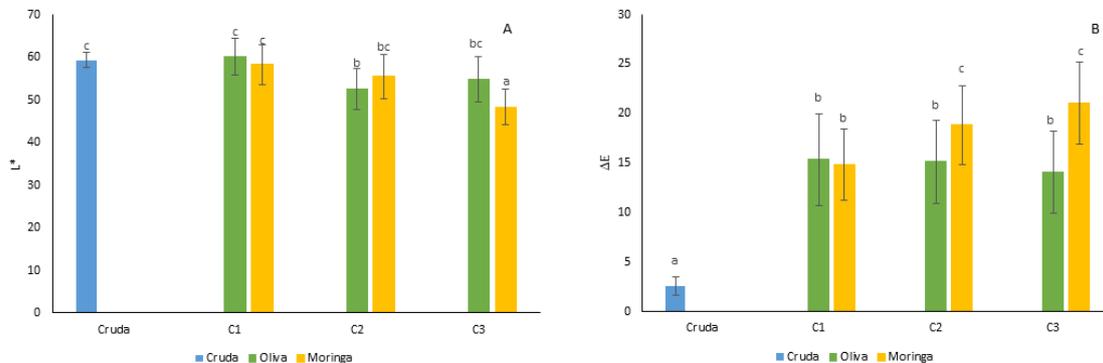


**Figura 9.** Aspecto de las patatas fritas con aceite de oliva y moringa de cada ciclo de fritura.



**Figura 10.** Variación de las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  de las patatas en función del ciclo de fritura. Letras iguales indican grupos homogéneos del ANOVA con un nivel de significancia del 95%, siendo las minúsculas para la coordenada  $a^*$  y las mayúsculas para la coordenada  $b^*$ .

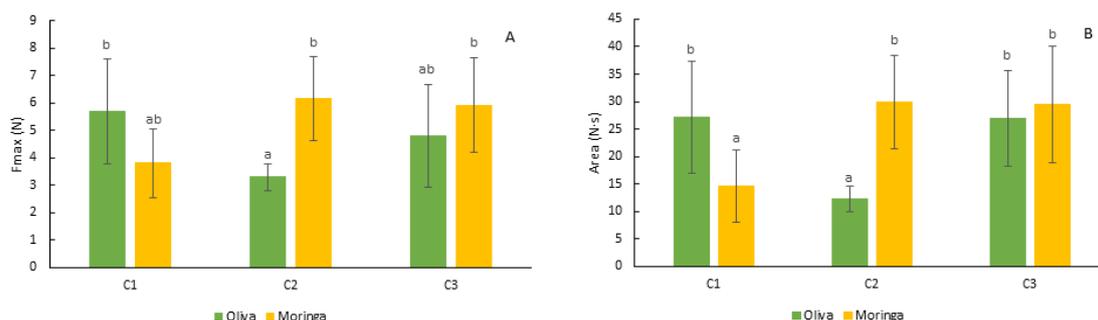
En la Figura 11, se muestran la luminosidad  $L^*$  y la diferencia de color ( $\Delta E$ ) de las patatas estudiadas respecto de la patata cruda en función de los ciclos. Como se puede observar, los valores de luminosidad fueron similares entre las patatas fritas con ambos aceites, disminuyendo significativamente a lo largo de los ciclos de fritura. Por otra parte, en lo que respecta a la variación de color, las patatas fritas con ambos aceites presentaron diferencias significativas respecto de la patata cruda, aunque estas diferencias se mantuvieron constantes con los ciclos de fritura en las patatas fritas con aceite de oliva, mientras que aumentaron significativamente en las patatas fritas en aceite de moringa.



**Figura 11.** Luminosidad ( $L^*$ ) y diferencia de color ( $\Delta E$ ) de las patatas fritas en función del ciclo de fritura y el tipo de aceite. Letras iguales indican grupos homogéneos del ANOVA con un nivel de significancia del 95%.

### 4.2.3. Propiedades mecánicas

En la Figura 12, se muestran tanto la fuerza máxima aplicada para el corte de la patata como el área bajo la curva hasta el mismo punto. Ambas gráficas siguen la misma tendencia, y aunque en las patatas fritas con aceite de moringa en el segundo ciclo se observó un descenso en ambos parámetros, en el tercer ciclo recuperó los valores obtenidos en el primer ciclo. Por otra parte, en el caso de las patatas fritas con aceite de moringa en el segundo y tercer ciclo aumentaron ligeramente tanto la fuerza máxima como el área. No obstante, los cambios registrados fueron muy poco marcados, por lo que el tipo de aceite no parece condicionar a las propiedades mecánicas del producto final.

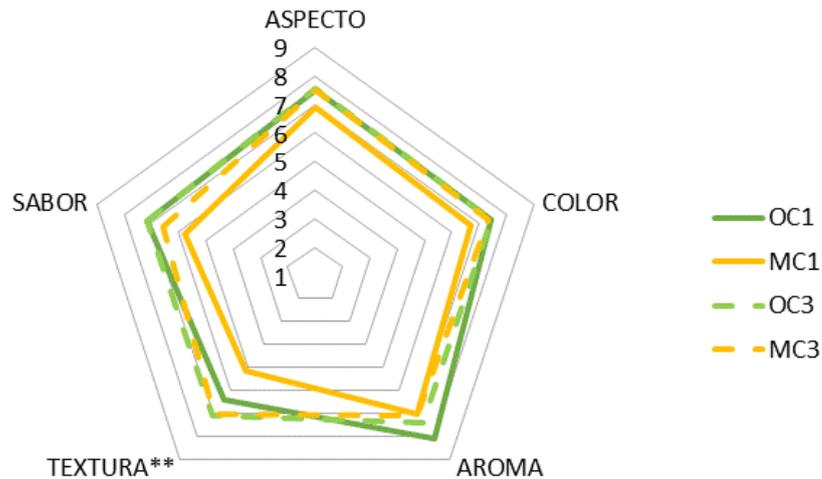


**Figura 12.** Fuerza máxima (A) y Área hasta el punto de corte de la patata (B). Letras iguales indican grupos homogéneos del ANOVA con un nivel de significancia del 95%.

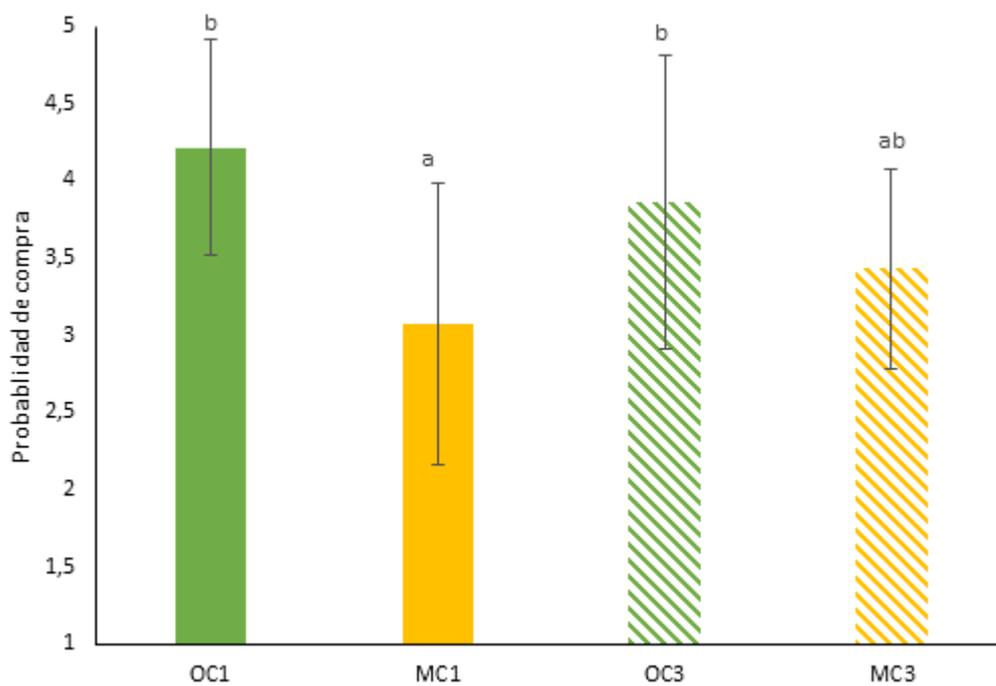
## 4.3. Sensorial

En la Figura 13 se presentan los resultados del análisis sensorial obtenidos de la encuesta de los atributos analizados en base a una escala hedónica, tanto para las patatas fritas con aceite de oliva como para las de moringa, en concreto, para el primer y tercer ciclo de cada aceite. Como puede observarse, en todos los atributos se obtuvo una valoración superior a 5 puntos. Por otra parte, la textura fue el único atributo que mostró diferencias significativas siendo la patata frita con aceite de moringa de primera fritura (MC1) la peor valorada.

En la Figura 14 se muestran las probabilidades de compra de cada una de las patatas fritas con los aceites de oliva y moringa, observándose una diferencia significativamente mayor en la probabilidad de compra de las patatas fritas en aceite de oliva. Por otra parte, todas las patatas obtuvieron una puntuación mayor a 3.



**Figura 13.** Resultados del análisis sensorial con la escala hedónica de las patatas fritas con aceite de oliva y moringa. Según los datos obtenidos del análisis ANOVA \*\*Nivel de significancia del 95%.



**Figura 14.** Probabilidad de compra de las patatas fritas con los aceites estudiados.

En la Figura 15 se muestran los gráficos de las escalas de punto ideal o Just About Right (JAR), tanto para las patatas fritas con aceite de oliva como para las de moringa. Como puede verse, aproximadamente el 50% de los jueces consideraron que el color era adecuado, mientras que el otro 50% lo hubieron preferido más intenso. En cuanto al aroma, la mayoría de los jueces consideraron óptimo el de las patatas fritas con aceite de oliva, independientemente del ciclo de fritura. Sin embargo, en las patatas fritas con aceite de moringa, al 30-50% de los catadores les hubiera gustado un aroma más

intenso, especialmente en las MC3. La textura de las patatas se percibió mayoritariamente como demasiado blanda, especialmente cuando se utilizó aceite en su primer ciclo de fritura, sin diferencias entre los aceites. En este sentido, la reutilización del aceite mejoró la percepción de la textura de las patatas en ambos aceites. Por último, a más del 60% de los jueces les pareció muy poco intenso el sabor de la patata frita con el primer ciclo de fritura del aceite de moringa, mientras que al aumentar los ciclos mejoró la percepción de este atributo probablemente debido a la transferencia de los compuestos de la patata al aceite que potenciaron su sabor.

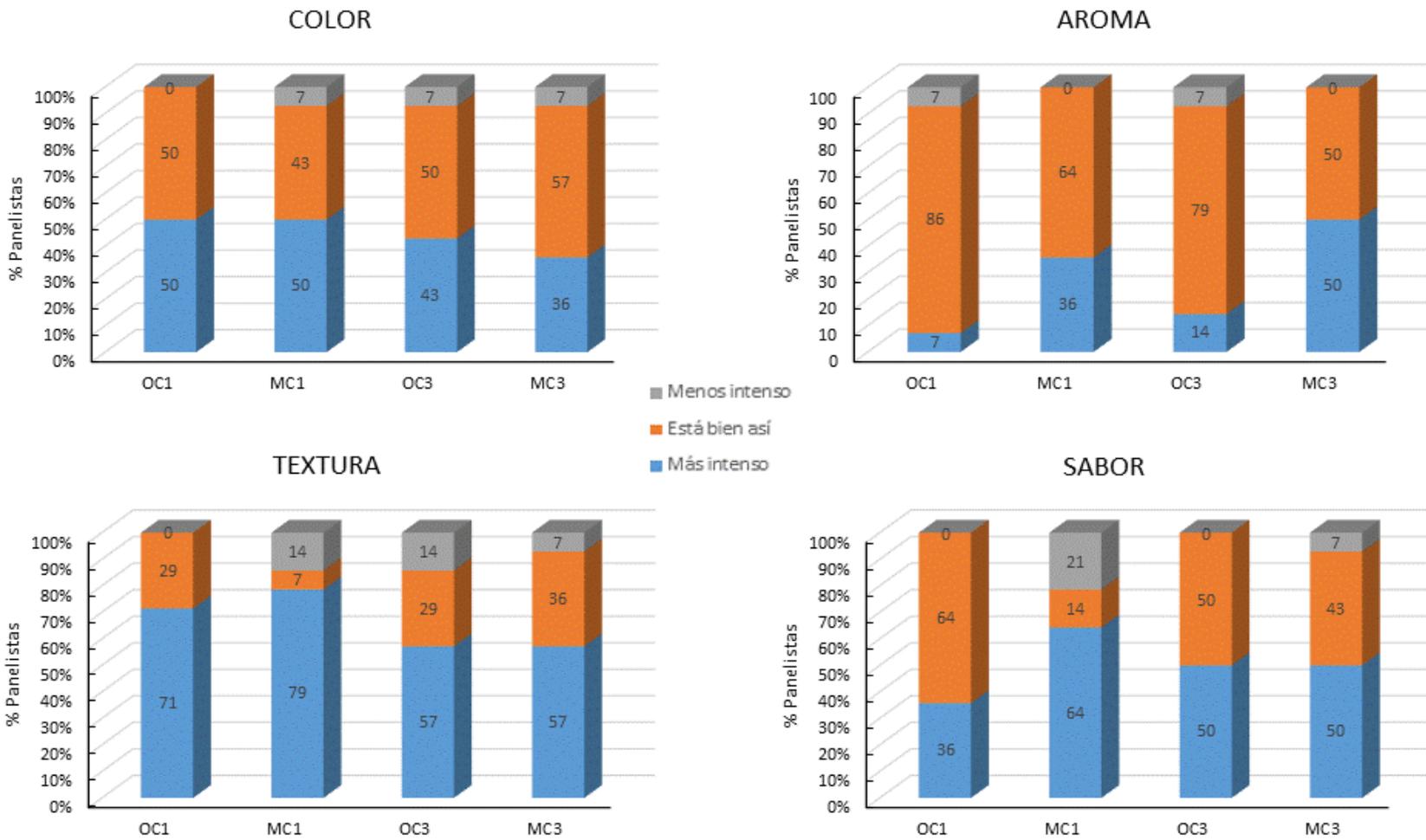
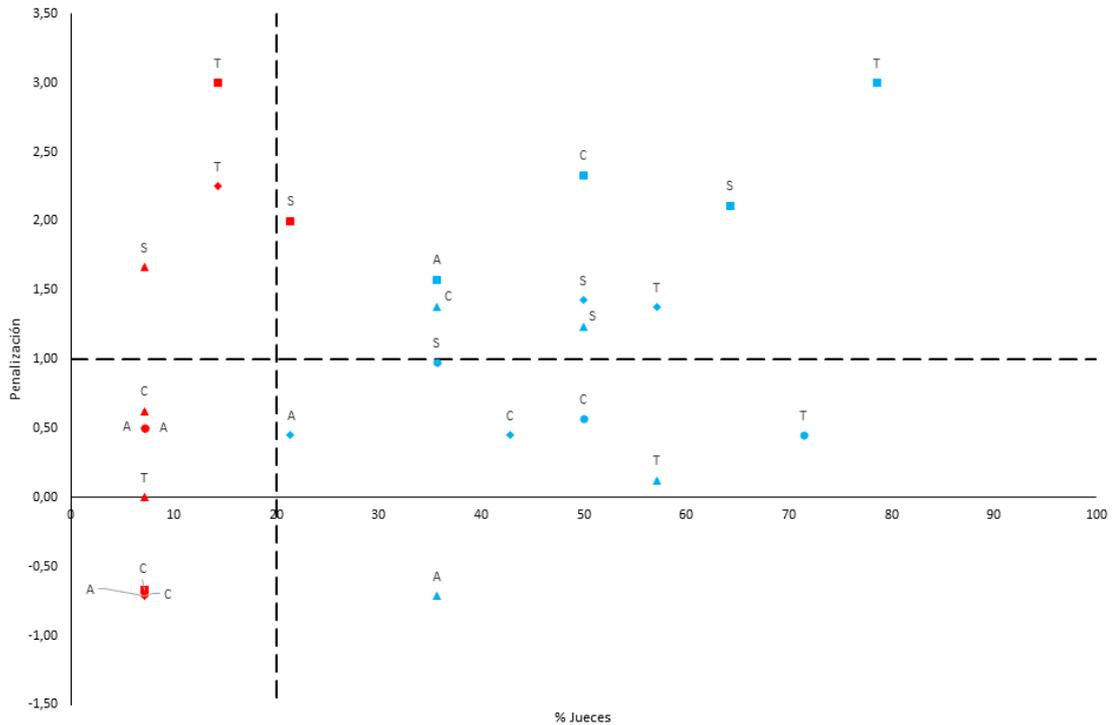


Figura 15. Resultados del análisis sensorial con la escala JAR de las patatas fritas con aceite de oliva y moringa.

En la Figura 16 se muestra el gráfico de penalizaciones de las patatas fritas con aceite de oliva y moringa elaborado siguiendo el procedimiento descrito por (Fernández Segovia et al., 2023) en el que se relaciona la aceptación global con el porcentaje de catadores que han considerado que la intensidad de alguno de los atributos era demasiado alta o baja. En coherencia con los resultados anteriores, se ha penalizado la baja intensidad de todos los atributos en la patata MC1. En el caso de la MC3 solo se ha penalizado la baja intensidad del color y del sabor. Las patatas fritas con aceite de oliva no registraron penalizaciones cuando se obtuvieron con el primer ciclo de fritura, mientras que al aumentar los ciclos se penalizó el sabor y la textura por ser demasiado bajos.



**Figura 16.** Gráfico de penalizaciones de las patatas fritas con aceite de oliva y moringa (Círculo: OC2, Cuadrado: MC1, Rombo: OC3 y Triángulo: MC3) en el análisis sensoria en función de los atributos analizados (T: Textura, C: Color, S: Sabor y A: Aroma). Color rojo indica que la intensidad del atributo es demasiado alta y color azul demasiado baja.

## 5. Conclusiones

- El aceite de moringa y el de oliva son muy similares en cuanto a los parámetros de calidad analizados en este trabajo excepto en la acidez que fue mayor en el de moringa. En ambos casos, se cumple la normativa para su comercialización. Solo el índice de peróxidos aumentó con los ciclos de fritura, pero sin superar los niveles permitidos por la legislación.
- El aceite de moringa tiene una capacidad antioxidante y un contenido en fenoles totales menor que el aceite de oliva, independientemente de los ciclos de fritura.
- El color del aceite de moringa es más estable que el de oliva a medida que aumentan los ciclos de fritura.
- Las patatas fritas con aceite de moringa pierden menos masa que las fritas en aceite de oliva independientemente de los ciclos de fritura, sin registrarse en las medidas instrumentales cambios en el color o la textura de estas.
- A nivel sensorial, las patatas fritas con moringa tuvieron buena aceptación y el aumento en los ciclos de fritura potenció su sabor. No obstante, comparando con las patatas fritas en aceite de oliva se percibieron con un sabor y aroma menos intensos.

Como conclusión final, el aceite de moringa es apto para el consumo humano y podría ser un buen sustitutivo del aceite de oliva ya que presenta características similares a este.

## 6. Referencias

- Abdelkader, A., Kastali, M., Mouhir, L., Chatoui, M., Haddaji, C., Khattabi, S., Madinzi, A., Souabi, S., & Anouzla, A. (2022). Study of the Pollution Generated by Wastewater from the Refining of Vegetable Oils. In *International Journal of Membrane Science and Technology, Special Issue*. <https://orcid.org/0000-0002-6630-7342>;
- Abdulkarim, S. M., Long, K., Lai, O. M., Muhammad, S. K. S., & Ghazali, H. M. (2007). Frying quality and stability of high-oleic Moringa oleifera seed oil in comparison with other vegetable oils. *Food Chemistry*, *105*(4), 1382–1389. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.013>
- Adegbe, A. A., Larayetan, R. A., & Omojuwa, T. J. (2016). Proximate Analysis, Physicochemical Properties and Chemical Constituents Characterization of Moringa Oleifera (Moringaceae) Seed Oil Using GC-MS Analysis. *American Journal of Chemistry*, *6*(2), 23–28. <https://doi.org/10.5923/j.chemistry.20160602.01>
- AEMET. (2023). *INFORME CLIMÁTICO DEL AÑO 2023*.
- Aly, A. A., Maraei, R. W., & Ali, H. G. M. (2016). Fatty Acids Profile and Chemical Composition of Egyptian Moringa oleifera Seed Oils. *JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society*, *93*(3), 397–404. <https://doi.org/10.1007/s11746-015-2781-6>
- Athikomkulchai, S., Tunit, P., Tadtong, S., Jantrawut, P., Sommano, S. R., & Chittasupho, C. (2021). Moringa oleifera seed oil formulation physical stability and chemical constituents for enhancing skin hydration and antioxidant activity. *Cosmetics*, *8*(1), 1–18. <https://doi.org/10.3390/COSMETICS8010002>
- Aziz, H., Ahmad, A., Zahra, A., Ali, H. U., Qaisrani, T. B., Razzaq, W., Batool, M., Samee, A., Waqar, M., & Bilal, M. (2023). Evaluating the potential of moringa oleifera seed in drinking water. *Jammu Kashmir J. Agri*, 3–5. <https://doi.org/10.56810/jkjagri.003.02.0062>
- Baig, A., Zubair, M., Sumrara, S. H., Nazar, M. F., Zafar, M. N., Jabeen, K., Hassan, M. B., & Rashid, U. (2022). Heating effect on quality characteristics of mixed canola cooking oils. *BMC Chemistry*, *16*(1). <https://doi.org/10.1186/s13065-022-00796-z>
- Climate at a Glance*. (2023). National Center for Environmental Information (NCEI). <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/climate-at-a-glance/global/time-series>
- Codex Alimentarius. (2021). *Norma para los aceites de oliva y aceites de orujos de oliva*.
- FAO. (2023). *Sanda for edible fats and oils not covered by individual standards*.
- FAOSTAT. (2024). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- Fernández Segovia, I., García Martínez, E., & Fuentes López, A. (2023). *Aplicación de las escalas de punto ideal o Just About Right (JAR)*.
- Gharsallah, K., Rezig, L., Msaada, K., Chalh, A., & Soltani, T. (2021). Chemical composition and profile characterization of moringa oleifera seed oil. *South African Journal of Botany*, *137*, 475–482. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2020.11.014>

- Godino, M. (2016). Moringa oleifera: árbol multiusos de interés forstal para el sur de la península ibérica. *Negocio Agroalimentario y Cooperativo*, 12.
- Iranloye, Y. M., Omololu, F. O., Olaniran, A. F., & Abioye, V. F. (2021). Assessment of potentials of Moringa oleifera seed oil in enhancing the frying quality of soybean oil. *Open Agriculture*, 6(1), 771–778. <https://doi.org/10.1515/opag-2021-0028>
- Khan, I., Ullah, H., Ullah, I., & Khan Bangash, F. (2007). Study of Physico-Chemical Properties of Silybum Marianum seed oil. *Journal of Chemical Society of Pakistan*. <https://www.researchgate.net/publication/281288514>
- Lalas, S., Gortzi, O., & Tsaknis, J. (2006). Frying stability of Moringa stenopetala seed oil. *Plant Foods for Human Nutrition*, 61(2), 99–108. <https://doi.org/10.1007/s11130-006-0022-8>
- Lindsey, R., Dahlman, L., & Blunden, J. (2024). Climate Change: Global Temperature. *NOAA Climate*, 18, 5. <http://www.climate.gov/media/15819>
- Meng, J. (2019). *Effects of oil types and beta-carote in repeated deep-fat frying of french fries*. University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Nanayakkara, T. M., Wijelath, W. A. G. E., & Marso, T. M. M. (2020). Deep-fat Frying of Vegetable Oils: Major Chemical Reactions and Effect of Natural Extracts on Oxidative Stability - A Review. *Sri Lankan Journal of Agriculture and Ecosystems*, 2(2), 81–102. <https://doi.org/10.4038/sljae.v2i2.40>
- Nunn, N., Qian, N., Clark, G., Deaton, A., Essaji, A., Foster, A., Galor, O., Goldin, C., Katz, L., Keller, W., Mokyr, J., Rosenthal, J.-L., Rubinstein, Y., Shleifer, A., Temin, P., & Weil, D. (2009). *The Potato's Contribution to Population and Urbanization: Evidence from an Historical Experiment*. <http://www.nber.org/papers/w15157>
- Olson, M. E. (2002). Combining Data from DNA Sequences and Morphology for a Phylogeny of Moringaceae (Brassicales). In *Systematic Botany* (Vol. 27, Issue 1).
- Ramírez-Anaya, J. del P., Castañeda-Saucedo, M. C., Olalla-Herrera, M., Villalón-Mir, M., de la Serrana, H. L. G., & Samaniego-Sánchez, C. (2019). Changes in the antioxidant properties of extra virgin olive oil after cooking typical mediterranean vegetables. *Antioxidants*, 8(8). <https://doi.org/10.3390/antiox8080246>
- Saa, R. W., Fombang, E. N., Ndjantou, E. B., & Njintang, N. Y. (2019). Treatments and uses of Moringa oleifera seeds in human nutrition: A review. *Food Science and Nutrition*, 7(6), 1911–1919. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1057>
- Saguy, I. S., & Dana, D. (2003). Integrated approach to deep fat frying: Engineering, nutrition, health and consumer aspects. *Journal of Food Engineering*, 56(2–3), 143–152. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00243-1](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00243-1)
- Sangavi, G., Jayapriya, J., & Devi, G. N. (2022). A kinetic study on the effect of short-term frying cycles on the properties of cold-pressed peanut oil. *Bulgarian Chemical Communications*, 54(2), 6. <https://doi.org/10.34049/bcc.54.2.5470>
- Santos, C. S. P., Cruz, R., Cunha, S. C., & Casal, S. (2013). Effect of cooking on olive oil quality attributes. In *Food Research International* (Vol. 54, Issue 2, pp. 2016–2024). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.04.014>

- Segovia, F., Martínez, G., & López, F. (2018). *Aplicación de las escalas de punto ideal o Just-About-Right (JAR) en análisis sensorial de alimentos.*
- Singh, J., & Kaur, L. (2017). Advances in Potato Chemistry and Technology. In *Academic Press* (Vol. 4, Issue 1).
- Stepanov, A. (2022). *The importance of Ukraine and the Russian Federation for global agricultural markets and the risks associated with the war in Ukraine.*
- Tsakanis, J., & Lalas, S. (2002). Stability during frying of Moringa oleifera seed oil variety "Periyakulam 1." *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(1), 79–101.  
<https://doi.org/10.1006/jfca.2001.1043>
- Turan, S., Gunal Köroglu, D., Kiralan, M., & Fawzy Ramadan Hassanien, M. (2019). Enhancement of sunflower oil stability during deep-frying using extracts from olive oil by-products and soy lecithin. In *Article in International Food Research Journal*.  
<http://www.ifrj.upm.edu.my>
- Urquillas, N. (2017). *Moringa y su uso culinario* (p. 42). Universidad de lo hemisferios.
- Velasco, J. D. D. C. (2021). External variables influencing the oxidative stability of olive oils. *European Journal of Lipid Science and Tecnology*, 661–676.
- Wang, Y., Wu, X., McClements, D. J., Chen, L., Miao, M., & Jin, Z. (2021). Effect of new frying technology on starchy food quality. *Foods*, 10(8).  
<https://doi.org/10.3390/foods10081852>

## 7. Anexos

Anexo I. al Trabajo de Fin de Master en Agronomía

**Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible a la agenda 2030**

<i>Objetivos de Desarrollo Sostenible</i>	<b>Alto</b>	<b>Medio</b>	<b>Bajo</b>	<b>No Procede</b>
ODS 1. <b>Fin de la pobreza.</b>				X
ODS 2. <b>Hambre cero.</b>	X			
ODS 3. <b>Salud y bienestar.</b>				X
ODS 4. <b>Educación de calidad.</b>				X
ODS 5. <b>Igualdad de género.</b>				X
ODS 6. <b>Agua limpia y saneamiento.</b>				X
ODS 7. <b>Energía asequible y no contaminante.</b>				X
ODS 8. <b>Trabajo decente y crecimiento económico.</b>				X
ODS 9. <b>Industria, innovación e infraestructuras.</b>				X
ODS 10. <b>Reducción de las desigualdades.</b>				X
ODS 11. <b>Ciudades y comunidades sostenibles.</b>				X
ODS 12. <b>Producción y consumo responsables.</b>		X		
ODS 13. <b>Acción por el clima.</b>	X			
ODS 14. <b>Vida submarina.</b>				X
ODS 15. <b>Vida de ecosistemas terrestres.</b>				X
ODS 16. <b>Paz, justicia e instituciones sólidas.</b>				X
ODS 17. <b>Alianzas para lograr objetivos.</b>				X

B. Describir brevemente la alineación del TFM con los ODS, marcados en la tabla anterior, con un grado alto.

\*\*\*Sea conciso, pero utilice el número de páginas necesarias.

El estudio está alineado con un alto grado con los ODS 2 y 13. Dadas las características de la producción de moringa, el fomento de este cultivo y el aprovechamiento de sus semillas en zonas afectadas por el cambio climático asociado al aumento de temperaturas ya la escasez hídrica (ODS13), podría suponer una alternativa al aceite de oliva, contribuyendo así al ODS2.

## Anexo II. Cuestionario para el análisis sensorial con la Plataforma SensesBit.

¿Da su consentimiento para utilizar los resultados de esta encuesta en e...

<https://sensesbit.com/imprimirEncuesta/12549> ¿Da su consentimiento para utilizar los resultados de esta encuesta en e...

<https://sensesbit.com/imprimirEncuesta/12549>

¿Da su consentimiento para utilizar los resultados de esta encuesta en el TFM de Tomás Sesé para optar al Título Máster Universitario en Agronomía? Los resultados se presentarán forma anónima:

Sí

No

Edad:

Entre 18 y 29 años

Entre 30-39

Entre 40-49

Entre 50-59

Mayor de 60

Valore las características de las muestras:

Muestra:

Siendo 1=No me gusta nada y 9=Me gusta mucho

Aspecto  1  2  3  4  5  6  7  8  9

Aroma  1  2  3  4  5  6  7  8  9

Más intenso

Esta bien así

Menos intenso

Color  1  2  3  4  5  6  7  8  9

Más intenso

Esta bien así

Menos intenso

Siendo 1=No me gusta nada y 9=Me gusta mucho

Textura  1  2  3  4  5  6  7  8  9

Más dura	
Esta bien así	
Más blanda	
Sabor	1 2 3 4 5 6 7 8 9
Más intenso	
Esta bien así	
Menos intenso	
Aceptación general	1 2 3 4 5 6 7 8 9
Definitivamente lo compraría	
Probablemente lo compraría	
Tal vez lo compraría	
Probablemente no lo compraría	
Definitivamente no lo compraría	

Muestra: 298

Siendo 1=No me gusta nada y 9=Me gusta mucho

Aspecto	1 2 3 4 5 6 7 8 9
Aroma	1 2 3 4 5 6 7 8 9
Más intenso	
Esta bien así	
Menos intenso	
Color	1 2 3 4 5 6 7 8 9
Más intenso	
Esta bien así	
Menos intenso	
Siendo 1=No me gusta nada y 9=Me gusta mucho	
Textura	1 2 3 4 5 6 7 8 9

Más dura

---

Esta bien así

---

Más blanda

Sabor  1  2  3  4  5  6  7  8  9

---

Más intenso

---

Esta bien así

---

Menos intenso

Aceptación general  1  2  3  4  5  6  7  8  9

---

Definitivamente lo compraría

---

Probablemente lo compraría

---

Tal vez lo compraría

---

Probablemente no lo compraría

---

Definitivamente no lo compraría

Muestra:

Siendo 1=No me gusta nada y 9=Me gusta mucho

Aspecto  1  2  3  4  5  6  7  8  9

Aroma  1  2  3  4  5  6  7  8  9

---

Más intenso

---

Esta bien así

---

Menos intenso

Color  1  2  3  4  5  6  7  8  9

---

Más intenso

---

Esta bien así

---

Menos intenso

Siendo 1=No me gusta nada y 9=Me gusta mucho

Textura  1  2  3  4  5  6  7  8  9

Más dura

---

Esta bien así

---

Más blanda

---

Sabor  1  2  3  4  5  6  7  8  9

---

Más intenso

---

Esta bien así

---

Menos intenso

---

Aceptación general  1  2  3  4  5  6  7  8  9

---

Definitivamente lo compraría

---

Probablemente lo compraría

---

Tal vez lo compraría

---

Probablemente no lo compraría

---

Definitivamente no lo compraría

Muestra:  Siendo 1=No me gusta nada y 9=Me gusta mucho

Aspecto  1  2  3  4  5  6  7  8  9

---

Aroma  1  2  3  4  5  6  7  8  9

---

Más intenso

---

Esta bien así

---

Menos intenso

---

Color  1  2  3  4  5  6  7  8  9

---

Más intenso

---

Esta bien así

---

Menos intenso

---

Siendo 1=No me gusta nada y 9=Me gusta mucho

Textura  1  2  3  4  5  6  7  8  9

¿Da su consentimiento para utilizar los resultados de esta encuesta en e...

<https://sensesbit.com/imprimirEncuesta/12549>, ¿Da su consentimiento para utilizar los resultados de esta encuesta en e...

<https://sensesbit.com/imprimirEncuesta/12549>

Más dura

---

Esta bien así

---

Más blanda

Sabor  1  2  3  4  5  6  7  8  9

---

Más intenso

---

Esta bien así

---

Menos intenso

Aceptación general  1  2  3  4  5  6  7  8  9

---

Definitivamente lo compraría

---

Probablemente lo compraría

---

Tal vez lo compraría

---

Probablemente no lo compraría

---

Definitivamente no lo compraría

Ordene las muestras en función de su preferencia.

	253
	298
	369
	455