



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

APROVECHAMIENTO DE VAINAS DE MORINGA PARA  
ALIMENTACIÓN Y PROPUESTA DE UNA INSTALACIÓN  
DE REFRIGERACIÓN-CONGELACIÓN

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

AUTOR/A: Sesé Guillén, Tomás

Tutor/a: Castelló Gómez, María Luisa

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

Director/a Experimental: GARCIA MARES, FRANCISCO JOSE

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

# APROVECHAMIENTO DE VAINAS DE MORINGA PARA ALIMENTACIÓN Y PROPUESTA DE UNA INSTALACIÓN DE REFRIGERACIÓN-CONGELACIÓN

## Resumen

La *Moringa oleifera* es una planta originaria de la India que se adapta bien a climas cálidos, con un alto rendimiento y que con escasos requerimientos agronómicos. Entre las partes comestibles de esta planta se encuentran las vainas, que en estado vegetativo temprano se consumen habitualmente en algunas partes del mundo (India, Marruecos, etc...). Sin embargo, la producción y consumo de esta planta es escasa y estacional en Europa. Los tratamientos térmicos podrían contribuir a mejorar las propiedades organolépticas de las vainas de moringa y a alargar su almacenamiento y disponibilidad en el mercado. Por ello, el objetivo de este trabajo ha sido caracterizar la cinética de cocción de vainas en dos estados de madurez (tiernas y granadas) en términos de variación de masa, propiedades ópticas y mecánicas, así como en contenido proteico, capacidad antioxidante total y sobre el perfil fenólico. Además, se ha diseñado una instalación de refrigeración y congelación para favorecer su conservación. Los resultados obtenidos pusieron de manifiesto que las vainas tiernas aumentaron un 15% su masa durante la cocción, mientras que las granadas fueron perdiendo peso paulatinamente. La diferencia de color respecto a las vainas tiernas fue más acusada en las vainas granadas que presentaron menor pureza. La cocción no ablandó a las vainas tiernas, pero sí a las granadas durante los primeros 5 minutos de tratamiento. El contenido en proteína de las vainas de moringa fue de aproximadamente el 4% sin cambios significativos por la cocción. El tratamiento térmico tampoco afectó a la capacidad antioxidante total pero sí hubo un cambio en el perfil fenólico. Concretamente, en las vainas frescas se encontraron los ácidos ferúlico, trans-cinámico, p-cumárico y elálgico. Durante la cocción desaparecieron estos fenoles apareciendo otros, entre los que destacan la epicatequina, el quercetin 3-glucósido, especialmente en las vainas tiernas. El circuito de frío para la planta de producción de vainas congeladas presentó un elevado rendimiento energético (SCOP 12,67), utilizando como fluidos refrigerantes R290 para la zona de bajas temperaturas y R134a para la zona de altas temperaturas.

**Palabras claves:** moringa, vaina, proceso de cocción, instalación de frío

**Autor:** Tomás Sesé Guillén

Valencia, junio 2022

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

M<sup>a</sup> Dolores Ortolá Ortolá

**Director experimental:** Francisco José García Mares

# APROFITAMENT DE BAINES DE MORINGA PER ALIMENTACIÓ I PROPOSTA D'UNA INSTAL·LACIÓ DE REFRIGERACIÓ-CONGELACIÓ

## Resum

La *Moringa oleifera* és una planta originària de l'Índia que s'adapta bé a climes càlids, amb un alt rendiment i que amb escassos requeriments agronòmics. Entre les parts comestibles d'esta planta es troben les baines, que en estat vegetatiu primerenc es consumeixen habitualment en algunes parts del món (Índia, El Marroc, etc...) . No obstant això, la producció i consum d'esta planta és escassa i estacional a Europa. Els tractaments tèrmics podrien contribuir a millorar les propietats organolèptiques de les baines de moringa i a allargar el seu emmagatzemament i disponibilitat en el mercat. Per això, l'objectiu d'este treball ha sigut caracteritzar la cinètica de cocció de baines en dos estats de maduresa (tendres i granades) en termes de variació de massa, propietats òptiques i mecàniques, així com en contingut proteic, capacitat antioxidant total i sobre el perfil fenòlic. A més, s'ha dissenyat una instal·lació de refrigeració i congelació para afavorir la seua conservació. Els resultats obtinguts van posar de manifest que les baines tendres van augmentar un 15% la seua massa durant la cocció, mentre que les granades van ser perdent pes gradualment. La diferència de color respecte a les baines tendres va ser més acusada en les baines granades que van presentar menor pureza. La cocció no va ablanir a les baines tendres, però sí a les granades durant els primers 5 minuts de tractament. El contingut en proteïna de les baines de moringa va ser d'aproximadament el 4% sense canvis significatius per la cocció. El tractament tèrmic tampoc va afectar la capacitat antioxidant total però sí que va haver-hi un canvi en el perfil fenòlic. Concretament, en les baines fresques es van trobar els àcids ferúlic, transcinnàmic, p-cumàric i elàgic. Durant la cocció van desaparèixer estos fenols apareixent altres, entre els que destaquen l'epicatequina, el quercetin 3-glucósido, especialment en les baines tendres. El circuit de fred per a la planta de producció de baines congelades va presentar un elevat rendiment energètic (SCOP 12,67), utilitzant com a fluids refrigerants R290 per a la zona de baixes temperatures i R134a per a la zona d'altres temperatures.

**Paraules claus:** moringa, baina, procés de cocció, instal·lació de fred

**Autor:** Tomás Sesé Guillén

Valencia, junio 2022

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

M<sup>a</sup> Dolores Ortolá Ortolá

**Director experimental:** Francisco José García Mares

# USE OF MORINGA PODS FOR FOOD AND PROPOSAL OF A REFRIGERATION-FREEZING INSTALLATION

## Abstract

*Moringa oleifera* is a plant native to India that is well adapted to warm climates, with a high yield and low agronomic requirements. Pods are one of the edible parts of this plant, which in an early vegetative state are commonly consumed in some parts of the world (India, Morocco, etc...). However, production and consumption of this plant is scarce and seasonal in Europe. Heat treatments could contribute to improve the organoleptic properties of moringa pods and to extend their storage and availability on the market. Therefore, the aim of this work has been to characterise the cooking kinetics of pods at two stages of maturity (tender and mature) in terms of mass variation, optical and mechanical properties, as well as protein content, total antioxidant capacity and phenolic profile. In addition, a refrigeration and freezing installation has been designed to favour their preservation. The obtained results showed that the mass of the tender pods increased by 15% during cooking, while the mature pods gradually lost weight. The difference in colour, with regards to fresh pods, was higher in mature pods (with lower chrome) than in tender ones. Cooking did not soften the tender pods but did soften the mature pods during the first 5 minutes of treatment. The protein content of the moringa pods was approximately 4% with no significant change due to cooking. The heat treatment also did not affect the total antioxidant capacity but there was a change in the phenolic profile. Concretely, ferulic, trans-cinnamic, p-coumaric and ellagic acids were found in the fresh pods. During cooking, these phenols disappeared, and others appeared, including epicatechin, quercetin 3-glucoside, especially in the tender pods. The cooling circuit for the frozen pod production plant had a high energy efficiency (SCOP 12.67), using R290 for the low-temperature zone and R134a for the high-temperature zone as refrigerant fluids.

**Keywords:** moringa, pods, cooking process, cooling plant, cooling system.

**Autor:** Tomás Sesé Guillén

Valencia, junio 2022

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

M<sup>a</sup> Dolores Ortolá Ortolá

**Director experimental:** Francisco José García Mares

## Índice

1	INTRODUCCIÓN.....	7
1.1	<b>El cultivo de la <i>Moringa oleifera</i></b> .....	7
1.2	<b>Partes de interés de la moringa y sus propiedades</b> .....	10
1.3	<b>Usos y tratamientos térmicos de la vaina de moringa</b> .....	13
1.4	<b>Conservación de vainas</b> .....	15
2	OBJETIVOS .....	17
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
3.1	<b>Materias primas</b> .....	18
3.2	<b>Cocción de las vainas</b> .....	18
3.3	<b>Determinaciones analíticas</b> .....	18
3.3.1	Variación de masa.....	18
3.3.2	Humedad.....	18
3.3.3	Propiedades ópticas.....	18
3.3.4	Propiedades mecánicas .....	19
3.3.5	Capacidad antioxidante .....	19
3.3.6	Proteínas.....	19
3.3.7	Fenoles.....	19
3.3.8	Calorimetría Diferencial de Barrido.....	20
3.3.9	Diseño de la planta y del circuito de refrigeración-congelación .....	20
3.3.10	Análisis estadístico .....	20
4	RESULTADOS.....	21
4.1	<b>Cinética de cocción</b> .....	21
4.2	<b>Propiedades ópticas</b> .....	21
4.3	<b>Propiedades mecánicas</b> .....	23
4.4	<b>Contenido proteico</b> .....	23
4.5	<b>Capacidad antioxidante total y fenoles</b> .....	24
4.6	<b>Diseño de una planta de congelación de vainas de moringa</b> .....	28
5	CONCLUSIONES.....	37
6	REFERENCIAS.....	38
7	ANEXO.....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diferentes especies de la Moringa (A-Moringa oleifera; B-Moringa stenopetala; C-Moringa ovalifolia) (Foild et al., 2001; iNaturlistEc, 2022; Trees for the Future, 2011) .....	7
<b>Figura 2.</b> Principales zonas de cultivo de Moringa (Rondón et al., 2017). .....	8
<b>Figura 3.</b> Zonas de cultivo de moringa en España (Godino, 2016). .....	9
<b>Figura 4.</b> Árbol de moringa (Rodríguez, 2020). .....	9
<b>Figura 5.</b> A- Flor de Moringa (Fuente: Propia UPV), B- Hojas de Moringa (Price, 1985) C- Vina tierna (Jeringa, 2019),D- Vaina granada (Fuente: Propia UPV) , E- Semilla de Moringa (Becerra, 2019), F-Raíz de moringa (Casanova-Lugo et al., 2018),G- Corteza de Moringa (Cuenca, 2021). .....	12
<b>Figura 6.</b> Guiso indio de vaina de moringa (Weisseborn, 2015). .....	13
<b>Figura 7.</b> Fracción másica de agua ( $x_w$ : g agua/g vaina) y de solutos ( $x_s$ : g solutos/g vaina) (A) y variación de masa total (B) en las vainas a diferentes tiempos de cocción. ....	21
<b>Figura 8.</b> Variación de las coordenadas $a^*$ y $b^*$ de las vainas de moringa en función del tiempo de cocción.....	22
<b>Figura 9.</b> Luminosidad ( $L^*$ ) y diferencia de color ( $\Delta E$ ) de las vainas a lo largo del tiempo de cocción. ....	22
<b>Figura 10.</b> Fuerza máxima y área aplicadas en el ensayo de punción de vainas granada y tierna a lo largo del tiempo de cocción.....	23
<b>Figura 11.</b> % de proteína en vaina tierna y granada a lo largo de la cocción. ....	24
<b>Figura 12.</b> Capacidad antioxidante expresada en miliequivalentes de TROLOX por gramo de vaina.....	24
<b>Figura 13.</b> Fenoles presentes en las vainas y su evolución con la cocción. ....	27
<b>Figura 14.</b> Ubicación de la parcela .....	28
<b>Figura 15.</b> Diagrama de flujo del proceso.....	29
<b>Figura 16.</b> Plano distribución de salas. ....	30
<b>Figura 17.</b> Ejemplo de termograma y localización de la $T_g$ .....	32
<b>Figura 18.</b> Circuito de refrigeración-congelación de la planta vainas.....	34
<b>Figura 19.</b> Diagrama presión-entalpía del refrigerante R134a. ....	42
<b>Figura 20.</b> Diagrama presión-entalpía del refrigerante R290. ....	42

## ÍNDICE DE TABLAS

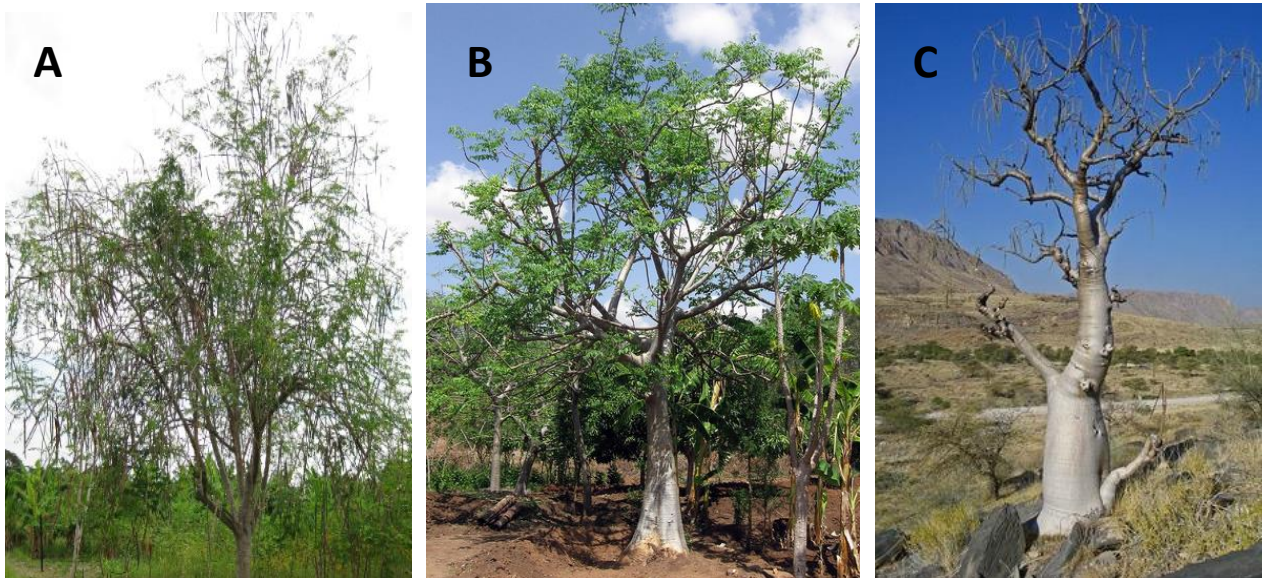
<b>Tabla 1.</b> Comparación del contenido de ácidos grasos del aceite de moringa respecto al de oliva (Fernández, 2018; Moreiras et al., 2015).....	10
<b>Tabla 2.</b> Comparación del contenido nutricional de hojas de moringa con hojas de espinaca (Domínguez & Torres, 2016; Moreiras et al., 2015).....	11
<b>Tabla 3.</b> Comparación del contenido nutricional de las vainas de moringa (Domínguez & Torres, 2016; Moreiras et al., 2015) .....	12
<b>Tabla 4.</b> Comparación nutricional de las vainas de moringa crudas y cocidas con diferentes alimentos crudos y cocidos.....	15
<b>Tabla 5.</b> Cargas térmicas del almacén de materia prima. ....	31
<b>Tabla 6.</b> Cargas térmicas de la sala IQF.....	31
<b>Tabla 7.</b> Cargas térmicas en el IQF. ....	32
<b>Tabla 8.</b> Cargas térmicas en el almacén de producto terminado.....	33
<b>Tabla 9.</b> Caudales de refrigerantes .....	34
<b>Tabla 10.</b> Potencia útil de los compresores .....	35
<b>Tabla 11.</b> COP y SCOP de la instalación.....	35
<b>Tabla 12.</b> Modelos y especificaciones de los evaporadores y condensador.....	36
<b>Tabla 13.</b> Modelo y especificaciones de los compresores. ....	36
<b>Tabla 14.</b> Tabla de temperatura, presión y entalpías de cada punto del circuito. ....	43

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 El cultivo de la *Moringa oleifera*

Esta planta pertenece a la familia *Moringaceae*, un grupo pequeño de plantas dentro de la gran orden *Brassicales*, que incluye familias como las de la col (*Brassica oleracea*), rábano (*Raphanus sativus*) y alcaparras (*Capparis spinosa*) (Mark, 2009). La familia más emparentada es la de la papaya, con la que comparte varias características como la presencia de glándulas en el ápice del peciolo (Olson, 2002).

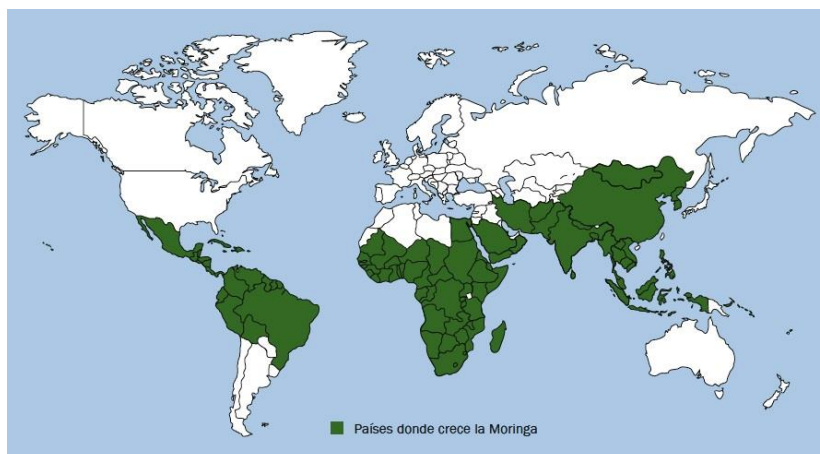
La familia *Moringaceae* solo comprende el género *Moringa*. Dentro de este hay tres especies (*Moringa oleifera*, *Moringa stenopetala* siendo originaria de África y *Moringa ovalifolia* originario de zonas más secas como Namibia o Angola), abarcando una gama muy diversa de hábitos de crecimiento, desde hierbas y arbustos hasta árboles de gran tamaño. Si bien varían mucho en su forma, es muy fácil reconocer un miembro de *Moringa* frente a cualquier otra planta.



**Figura 1.** Diferentes especies de la *Moringa* (A-*Moringa oleifera*; B-*Moringa stenopetala*; C-*Moringa ovalifolia*) (Foild et al., 2001; iNaturalistEc, 2022; Trees for the Future, 2011)

La planta de moringa es un árbol originario del sur del Himalaya, noreste de la India, Afganistán, Pakistán y Bangladesh, siendo la especie más conocida la *Moringa oleifera*, conociéndose a su vez, con distintos nombres a lo largo del territorio donde es cultivada como sándalo cerúleo (Italia), moringüera (Portugal), cedra (Brasil), marango (Costa Rica), marengo (Nicaragua), malunkai (Filipinas), entre otros. En la Figura 1, se puede observar los países principales donde se cultiva la moringa que son de climas cálidos y poco lluviosos (Holguín et al., 2018).



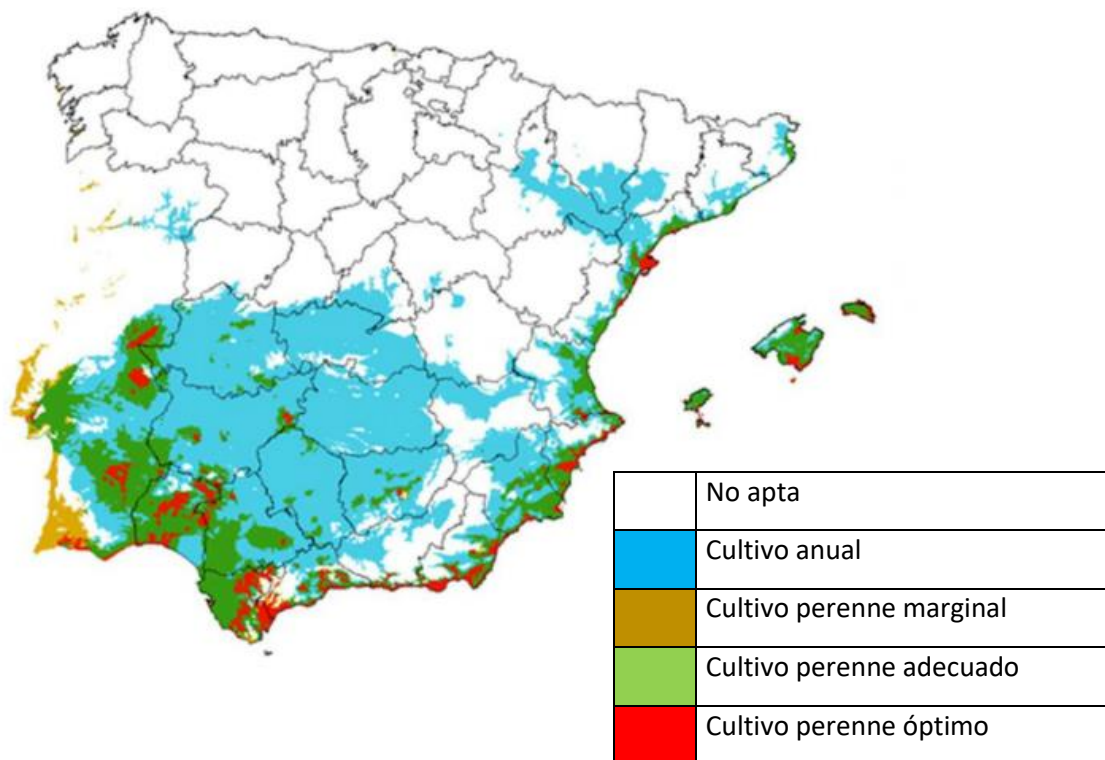


**Figura 2.** Principales zonas de cultivo de Moringa (Rondón et al., 2017).

Es un árbol del que se puede utilizar todo, desde las hojas y flores hasta los frutos y raíces, con diferentes finalidades: alimentación humana como animal, medicinal, ornamentales, de protección para otros cultivos, depuración de aguas, obtención de aceites, como fertilizantes, fuente de hormonas, melífera o producción de biomasa.

Su cultivo se puede realizar mediante siembra botánica, donde se colocan las semillas de la planta en torno a 2 cm de profundidad (sobre suelo directo ya que en sus primeras fases de desarrollo es un árbol frágil y no sobreviviría al trasplante). Tiene una tasa de germinación muy buena salvo que la semilla tenga más de dos años. Otra alternativa de cultivo es realizar estacas o esquejes con una distancia de siembra distinta dependiendo del objetivo. Así, si se cultiva para forraje, la distancia entre surcos será de 1 metro y un mínimo de 0,4 metros entre planta y, si se cultiva para distintos usos alimentarios humanos, medicinales u otros, es recomendable sembrar con más distancia entre plantas (1 metro) y realizar podas para conseguir el tamaño de arbustos adecuado y resistentes para facilitar su cosecha (Montesinos, 2010). Destaca por tener una madera blanda y poco resistente. Por ello, si no es podado con cierta frecuencia es sensible a los vientos fuertes, que provocan la caída de las hojas y flores o en su defecto, la desecación de estas. Incluso, si los vientos fuertes son constantes a lo largo del tiempo podrían causar la muerte del árbol. Además, es resistente a la sequía, pero si la escasez de agua es muy pronunciada las hojas se secan y se requerirá de riego adicional.

Desde hace unos años, en España hay un interés creciente en la moringa ya que las condiciones climáticas de varias zonas del país, sobre todo el este y el sur de la península junto con las Islas Baleares, son propicias para su cultivo anual, o perenne (Godino, 2016) como se puede ver en la Figura 2. No obstante, su producción se reduce a los meses de julio-septiembre a diferencia de lo que sucede en las regiones donde es oriunda, donde su producción es anual, debido al clima.



**Figura 3.** Zonas de cultivo de moringa en España (Godino, 2016).

Se trata, en general, de un árbol perenne relativamente longevo, que puede vivir alrededor de 20 años. Es una especie de crecimiento muy rápido, que aporta una gran cantidad de nutrientes al suelo, además de protegerlo tanto de la erosión como de la desecación y las temperaturas elevadas (Pérez et al., 2010). Puede llegar a medir entorno a los 7-12 metros de envergadura, con una copa abierta tipo paraguas. Es de fuste recto y puede tener entre 20 y 40 cm de diámetro (Tobias, 2010).



**Figura 4.** Árbol de moringa (Rodríguez, 2020).

El consumo excesivo de cualquiera parte de la moringa puede tener varios efectos secundarios negativos para el organismo como el incremento excesivo de glóbulos rojos, la reducción del nivel de azúcar en sangre, efecto laxante, insomnio, acidez gástrica, posibles alergias a personas que acaben de empezar a consumirla. Por ello, se han estimado las siguientes recomendaciones máximas de consumo de polvo de hoja de moringa deshidratada de 5 gramos diarios por persona, pudiéndose consumir en los diferentes formatos en los que esta se presenta (pastillas, en polvo, en mezclas de harina) (Beatriz et al., 2016).

## 1.2 Partes de interés de la moringa y sus propiedades

Las **semillas** de moringa tienen forma redonda, con un color castaño oscuro y con tres alas blanquecinas, así como una fina membrana alrededor de esta (Figura 5). El número de semillas por fruto es variable pero anualmente un árbol puede producir entre 15000 y 25000 semillas (Tobias, 2010) calidad y, como subproducto, la torta. El rendimiento de extracción de aceite de calidad en la semilla es de aproximadamente un 30-40%, apto para el consumo humano, cosmética y como función de lubricante. En la Tabla 1, se muestra la comparación del contenido de ácidos grasos en función de su grado de saturación del aceite de moringa con el aceite de oliva, destacando su elevado contenido en monoinsaturados, de forma similar al de oliva. La torta que queda tras el proceso de extracción de aceite tiene muchos usos. Por un lado, es de interés como alimento forrajero, por su elevado contenido de proteína (casi 60%) y no contiene elementos tóxicos. Por otro lado, se puede destinar al abonado de campos por su alta concentración en nitrógeno. Además, es un buen floculante, pudiendo reemplazar a los utilizados actualmente en las depuradoras, teniendo la ventaja de no aportar ningún tipo de residuo metálico (Godino, 2016)

**Tabla 1.** Comparación del contenido de ácidos grasos del aceite de moringa respecto al de oliva (Fernández, 2018; Moreiras et al., 2015).

Acido grasos (%)	Moringa	Aceite de oliva
Ácidos grasos saturados	19,48	16,6
Ácidos grasos monoinsaturados	79,67	70,99
Ácidos grasos poliinsaturados	0,87	10,49

En lo referente a la **raíz** de la moringa, es tuberosa profunda, gruesa y carnosa (semejante a una zanahoria) con un sabor parecido al cacahuete, pero también con similitudes al rábano (Figura 5), tanto en aroma como en métodos de preparación. Tiene multitud de usos, desde la preparación de condimentos picantes, hasta diferentes tratamientos contra el lumbago, gota, asma, problemas hepáticos, inflamaciones o cálculos renales. También, hay diferentes estudios que relacionan esta raíz con propiedades diuréticas y antiinflamatorias (Canett-Romero et al., 2014) y, el caldo de su cocción se utiliza contra la viruela (Urquillas, 2017).

Al igual que las flores y las hojas, tiene propiedades bactericidas, depurativas, estrógenas, purgantes, estimulantes, tónicas, vermífugas y abortivas, pero esta última en casos de sobreconsumo (Urquillas, 2017).

La **corteza** es gruesa, blanquecina y de aspecto corchoso (Figura 5), con utilidades como tratamiento medicinal, empleándose como antídoto contra picaduras de insectos y veneno de serpientes, y también para la elaboración de jabones a partir de sus cenizas (Uquillas, 2017).

Las **hojas** son compuestas y están dispuestas en grupos de folíolos con 5 pares acomodados sobre un peciolo principal y un folíolo en la parte terminal (Figura 5). En estos folíolos encontramos láminas foliares de forma ovalada organizadas frontalmente entre ellas en grupos de 5 o 6, siendo estas alternas tripinadas con una longitud de total de entre 30-70 cm (Foidl et al., 2003). Estas hojas son muy utilizadas en alimentación, tanto humana como animal, gracias a sus propiedades nutricionales y medicinales y, a su gran rendimiento si se realizan los trabajos necesarios durante su desarrollo y cosecha. En la Tabla 2, se indican la concentración de componentes de interés en las hojas, así como su comparación con los contenidos de estos en otros alimentos, destacando el elevado contenido en vitamina C de las hojas de moringa.

**Tabla 2.** Comparación del contenido nutricional de hojas de moringa con hojas de espinaca (Domínguez & Torres, 2016; Moreiras et al., 2015)

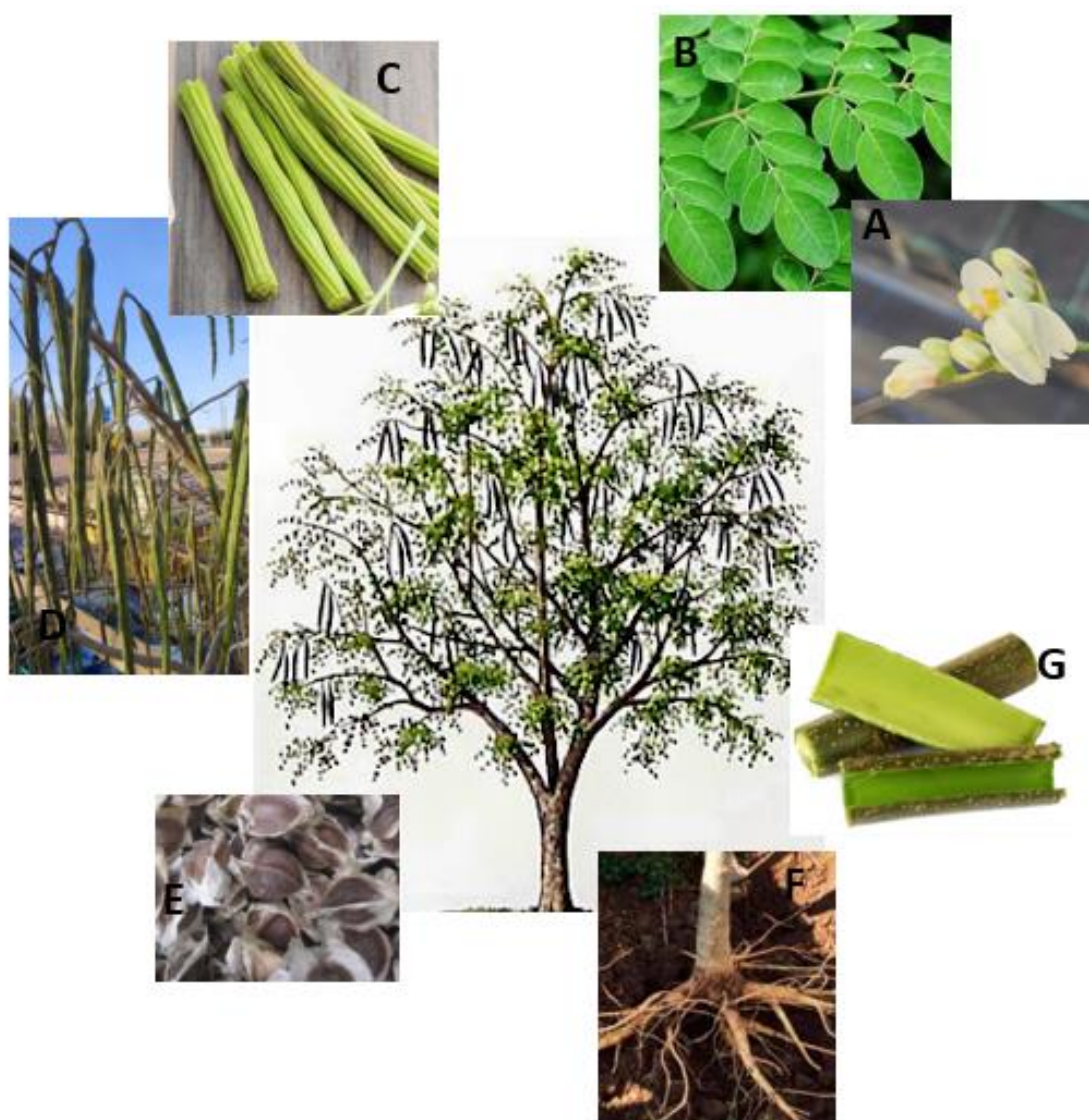
Nutrientes	Moringa	Espinaca
Vitamina C (mg/100 g)	109,3	30
Calcio (mg/100 g)	22,32	90
Potasio (mg/100 g)	11,84	423
Proteína (%)	5,52	2,6

Las **flores** son bisexuales, de pétalos blancos y estambres amarillos, que en algunas regiones florece solo una vez al año, pero puede hacerlo hasta dos veces al año, siendo este el caso de países del Caribe como Cuba. La comisión técnica de Fitomed (2010) informa que estas flores están agrupadas en panículas axilares (cinco pétalos desiguales) como se puede ver en la Figura 5 (Pérez et al., 2010).

El **fruto** de la moringa se presenta en forma de **vainas**, siendo capsular, lineal, pendular, llegando a medir hasta 40 cm de largo y alrededor de 2 cm de ancho (Figura 5). Suelen contener entre 10 y 12 semillas por fruto. En India se han estimado que la producción de vainas es de 19 kg/árbol/año y, variedades seleccionadas en Hawái permiten obtener entre 3 y 8 veces más producción (Godino, 2016). Las vainas son de color verde intenso más oscuro cuando están en un estadio menos desarrollado y de un color verde más suave cuando están más maduras. Una vez el fruto se encuentra en su estado de madurez, presenta irregularidades como consecuencia del engrosamiento de las semillas. De nuevo, comparando las vainas de moringa con un vegetal similar, como las judías verdes (Tabla 3), es relevante su contenido proteico.

**Tabla 3.** Comparación del contenido nutricional de las vainas de moringa (Dominguez & Torres, 2016; Moreiras et al., 2015)

Nutrientes	Moringa	Judía verde
Vitamina C (mg/100 g)	0,1	23,4
Calcio (mg/100 g)	2,1	42
Potasio (mg/100 g)	12,8	260
Proteína (%)	7,1	1,9



**Figura 5.** A- Flor de Moringa (Fuente: Propia UPV), B- Hojas de Moringa (Price, 1985) C- Vaina tierna (Jeringa, 2019), D- Vaina granada (Fuente: Propia UPV), E- Semilla de Moringa (Becerra, 2019), F- Raíz de moringa (Casanova-Lugo et al., 2018), G- Corteza de Moringa (Cuenca, 2021).

### 1.3 Usos y tratamientos térmicos de la vaina de moringa

La vaina de Moringa es muy versátil en cuanto a sus utilidades, ya que la se puede encontrar tanto en la industria alimenticia, medicinal, cosmética o agropecuaria, entre otras. A continuación, se describen algunos de sus principales usos.

- Alimentación humana: Dado su elevado contenido en aminoácidos, proteínas y, su bajo nivel de compuestos antinutricionales (Tobias, 2010). Su sabor es similar al del espárrago y su forma de consumo (principalmente en la India) es en guisos o hervidas de forma similar a las judías verdes (Foild et al., 2001) (Figura 6). Además, también es utilizada la harina obtenida tras el secado de las vainas para la elaboración de galletas y tortas (Moreno et al., 2021).



*Figura 6. Guiso indio de vaina de moringa (Weisseborn, 2015).*

Desde hace varios años existen muchos planes para potenciar el consumo de las vainas en zonas de África, donde el alimento escasea. En estas regiones, las elevadas temperaturas favorecen el desarrollo de la moringa. Como se ha comentado anteriormente, muchas partes de esta planta tienen un elevado poder nutritivo que puede aportar beneficios alimentarios para el crecimiento de los niños, así como, para la estimulación de la producción de leche en mujeres que han dado a luz (Price, 1985). En el caso concreto de las vainas, su capacidad para saciar es mayor que la de las hojas y, en consecuencia, pueden cubrir con más éxito estas necesidades. Por esta razón, las vainas de moringa podrían ser excelentes candidatas como alternativas a la proteína animal.

- Alimentación animal: Utilizada como complemento proteico (Holguín et al., 2018).
- Medicinal: Utilizando el agua de cocción de las vainas como tratamiento contra resfriados/gripes (Norma et al., 2008).

Una vez vistos los principales usos de las vainas, se describe a continuación la cocción, ya que es el tratamiento térmico habitual al que son sometidas previas a su consumo.

Se define la cocción como la operación que, mediante la aplicación de calor por conducción, convección o radiación, transforma el alimento física y químicamente en aspecto, textura, composición y valor nutricional con el fin de mejorar las características organolépticas del mismo y hacerlo más atractivo para los consumidores (Caracuel, 2006).

Los efectos que tiene la cocción de los alimentos sobre los valores nutricionales suponen la pérdida de algunos de estos, pero también tiene algunos beneficios. En lo referido a las modificaciones físicas, podemos observar que el color se ve alterado con respecto al original, y dependiendo del alimento en cuestión y, la técnica utilizada esta será mayor o menor y hacia un color u otro. En lo que respecta al aroma, se van produciendo pérdidas debido a la degradación térmica de determinados azúcares y aminoácidos o bien, ganancias por la liberación de aromas volátiles por acción de la temperatura. El sabor se ve modificado según la técnica utilizada, ya que ciertos compuestos solubles en el agua se mueven por la acción del calor bien hacia el exterior del alimento o hacia el interior. También entra en juego el medio graso utilizado en su cocción ya que, puede aportar sus propios sabores. El efecto más significativo es la variación de peso y volumen, que dependiendo del método y alimento puede suponer una ganancia de estos (hidratación o rehidratación) o bien una pérdida de agua por deshidratación superficial o de materia grasa por difusión (Astiasarán & Martínez, 2003).

Los cambios en la composición nutricional son consecuencia de las modificaciones químicas. Como ejemplo, la aplicación de calor provoca la desnaturalización de las proteínas, disminuyendo la funcionalidad proteica del alimento, lo que hace que el producto pierda interés si la proteína cumple una función específica en este. Los lípidos se degradan con el calor provocando la formación de compuestos desagradables y compuestos tóxicos o variando el valor nutritivo. Generalmente, los hidratos de carbono se consideran estables, pero se pueden producir pérdidas por solubilización en caso de cocción en medio acuoso, que vendrán definidas por sus factores de solubilización. Los elementos minerales son muy estables frente a la mayoría de los tratamientos, solo destacando las pérdidas producidas por solubilización en el agua empleada, y desde el punto de vista nutricional estas carecen de importancia para la mayoría de las personas. Por otra parte, las vitaminas son estructuras muy sensibles a la temperatura, pudiendo perderse por solubilización las vitaminas de los grupos C y B y, por la gran sensibilidad al calor, las vitaminas liposolubles de los grupos A, D, E y K (Astiasarán & Martínez, 2003).

A continuación, los tipos de cocción se pueden clasificar según el medio donde se realice:

- En medio no líquido: Son cocciones con calor seco, donde el alimento solo se calienta por su parte superficial con el contacto de este con una superficie caliente. Es la más usual en el ambiente doméstico. Sería lo que se conoce como un asado o plancha.
- En medios grasos: Sumergiendo total o parcialmente el alimento sobre el medio graso, es decir, fritura.
- En medios acuosos: Utilizando diferentes fluidos como medio de transferencia de calor, y que según el fluido tendremos mayor o menor facilidad para la transferencia de los compuestos hidrosolubles. Es lo que habitualmente se considera como la cocción por antonomasia.
- Mixtos: Utilizando un medio líquido junto con un medio graso.
- Cocciones especiales: En este tipo de cocciones encontramos la cocción al vacío, donde el alimento se coloca en un envase hermético y termorresistente y la cocción mediante microondas, donde la acción de ondas electromagnéticas de alta frecuencia calienta el alimento (Caracuel, 2006).

A pesar de ser un tratamiento térmico frecuente en la preparación de alimentos, no se han encontrado publicaciones científicas sobre el efecto de la cocción en el valor nutricional y los parámetros fisicoquímicos de las vainas de moringa. No obstante, se presentan los cambios descritos en un producto similar como son las judías verdes o espárragos.

**Tabla 4.** Comparación nutricional de las vainas de moringa crudas y cocidas con diferentes alimentos crudos y cocidos.

Producto	Vitamina (mg/100g)	C (%)	Proteína (%)	Potasio (mg/100g)	Calcio (mg/100g)	Referencia
Judía	16		2,1	243	56	(Peñas, 2007)
Judía cocida	10		1,8	240	40	(Peñas, 2007)
Espárrago	8		2,2	202	3,5	(Urbina, 2017)
Espárrago cocido	--		2,33	218	--	(FatSecret, 2021)

#### 1.4 Conservación de vainas

Todo alimento es perecedero con el tiempo por causas distintas, pero en general viene determinado por el ataque de diferentes tipos de microorganismos (hongos, levaduras, bacterias...), pudiendo venir provocado también por factores físicos como la radiación, compresión y magulladuras....

Esto implica pérdidas económicas distintas tanto para fabricantes como consumidores dependiendo del tipo de alimento, calculándose que aproximadamente el 20% de los alimentos totales en el mundo se pierden por la acción de microorganismos.

Estos alimentos además pueden ser perjudiciales para la salud de los consumidores produciendo diferentes enfermedades que se pueden agravar dependiendo del tipo de bacteria que se encuentre en el alimento ingerido, así como del nivel de putrefacción de este.

Según su facilidad de descomposición podemos encontrar alimentos estables, semiperecederos o perecederos.

Los objetivos de la conservación es el retraso de esta descomposición ocasionada por insectos, microorganismos... así como la propia auto descomposición del alimento.

Desde los tiempos de la Prehistoria, el hombre ha utilizado las bajas temperaturas para la conservación de alimentos, manteniéndose esto en la actualidad, aunque con mecanismos mucho más avanzados.

Son distintos los métodos que se han utilizado a lo largo del tiempo para conseguir conservar los alimentos durante el máximo tiempo posible, desde la adición de sal para llevar a cabo un curado del alimento o su conservación en salmueras, la fermentación, la desecación del alimento por diferentes métodos o bien la utilización de bajas temperaturas, siendo este en el que nos vamos a centrar (Casanova-Lugo et al., 2018).

Cuando se habla de conservación por bajas temperaturas distinguimos dos tipos de conservación en relación con la temperatura que se utiliza para llevarla a cabo, los cuales se pueden utilizar para cualquier tipo de alimento desde frutas y verduras hasta carnes y pescados:

- Refrigeración: es el tratamiento de conservación más extendido tanto en el ámbito industrial como doméstico.



Su gran ventaja frente al resto de tratamientos de conservación que no utilizan estas bajas temperaturas es que no producen ningún tipo de modificación al alimento.

La utilidad de este proceso de conservación es retener las condiciones organolépticas y nutritivas en el mejor estado posible pero siempre durante periodos de tiempo relativamente cortos (días, semanas), ya que muchas bacterias y microorganismos siguen actuando con estas temperaturas y con el paso del tiempo este se descompondrá.

Las temperaturas utilizadas en este tipo de conservación van desde los 2 hasta los 8°C, dependiendo de las características del producto.

- Congelación: es uno de los métodos más adecuado para la conservación, sobre todo a largo plazo, ya que mantiene casi perfectamente las condiciones organolépticas y nutricionales iniciales del producto, ya que, aunque se utilicen temperaturas muy bajas, existen algunos enzimas que siguen operando a estas temperaturas, aunque de manera muy lenta.

Este se basa en que toda el agua presente en el alimento pase de estado líquido a estado sólido.

Algunos cambios que se pueden producir durante el proceso de congelación es la descomposición en carnes si no se realiza el proceso a la temperatura y tiempo que se debe que ya que no se congelará la totalidad del agua presente y dará pie a una descomposición mucho más rápida... Además, es muy importante el proceso de descongelado ya que si no se hace como se debe puede producir sabores u olores desagradables. Siempre ha de descongelarse en frigoríficos y descongelando las cantidades justas para el consumo (Gabriela & Gramajo, 2017).

En particular, la conservación que se utiliza para las vainas de moringa en estado tierno será la congelación en lecho fluido por aire.

Este tipo de congelación permite tener altas velocidades de congelación junto con altos coeficientes de transferencia de energía, permite mantener una alta calidad en el producto final, además de una continuidad en el proceso y la posibilidad de la automatización del proceso. Asimismo, también existen algunas desventajas como la necesidad de plantas de refrigeración de coste elevado, con altas velocidades y presiones lo que requiere de un gran consumo por parte de los ventiladores y una excesiva sensibilidad en los parámetros del proceso en cuanto al tamaño y masa del alimento con el que se trabaja, requiriendo esto de un control muy cuidadoso (Juan & Peralta, 2009).

## 2 OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo es evaluar la variación de las propiedades fisicoquímicas en vainas de *Moringa oleifera* en diferentes estadios de maduración (tiernas y maduras) según la cinética de cocción. Además, se diseñará una planta industrial para la elaboración de vainas congeladas. Para ello, se calcularán las necesidades de refrigeración/congelación y se planteará el circuito de frío industrial necesario.

Los objetivos específicos fueron los siguientes:

- Evaluación de la cinética de cocción de las vainas.
- Análisis de la variación del contenido de proteína, antioxidantes, fenoles, color y textura.
- Análisis de la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) y cantidad de agua no congelable
- Diseño de la planta industrial
- Cálculo de cargas térmicas
- Diseño del circuito de refrigeración/congelación
- Elección de equipos

## 3 MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Materias primas

Las experiencias se llevaron a cabo con vainas de moringa (*Moringa oleífera*). Estos frutos fueron recogidos en los propios campos de cultivo de la Universitat Politècnica de València, (Valencia, España) en la campaña de 2021-2022, entre los meses de noviembre a abril. De esta forma, se obtuvieron dos estados de maduración (tiernas y granadas).

### 3.2 Cocción de las vainas

Las vainas se sometieron a proceso de cocción en agua a 100°C durante 2, 5, 8, 10, 12, 16 y 20 minutos por triplicado.

### 3.3 Determinaciones analíticas

Todas las determinaciones analíticas se realizaron en las vainas frescas y a diferentes tiempos de cocción.

#### 3.3.1 Variación de masa

Las vainas se pesaron en balanza de analítica antes y después de la cocción por triplicado y la variación de masa se expresó en función de la masa inicial.

#### 3.3.2 Humedad

El contenido de agua de las vainas se obtuvo por triplicado mediante el método gravimétrico (García & Fernández, 2012), secando en una estufa (J.P SELECTA, modelo Conterm) a 60°C hasta alcanzar un peso constante.

#### 3.3.3 Propiedades ópticas

Para el análisis del color de las vainas de moringa, se utilizó un colorímetro de mesa ("Minolta" modelo CM-3600d) obteniéndose las coordenadas de color CIE L\*a\*b por sextuplicado, tomando como referencia el observador 10° e iluminador D65 (Talens, 2016). Además, se calculó el índice de color (IC) y las diferencias de color ( $\Delta E$ ) respecto a las vainas frescas tanto tierna y granada con las siguientes ecuaciones:

$$IC = \frac{1000 * a}{L * b}$$
$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 + (\Delta L^*)^2}$$

### 3.3.4 Propiedades mecánicas

Se llevó a cabo un test de compresión con una sonda de punción de 2 mm de diámetro utilizando una prensa universal (Texturómetro TA-XTplus Texture Analyse Aname), analizando la fuerza máxima y el área de la curva del ensayo. Las medidas se realizaron por cuadruplicado.

### 3.3.5 Capacidad antioxidante

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

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

Los resultados se analizaron por triplicado y se expresaron respecto a la capacidad antioxidante del Trolox realizando una recta de calibrado con este antioxidante.

### 3.3.6 Proteínas

El contenido de proteínas presente en la muestra se analizó por el método de Kjeldahl que determina la cantidad de nitrógeno, mediante una digestión, destilación y posterior valoración. Posteriormente, aplicando un factor de conversión se obtiene el porcentaje de proteína. En este caso, se consideró el valor de 5,71 para este factor que sería el recomendado para la soja y sus derivados, por ser un vegetal (García & Fernández, 2013). El análisis se realizó por triplicado.

### 3.3.7 Fenoles

La extracción de los fenoles se llevó a cabo en una disolución de metanol al 80%. Para ello, se mezcló 1 g de vaina con 10 mL de la disolución de metanol, centrifugando la mezcla durante 5 minutos a 1300 rpm. A continuación, las muestras se sumergieron en un baño de ultrasonidos por 10 minutos y el sobrenadante se filtró con una de jeringuilla PTFE con un tamaño de malla de 0,45  $\mu$ m.

Los fenoles presentes en la muestra se analizaron mediante un cromatógrafo HPLC (Alliance 2695) con detector de fotodiodo 2996 array detector (Waters, USA), separando los componentes mediante una Columna C18 (150 x 4.6 mm) de un tamaño de partícula 5  $\mu$ m de y se procesaron mediante el programa Agilent MassHunter. La fase móvil binaria estaba compuesta por una fase A (agua y ácido fórmico 95:5) y la fase B (acetonitrilo) (Escriche et al., 2014).

Para este análisis se tomó como referencia un patrón que contenía los siguientes fenoles: ácido gálico, catequin, ácido cafeico, rutín, ácido elágico, ácido p-cumárico, ácido ferúlico, quercitrin, apigenina 7-glucósido, ácido lutenólico, quercetin, ácido transcinámico, ácido naringénico, vainillina, ácido 4-hidroxibenzoico, epicatequina, quercitin 3-glucósido, ácido sinápico y kamferol. El contenido de fenoles se realizó por triplicado.

### 3.3.8 Calorimetría Diferencial de Barrido

Para llevar a cabo el circuito de congelación, es necesario determinar la  $T_g$  de la muestra y su fracción de agua congelable, utilizando un Calorímetro Diferencial de Barrido (DSC). Para ello, se pesó en una balanza de precisión entre 6 y 10 mg de muestra, que se colocaron en cápsulas de aluminio (40  $\mu$ L) y se sellaron herméticamente, utilizando una cápsula vacía como referencia para todas las mediciones. Se estableció una velocidad de cambio de temperatura de 5°C/min, sobre un barrido de temperaturas que inició a 20°C, haciendo descender la temperatura hasta -40°C manteniéndose a esta temperatura durante 15 minutos. Seguidamente se subió la temperatura de -40°C a -20°C manteniendo a esta temperatura durante 1 hora. Pasado este tiempo, se descendió de nuevo hasta los -40°C manteniéndola durante 15 minutos. Finalmente, se llevó la temperatura desde los -40°C hasta la temperatura de inicio del barrido. El análisis de transición vítrea informó de las temperaturas de inicio, punto medio y final de un paso, una vez que se proporcionaron los límites de la transición y se tomó la temperatura de punto medio como  $T_g$ . La fracción de agua no congelable y no congelable se estimaron a partir del método propuesto por Ross (1978) (Leprince & Walters-Vertucci, 1995).

### 3.3.9 Diseño de la planta y del circuito de refrigeración-congelación

Para el diseño, tanto de la nave, como del circuito de congelación, se utilizó el programa AutoCAD 2021. Para la determinación de las propiedades termodinámicas del fluido refrigerante en cada uno de los puntos de la instalación se utilizó el software CoolPack versión 1.50.

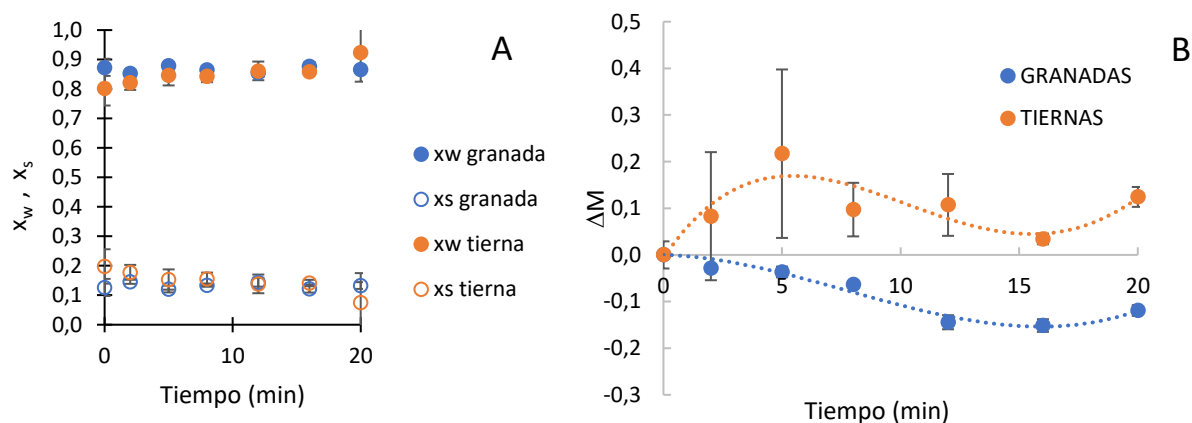
### 3.3.10 Análisis estadístico

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

## 4 RESULTADOS

### 4.1 Cinética de cocción

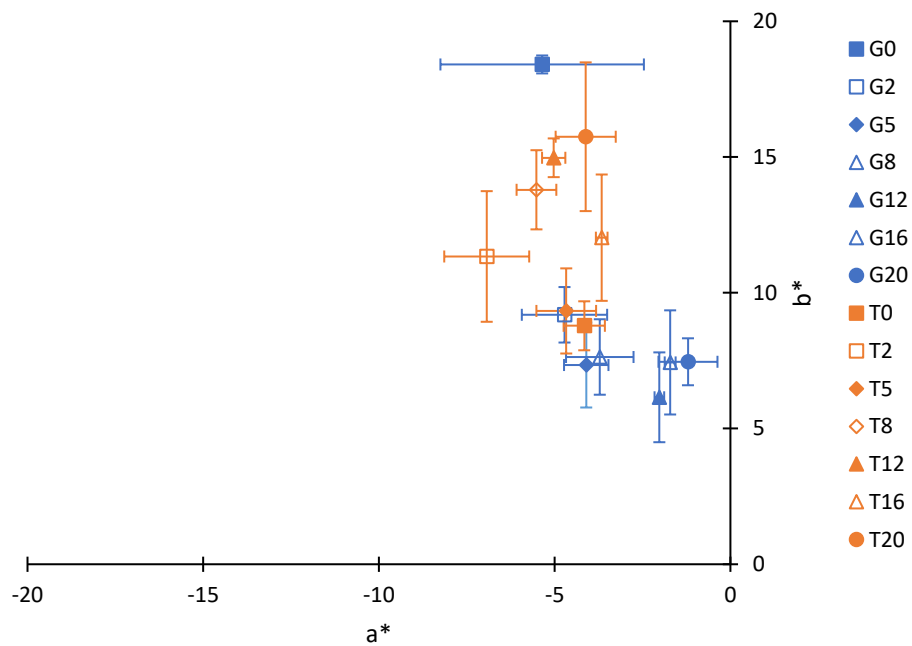
En la Figura 7 se presentan los resultados de fracción másica de agua y de solutos, así como la variación de masa total en las vainas de moringa tiernas y granadas sometidas al proceso de cocción a diferentes tiempos. Como se puede observar, tanto el contenido de agua como de solutos fue muy similar en ambos tipos de vainas a lo largo de la cocción. No obstante, las vainas tiernas registraron un aumento de masa en la cocción de entorno a un 15%, mientras que las granadas fueron perdiendo peso paulatinamente. Este comportamiento estaría relacionado con la evolución de la estructura de los tejidos con la maduración del fruto que tendría menos capacidad de retención de agua conforme avanza ésta. Además, la diferencia en las dimensiones de las vainas en función del estado de madurez podría estar afectando a la cinética de cocción.



**Figura 7.** Fracción másica de agua ( $x_w$ : g agua/g vaina) y de solutos ( $x_s$ : g solutos/g vaina) (A) y variación de masa total (B) en las vainas a diferentes tiempos de cocción.

### 4.2 Propiedades ópticas

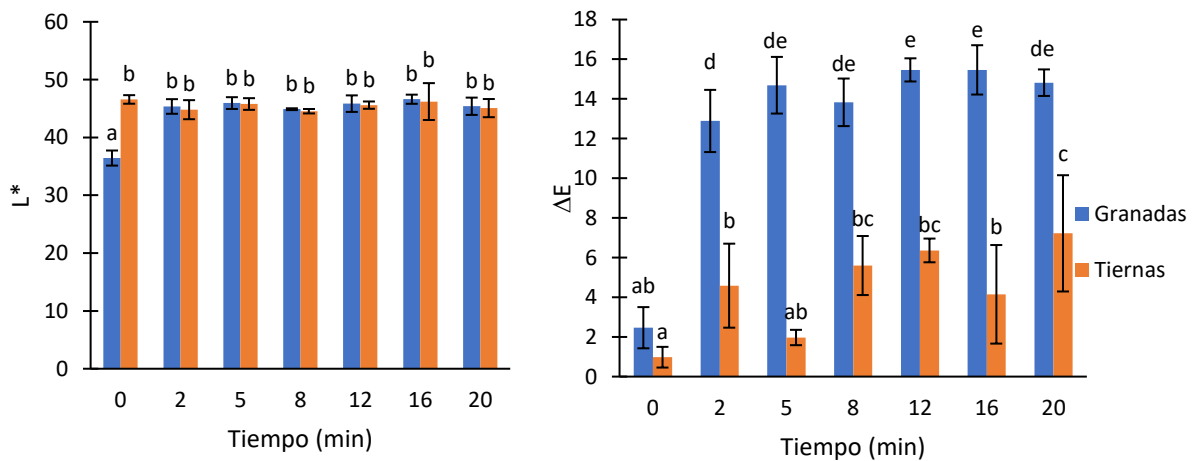
En la Figura 8, se observa la representación en el diagrama cromático de las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  y la variación de las mismas a lo largo de los tiempos de cocción. Todos los datos se sitúan sobre el segundo cuadrante (zona de verdes-amarillos). A lo largo de la cocción, se observa un comportamiento diferente según el estado de madurez de la vaina. Así, cuando las vainas están granadas y se sometieron a cocción perdieron pureza de color, mientras que si las vainas son tiernas, al cocerlas esta aumentó.



**Figura 8.** Variación de las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$  de las vainas de moringa en función del tiempo de cocción.

En la Figura 9 se muestran la luminosidad ( $L^*$ ) y la diferencia de color ( $\Delta E$ ) de las vainas estudiadas. En las vainas tiernas, el tiempo de cocción no alteró en ningún momento la luminosidad de la muestra, mientras que en el caso de la vaina granada la cocción hizo que aumentara la luminosidad con respecto de la vaina cruda, pero se mantuviera constante a lo largo del tiempo.

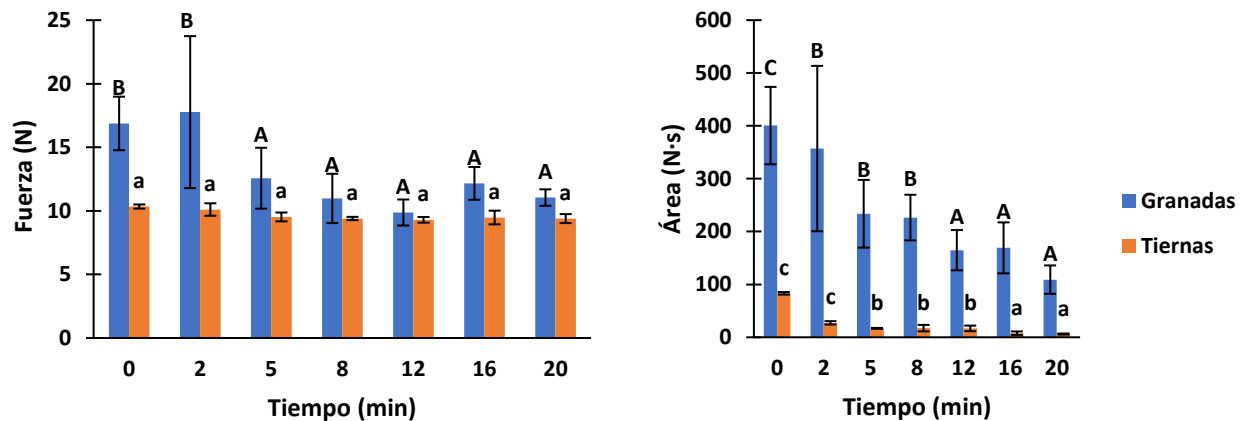
En cualquier caso, las diferencias de color entre las vainas crudas y cocidas tomaron valores superiores a 5 unidades, especialmente en el caso de las granadas, por lo que el cambio de color por efecto del tratamiento térmico será detectado por los consumidores (Talens, 2016).



**Figura 9.** Luminosidad ( $L^*$ ) y diferencia de color ( $\Delta E$ ) de las vainas a lo largo del tiempo de cocción.

### 4.3 Propiedades mecánicas

En la Figura 10 se muestran los valores obtenidos en el ensayo de compresión de los dos tipos de vainas tanto frescas, como en los diferentes tiempos de cocción. En los resultados obtenidos de fuerza máxima, se apreció como en las vainas tiernas la fuerza se mantuvo constante a lo largo de los tiempos de cocción, mientras que en las vainas granadas se produjo un descenso en la fuerza a medida hasta los 5 minutos de cocción. Por otra parte, en lo que respecta al área, se observó en ambos tipos de vaina una disminución progresiva a lo largo del tiempo de cocción con respecto a las vainas crudas.

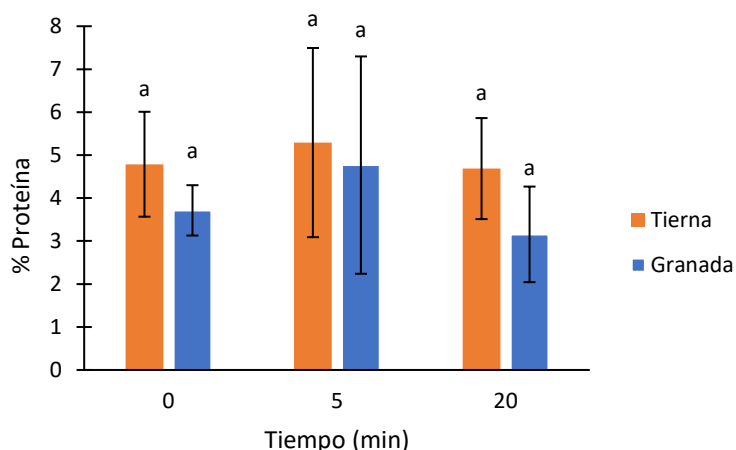


**Figura 10.** Fuerza máxima y área aplicadas en el ensayo de punción de vainas granada y tierna a lo largo del tiempo de cocción.

### 4.4 Contenido proteico

En la Figura 11 se presenta el porcentaje de proteína presente en las vainas tanto tiernas, como granadas y, la variación de esta a lo largo de la cocción. Como puede observarse, el contenido en proteína de las vainas frescas y granadas fue similar, sin diferencias significativas por efecto de la cocción. El contenido se sitúa alrededor de  $4,0 \pm 0,7$  g proteína/100 g vaina, valor ligeramente inferior al reportado por (Domínguez & Torres, 2016) que fue de 7,1 g/100 g. Comparando con otras verduras que se consumen de forma similar (cocidas), las vainas de moringa son más ricas en proteínas. Por ejemplo, los espárragos contienen 2,2% (FatSecret, 2021) y las judías verdes 2,1% (Peñas, 2007).

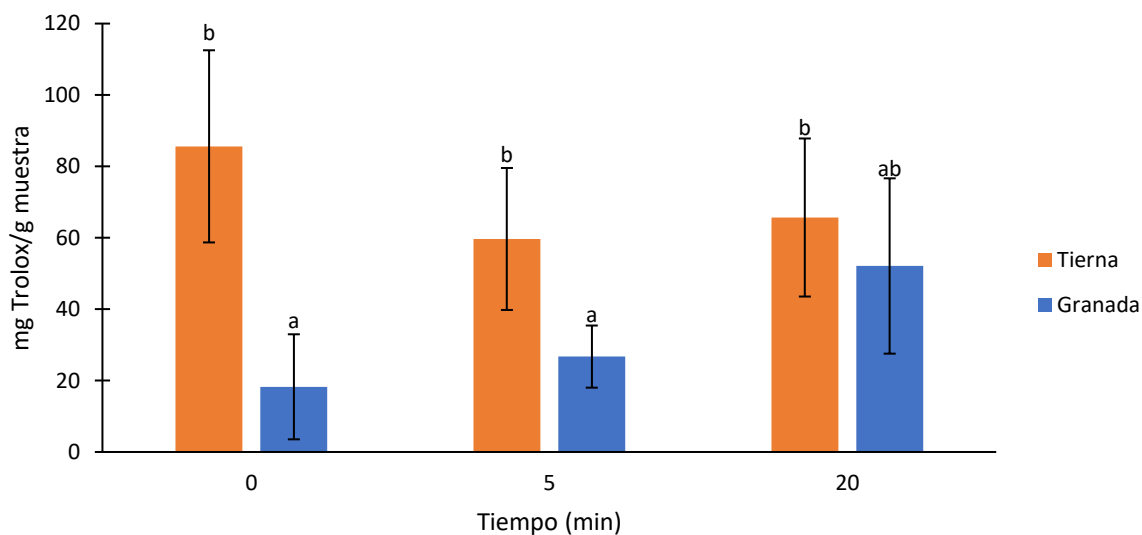




**Figura 11.** % de proteína en vaina tierna y granada a lo largo de la cocción.

#### 4.5 Capacidad antioxidante total y fenoles

En la Figura 12 se muestra la capacidad antioxidante de las vainas tiernas y granadas, expresadas en miliequivalentes de Trolox por gramo de vaina, utilizando el método del DPPH descrito en el apartado de materiales y métodos. En el caso de las vainas tiernas, se observó un descenso, aunque no significativo, de la capacidad antioxidante a lo largo del tiempo de cocción, mientras que en las vainas granadas aumentaron progresivamente su capacidad antioxidante con el tiempo de cocción, evidenciando la presencia de esta actividad a pesar de ser sometidas a un tratamiento térmico intenso.



**Figura 12.** Capacidad antioxidante expresada en miliequivalentes de TROLOX por gramo de vaina.

En la Figura 13 se muestra la cantidad y los tipos de fenoles que se han encontrado en las muestras de vainas de moringa y su evolución a lo largo de la cocción. Los resultados ponen

de manifiesto que la vaina tierna presentó mayor concentración de fenoles que la granada. En concreto, en fresco las vainas contienen ácido elágico, ácido p-cumárico, ácido trans cinámico y ácido ferúlico, siendo sus concentraciones mayores en las tiernas. En comparación con los resultados publicados por otros autores (El -Massry et al., 2013; León-Félix et al., 2017), hay coincidencia en el registro de 3 de los 4 fenoles detectados en este estudio (ácidos elágico, p-cumárico y ferúlico), aunque en dichos trabajos se detectaron más compuestos (ácidos gálico, clorogénico, cafeico, kamferol, quercetin, rutin, catequin y siríngico). Sin embargo, las concentraciones no son comparables entre estos dos estudios y los resultados obtenidos, probablemente por el propio proceso de extracción y análisis.

El proceso de cocción hasta 10 minutos en las vainas tiernas y maduras provocó la desaparición de los fenoles presentes en fresco y la aparición de otros, destacando la epicatequina, la quercetin 3-glucósido, el quercitrin y la apigenina 7- glucósido. Concretamente, las concentraciones de epicatequina y quercetin 3-glucósido en las vainas cocidas durante 5 o 10 minutos fueron muy elevadas  $52,33 \pm 0,08$  mg/100 g y  $10,38 \pm 0,05$  mg/100 g, respectivamente. La cocción durante 20 minutos dio lugar a menor concentración de los fenoles registrados en ambas vainas. Estos resultados son difícilmente comparables con otros trabajos publicados, pues no se han encontrado investigaciones sobre evolución de fenoles en vainas de moringa cocidas. En otras vainas de vegetales frescos, como la judía verde o el haba, se han publicado (Phenol Explorer, 2022) concentraciones de catequin (0,41 y 16,23 mg/100 g, respectivamente) y de epicatequina (0,69 y 37,55 mg/100 g, respectivamente), valores muy inferiores a los registrados en las vainas de moringa cocidas de este trabajo.

A continuación, se describen las características de los componentes fenólicos presentes en las vainas frescas y cocidas, según su clasificación (Scalbert et al., 2022):

- hidroxibenzaldehído
  - o Ácido elágico: este fenol tiene propiedades que actúan en contra de agentes que resultan nocivos para la salud, como son los radicales libres, responsables de procesos como la oxidación así como la formación de tumores cancerígenos (Ascacio-Valdés et al., 2013).
  - o Vainillina: presenta actividad contra bacterias Grampositivas y Gramnegativas, *E.coli*, *S.aureus* y *B.subtilis*, levaduras y mohos en purés de frutas y medios de cultivo de laboratorio, lo que conlleva un uso potencial como conservante de alimentos (Colombero et al., 2018).
  - o Ácido 4-hidroxibenzoico: se considera que es un metabolito intermediario en la biosíntesis de los compuestos bromofenólicos (Filho et al., 2001).
- ácido hidroxicinámico
  - o Ácido p-cumárico: actúa como intermediario de la degradación bacteriana de residuos lignocelulósicos siendo, también, un fuerte inhibidor del metabolismo anaerobio (Otal et al., 2003).
  - o Ácido ferúlico: actúa como intermediario de la degradación bacteriana de residuos lignocelulósicos, también es un fuerte inhibidor del metabolismo anaerobio (Otal et al., 2003)
  - o Ácido cafeico: consta con propiedades antiinflamatorias a través de la modulación de la cascada metabólica del ácido araquidónico (Cookson & Stirk, 2019).
- fenilpropanoide simple
  - o Ácido trans cinámico: actúa como intermediario de la degradación bacteriana de residuos lignocelulósicos (Otal et al., 2003).
- flavonoles

- Epicatequina: tiene efecto antioxidante al eliminar los radicales de oxígeno. Además, es importante para evitar la peroxidación lipídica, causante de cánceres (Terao et al., 1994).
- Quercetin 3-glucósido: tiene efectos beneficiosos sobre el sistema cardiovascular. Además, también tiene propiedades antivirales (Schneider et al., 1999).
- Apigenina 7-glucósido: este fenol tiene efectos antiinflamatorios, analgésicos y tranquilizantes (Zarei et al., 2017).
- Catequin: tiene efecto anticancerígeno, antiobesidad, antidiabético, anticardiovascular, antiinfeccioso, hepatoprotector y neuroprotector (Isemura, 2019).

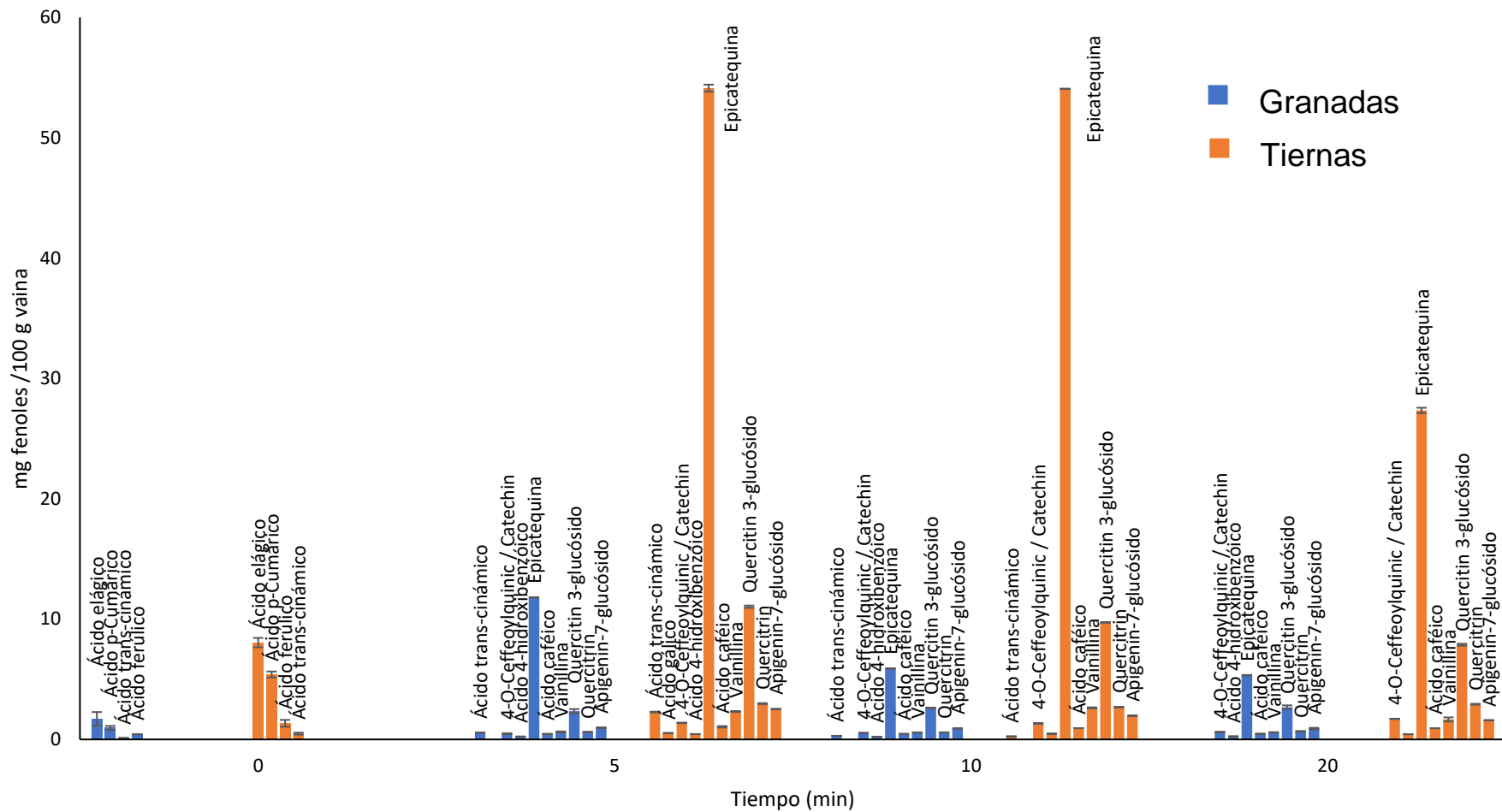
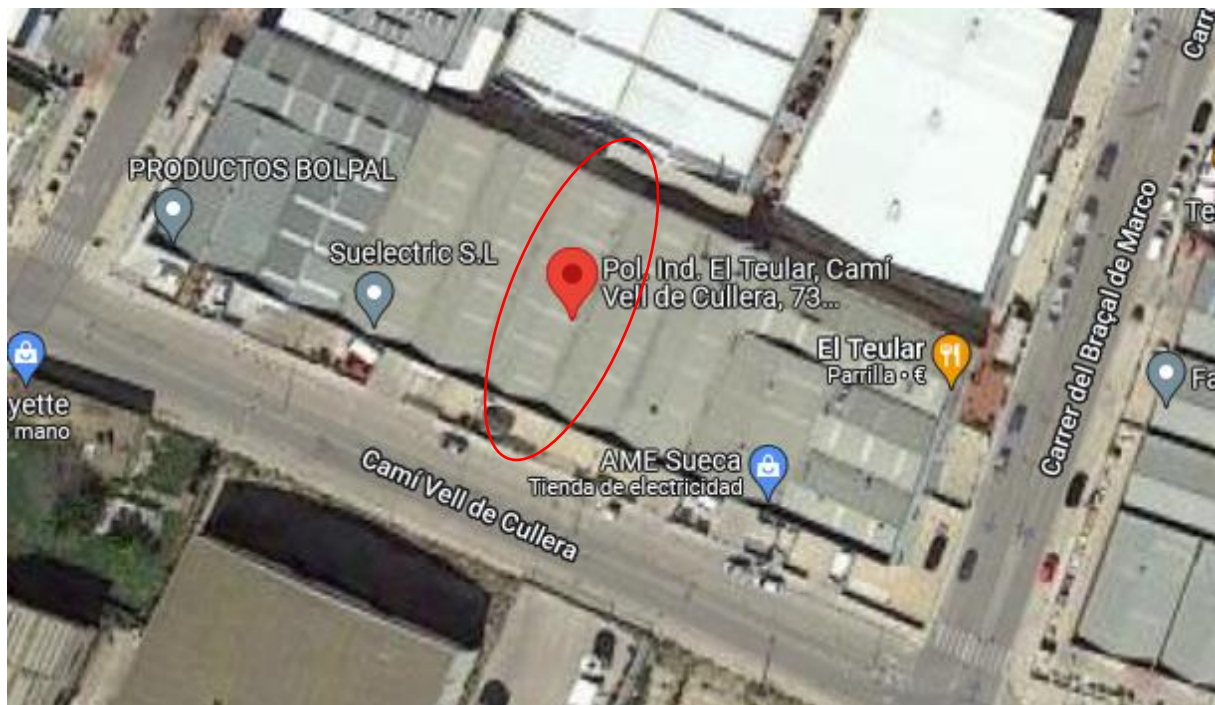


Figura 13. Fenoles presentes en las vainas y su evolución con la cocción.

## 4.6 Diseño de una planta de congelación de vainas de moringa

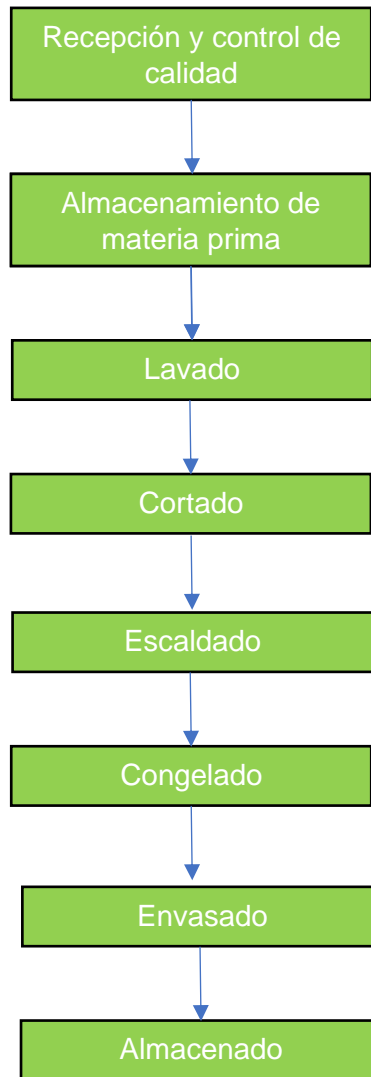
Dados los grandes beneficios y utilidades anteriormente mencionadas de las vainas de moringa, se realizó el diseño de una nave industrial de congelación de las vainas, así como un modelo de circuito adaptado a las necesidades de congelación y refrigeración de estas.

El clima presente en la Comunidad Valencia es propicio para el cultivo de la moringa, pero solo pudiendo optarse a una recolección anual, lo cual supone una producción media de 550 kg/ha (Reyes & Araica, 2017). Como se puede observar en la Figura 14 la nave se ubicará en la zona del Camí Vell de Cullera, 73, en el polígono industrial de El Teular, Sueca (Valencia), que cuenta con 349 m<sup>2</sup>, contando con una temperatura máxima en el mes más cálido de 30,2°C. La producción industrial de la nave se estimó en 15000kg máximo de producto terminado y una capacidad de almacenamiento de 13500 kg, lo que representan aproximadamente 25 hectáreas de cultivo, teniendo en cuenta que solo se trabajará en una campaña (3 meses).



*Figura 14. Ubicación de la parcela*

En la Figura 15, se muestra el diagrama de flujo, donde se detallan las operaciones unitarias que deberán realizarse en el interior de las instalaciones.

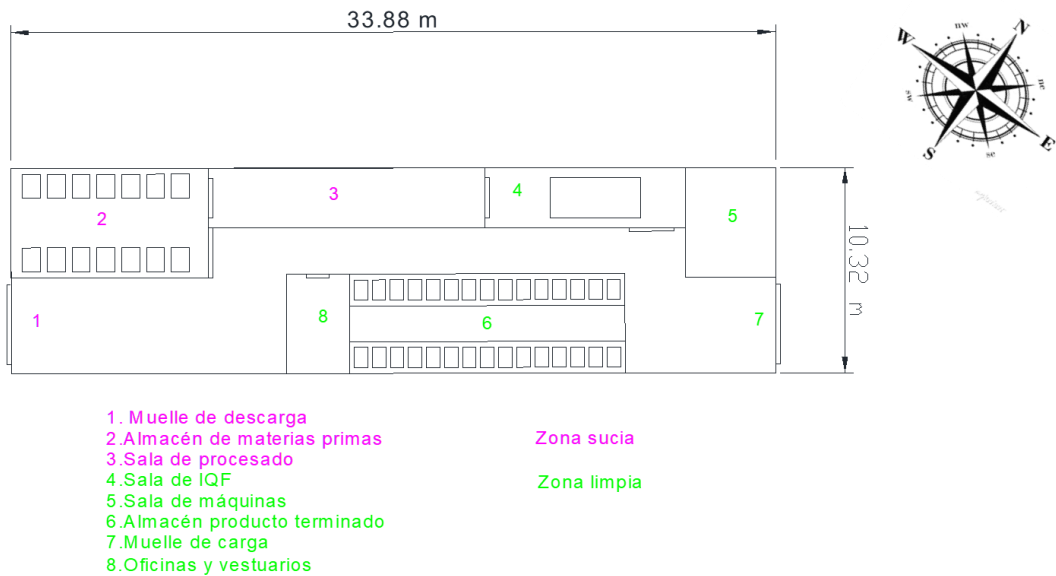


**Figura 15.** Diagrama de flujo del proceso.

1. **Recepción y control de calidad:** las materias primas procedentes de los campos de cultivo se descargarán en los muelles de descarga y se procederá a realizar los controles de calidad pertinentes para garantizar la calidad del producto.
2. **Almacenamiento de materia prima:** las vainas se enfriarán en cámara a 5°C hasta su procesamiento
3. **Lavado:** la materia prima seleccionada pasará a la zona de lavado con agua para eliminar cualquier tipo de resto procedente del campo.
4. **Cortado:** una vez lavada, se procederá a cortar las vainas en los tamaños que se desee para pasar a la zona de escaldado.
5. **Escaldado:** el producto se someterá a un tratamiento térmico, con el objetivo de otorgarles un ablandamiento parcial, así como la inactivación de las enzimas reduciendo la carga microbiana. Tras el escaldado, las vainas se enfriarán
6. **Congelado:** terminado el escaldado las vainas pasarán al túnel de congelado. La congelación se llevará a cabo a -35°C.
7. **Envasado:** se procederá al empaquetado del producto para su posterior distribución.

8. **Almacenado:** finalizado todo el proceso, el producto será almacenado a  $-30^{\circ}\text{C}$  para distribuirse en condiciones óptimas a los diferentes clientes mediante el muelle de carga.

En la Figura 16, se observa la distribución en planta de las salas, ubicadas de tal forma que el proceso descrito anteriormente pueda llevarse a cabo con la máxima eficiencia posible. En los extremos de la nave se encuentran ambos almacenes, ya que esta disposición permite una mejor carga y descarga tanto del producto terminado como de la materia prima. Además, puesto que la nave se encuentra adosada a otras naves por las caras noroeste y sureste las pérdidas de calor por efecto de la temperatura exterior se minimizan. Tanto las salas de corte, escaldado y congelado se encuentran en línea para facilitar el paso del producto por cada una de ellas.



**Figura 16.** Plano distribución de salas.

A continuación, se detalla el cálculo de cargas térmicas ( $Q_0$ ) de las diferentes salas que requieren refrigeración.

El almacén de materia prima cuenta con una capacidad de 13500 kg de producto, donde la temperatura de almacenamiento es de  $5^{\circ}\text{C}$ , con una humedad relativa del 75%. Se ha decidido utilizar esta temperatura ya que es la óptima en caso de refrigeración de vegetales. Para esta capacidad de producto se necesitan 14 pallets de  $1,2 \times 0,8$  m dispuestos en dos filas de 7, capaces de soportar hasta 1 tonelada de peso.

**Tabla 5.** Cargas térmicas del almacén de materia prima.

<b>Términos del cálculo de <math>Q_0</math></b>	<b>Carga térmica</b>
$Q_1$	21291,39 kcal/día
$Q_2$	19454,05 kcal/día
$Q_{31}$	82350 kcal/día
$Q_4$	25183,58 kcal/día
$Q_5$	2206,92 kcal/día
$Q_6$	1246 kcal/día
$Q_7$	9504 kcal/día
$Q_8$	12309,54 kcal/día
$Q_0$	173536,91 kcal/día
$Q_0$	8676,845 kcal/h

La sala donde se ubicará el túnel de congelación (IQF) (Tabla 6) se mantendrá a una temperatura de 2°C, con una humedad del 25%. El área del IQF es de 8 m<sup>2</sup> y un volumen de 28 m<sup>3</sup>. Las dimensiones de la sala serán 24 m<sup>2</sup>.

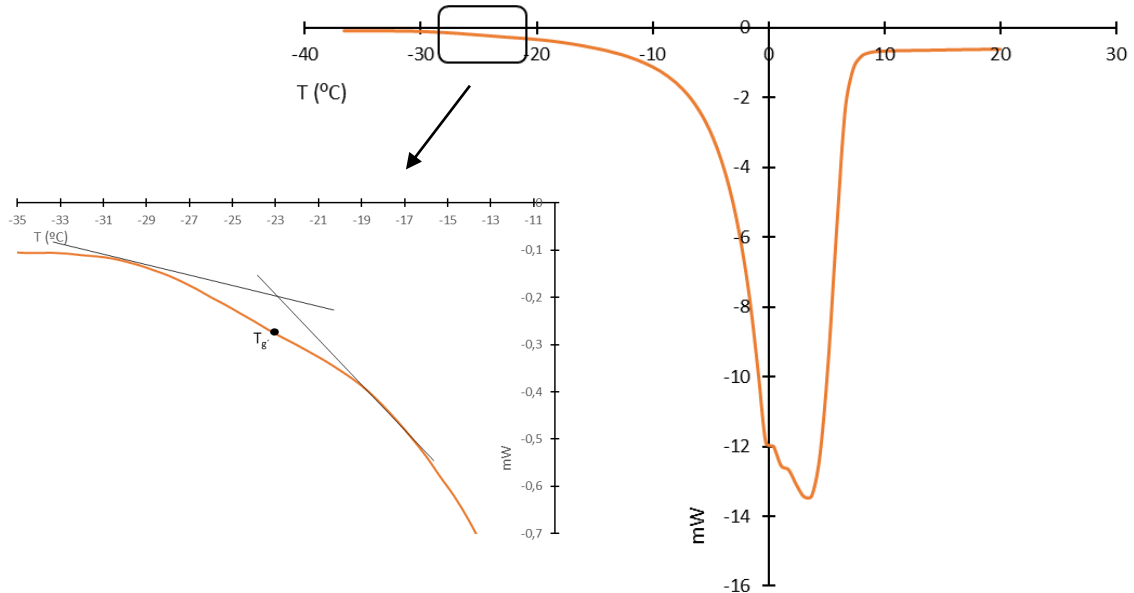
**Tabla 6.** Cargas térmicas de la sala IQF.

<b>Términos del cálculo de <math>Q_0</math></b>	<b>Carga térmica</b>
$Q_1$	18271,63 kcal/día
$Q_2$	21931,23 kcal/día
$Q_{31}$	2440 kcal/día
$Q_4$	27336,99 kcal/día
$Q_5$	3215,85 kcal/día
$Q_6$	3573,64 kcal/día
$Q_7$	9504 kcal/día
$Q_8$	4264,28 kcal/día
$Q_0$	90525,36 kcal/día
$Q_0$	4526,268 kcal/h

Para determinar las necesidades de congelación de las vainas fue necesario calcular previamente la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) del producto y la fracción de agua no congelable, ya que la mayor estabilidad del producto congelado se consigue si su temperatura



está por debajo de su temperatura de transición vítrea. Para ello, se llevó a cabo un estudio de termografía diferencial de barrido, tal y como se ha comentado en el apartado materiales y métodos. La Figura 17 muestra un ejemplo de termograma obtenido y detalle de la  $T_g$ . Así, se determinó que la temperatura de transición vítrea para estas vainas es de  $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$  y la fracción de agua no congelable de  $0,102\text{ kg agua/kg}$



**Figura 17.** Ejemplo de termograma y localización de la  $T_g$ .

Teniendo en cuenta estos valores, la congelación del producto se llevará a cabo en un equipo IQF que congelará las vainas a  $-35^{\circ}\text{C}$  con una humedad relativa del 95%. En la Tabla 7 se detallan las cargas térmicas para este equipo.

**Tabla 7.** Cargas térmicas en el IQF.

Términos del cálculo de $Q_0$	Carga térmica
$Q_1$	26,64 kcal/día
$Q_2$	6112 kcal/día
$Q_{32}$	23635,83 kcal/día
$Q_4$	8994,71 kcal/día
$Q_5$	26175,11 kcal/día
$Q_8$	3029,75 kcal/día
$Q_0$	68498,15 kcal/día
$Q_0$	4281,13 kcal/h

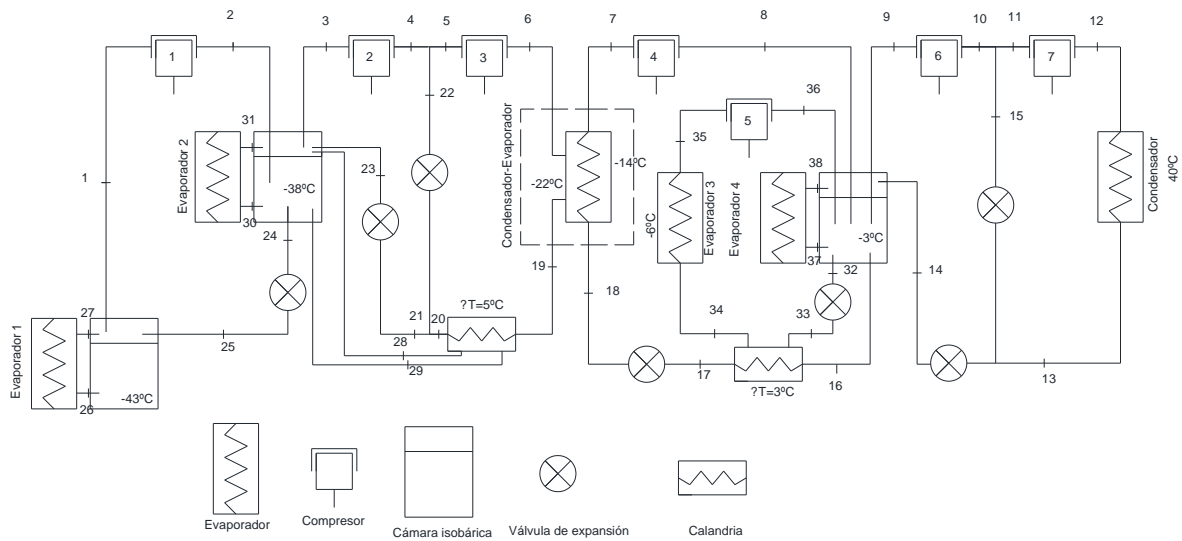
Por último, el producto congelado y envasado se almacenará en una cámara de producto terminado a  $-30^{\circ}\text{C}$  con una humedad del 25%. La sala del producto congelado tendrá una capacidad máxima de 15000 kilos, El producto terminado se almacenará en 30 pallets de  $1 \times 0.6$  m dispuestos en dos filas de 15, que pueden soportar hasta 500 kilos por pallet. La carga térmica necesaria en esta sala se detalla en la Tabla 8.

**Tabla 8.** Cargas térmicas en el almacén de producto terminado.

Términos del cálculo de $Q_0$	Carga térmica
$Q_1$	69259,17 kcal/día
$Q_2$	1813289,73 kcal/día
$Q_4$	25473,24 kcal/día
$Q_5$	51203,63 kcal/día
$Q_6$	2344,088 kcal/día
$Q_7$	9504 kcal/día
$Q_8$	188254,89 kcal/día
$Q_0$	2159292,44 kcal/día
$Q_0$	107964,6 kcal/h

En la instalación de frío se han elegido como refrigerantes el propano R290 para la zona de temperaturas bajas, el cual tiene una alta eficiencia energética, además de tratarse de un gas de origen natural, con un ODP (potencial de destrucción de la capa de ozono) de 0 y un GWP (potencial de calentamiento global) de 3, lo que lo hace un refrigerante muy bueno en cuanto a propiedades medioambientales se refiere. Para la zona de temperaturas altas se seleccionó el tetrafluoroetano R134a, refrigerante del tipo HFC, con un potencial de agotamiento de la capa de ozono de 0, de baja toxicidad y poco inflamable en presencia de aire atmosférico a temperaturas inferiores a  $100^{\circ}\text{C}$  y a presión atmosférica. Es un refrigerante muy utilizado en instalaciones industriales de temperaturas medias y altas, aunque su valor de PCA es de 1430.

En la Figura 18, se puede observar el diseño del circuito de congelación-refrigeración. Este consta de 4 evaporadores que trabajarán a  $-43$ ,  $-38$ ,  $-6$  y  $-3^{\circ}\text{C}$ , correspondientes al IQF, sala de producto terminado, sala de IQF y almacén de materias primas respectivamente. En todos los casos se ha considerado un salto térmico de  $8^{\circ}\text{C}$ . Se instalarán tres cámaras isobáricas en el circuito y 7 compresores. Entre la zona de bajas temperaturas, por donde circulará el R290 y la zona de alta temperatura, con R134a se instalará un intercambiador (condensador-evaporador). Finalmente, teniendo en cuenta las temperaturas máximas del aire ambiente en la zona, se instalará un aerocondensador que trabajará a  $40^{\circ}\text{C}$ .



**Figura 18.** Circuito de refrigeración-congelación de la planta vainas.

En el anexo se muestran los puntos del circuito en los diagramas termodinámicos presión-entalpía para los dos refrigerantes, R290 (Figura 20) y R-134a (Figura 19). A partir de estos diagramas, en la Tabla 14 de anexos se detallan las propiedades termodinámicas de los fluidos en cada punto del circuito (presión, temperatura, entalpía y volumen específico del vapor). Con estos datos y teniendo en cuenta las cargas térmicas calculadas para cada uno de los evaporadores y haciendo balances de energía en las cámaras isobáricas y en los inyectores, se determinaron los caudales de fluido refrigerante (Tabla 9).

**Tabla 9.** Caudales de refrigerantes

Refrigerante	Corriente	Caudal (kg/h)
R290	$M_{27}=M_{26}= M_{E1}$	44,47
R290	$M_{31}=M_{30}= M_{E2}$	257,13
R290	$M_1=M_2=M_{24}= M_{25}$	60,75
R290	$M_{28}= M_{29}$	0,26
R290	$M_{21}=M_{23}=M_4= M_3$	355,79
R290	$M_{CE}=M_6=M_{19}=M_5= M_{20}$	9,65
R134a	$M_8=M_{16}=M_{17}=M_{18}= M_7$	19,80
R134a	$M_{32}=M_{33}=M_{34}=M_{35}=M_{36}= M_{E3}$	96,12
R134a	$M_{37}=M_8= M_{E4}$	181,88
R134a	$M_{10}=M_{14}= M_9$	330,27
R134a	$M_{15}$	18,87
R134a	$M_{12}=M_{13}= M_{11}$	349,14

Conocidos los caudales y las propiedades termodinámicas del vapor a la entrada y salida de cada uno de los compresores, se determinó la potencia útil necesaria en cada uno de ellos (Tabla 10).

**Tabla 10.** Potencia útil de los compresores

Compresor	Potencia útil (kJ/h)
I	557,52
II	11595,96
III	75,32
IV	303,16
V	217,61
VI	3527,65
VII	6263,25

Para determinar la eficiencia energética del circuito se calcularon de los COP (Coefficient of performance o) teniendo en cuenta diferentes porcentajes de carga de producto en la instalación (0, 15, 75, 100%). El COP es el cociente entre la potencia de enfriamiento (cargas térmicas necesarias) y la potencia eléctrica absorbida por los compresores. Considerando el rendimiento energético en diferentes situaciones de trabajo (diferentes porcentajes de carga de producto) se calcula el. El SCOP (Seasonal coeficiente of performance o Coeficiente de rendimiento estacional), que es un valor más realista de la eficiencia energética de la instalación (Tabla 11). Los valores obtenidos son elevados, lo que implica que el circuito es muy eficiente energéticamente.

**Tabla 11.** COP y SCOP de la instalación.

Carga de la instalación (%)	0,00	15	75	100
COP	3,10	6,12	18,20	23,24
SCOP	12,67			

Para la elección de los evaporadores y el condensador es necesario conocer el coeficiente global de transmisión de calor de un equipo. Este se calculó a partir de las condiciones estándar reflejadas en los catálogos de las casas comerciales ( $Q^{st}$ ,  $\Delta T^{st}$  y  $A^{st}$ ). Conocido este coeficiente (U) y con las cargas térmicas calculadas en la instalación, se determinó el modelo de equipo necesario en cada una de las salas, así como el número de unidades evaporadoras a instalar (Tabla 12).

**Tabla 12.** Modelos y especificaciones de los evaporadores y condensador.

<b>Cámara/sala</b>	<b>Modelo</b>	<b>Q<sup>st</sup> (KJ/h)</b>	<b>DT<sub>ml</sub><sup>st</sup> (k)</b>	<b>A<sup>st</sup> (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Elementos necesarios</b>	<b>Referencia</b>
<b>Almacén de materia prima</b>	UKH-NG-2 150	21240	6	37,2	1	(Intarcon, 2022)
<b>IQF</b>	IDE-54B07 ED	282924	7	292	2	(MFM, 2021)
<b>Sala IQF</b>	UKH-NG-2 150	21240	6	37,2	1	(Intarcon, 2022)
<b>Almacén producto terminado</b>	UKH-NG-2 150	21240	6	37,2	2	(Intarcon, 2022)
<b>Condensador</b>	RXT011	42876	3	31,09	1	(Grupo Disco, 2022)

La elección de los compresores (Tabla 13) se llevó a cabo en base al trabajo útil y el volumen de gas aspirado por los mismos. Además, estos deben ajustarse también al rango de presiones que se generarán a lo largo del circuito.

**Tabla 13.** Modelo y especificaciones de los compresores.

<b>Compresor</b>	<b>Modelo</b>	<b>Potencia útil (W)</b>	<b>V aspirado (L/h)</b>	<b>Elementos necesarios</b>	<b>Referencia</b>
<b>I</b>	AC 0201 A	23	1200	7	(Kohki, 2020)
<b>II</b>	NEW VENTO OL 195 Nuair	1100	10800	3	(Airum, 2022)
<b>III</b>	AC 0301 A	25	1680	1	(Kohki, 2020)
<b>IV</b>	AC 0201 A	23	1200	4	(Kohki, 2020)
<b>V</b>	AC 0201 A	23	1200	3	(Kohki, 2020)
<b>VI</b>	New VENTO OL 195 Nuar	1100	10800	1	(Airum, 2022)
<b>VII</b>	B2800B/3M50 TECH Nuair C/ROLL	2200	19800	1	(Airum, 2022)

## 5 CONCLUSIONES

- El contenido de agua y de solutos en las vainas de moringa tiernas y granadas fue similar a lo largo de la cocción. Sin embargo, las tiernas registraron un aumento de masa en la cocción de entorno a un 15%, mientras que las granadas fueron perdiendo peso paulatinamente
- El proceso de cocción supuso una pérdida de pureza de color en las vainas granadas, mientras que las tiernas ésta aumentó. Además, las diferencias de color con respecto a las vainas crudas fueron más acusadas en las granadas.
- La cocción no ablandó a las vainas tiernas, pero sí a las granadas. Sin embargo, este ablandamiento sólo se produjo durante los primeros 5 minutos del tratamiento térmico
- El contenido proteico de las vainas se mantuvo en todos los casos alrededor del 4% sin cambios por la cocción. Este contenido duplica al de otros vegetales similares como los espárragos y las judías verdes.
- La cocción no afectó a la capacidad antioxidante total. Sin embargo, sí que hubo un cambio en el perfil fenólico por el tratamiento térmico. Concretamente, en las vainas frescas se encontraron los ácidos ferúlico, trans-cinámico, p-cumárico y elágico. Durante la cocción desaparecieron estos fenoles apareciendo otros, entre los que destacan la epicatequina, el quercetin 3-glucósido, especialmente en las vainas tiernas.
- Se ha diseñado una planta para el procesamiento de vainas congeladas. Se ha dimensionado el circuito de refrigeración-congelación para la planta con un elevado rendimiento energético (SCOP 12,67). Como fluidos refrigerantes se utilizará R290 para la zona de bajas temperaturas y el R134a para la zona de altas temperaturas. En ambos casos, los refrigerantes tienen ODP de 0 y bajos valores de PCA.

Como conclusión final, se recomendaría el consumo de estas vainas en estado tierno cocidas durante un máximo de 10 minutos. Este tiempo es suficiente para ablandar el producto maximizando su contenido fenólico y aumentando su pureza de color. Se podrían comercializar como vainas tiernas cocidas y congeladas.

## 6 REFERENCIAS

- Airum. (2022). *Compresores Nuair/Airum*. <https://www.airumlogistic.com/catalogo/>
- Ascacio-Valdés, J. A., Aguilera-Carbó, A., Rodríguez-Herrera, R., Aguilar-González, C., Alberto, J., & Valdés, A. (2013). Análisis de ácido elágico en plantas de semidesierto mexicano. In *Rev Mex Cienc Farm* (Vol. 44, Issue 2).
- Astiasarán, I., & Martínez, J. A. (2003). *Composición y Propiedades*. [www.FreeLibros.me](http://www.FreeLibros.me)
- Beatriz, J., Descalzo, A., Fortunato, R., Itati, N., & Radice, S. (2016). *Recomendaciones sobre el consumo de hojas de Moringa oleifera en humanos*.
- Becerra, L. (2019). *Semillas de moringa oleifera*. Cultiva Salud. <https://moringanature.com/semillas-de-moringa-oleifera-0>
- Canett-Romero, R., Arvayo-Mata, K. L., & Ruvalcaba-Garfias, N. V. (2014). Aspectos tóxicos más relevantes de Moringa oleifera y sus posibles daños. *Revista de Ciencias Biológicas y de La Salud*, 16(2), 36. <https://doi.org/10.18633/bt.v16i2.45>
- Caracuel, Á. (2006). Técnicas de cocción saludables aplicables a la alimentación mediterránea. In *AnAles* (Vol. 21, Issue 1). [https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/4043/10\\_ANALES\\_2008\\_caracuel.pdf?sequence=1](https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/4043/10_ANALES_2008_caracuel.pdf?sequence=1)
- Casanova-Lugo, F., Cetzal-Ix, W., Díaz-Echeverría, V., Chay-Canul, A., Oros-Ortega, I., Piñeiro-Vázquez, A. ., & González-Valdivia, N. . (2018). Moringa oleifera Lam. (Moringaceae): Árbol Exótico con Gran Potencial para la Ganadería Ecológica en el Trópico. In *Agro-Productividad* (Vol. 11, Issue 2).
- Colombero, P., Peralta, M., Racca, M. A., Flores, D., Guntero, V. A., Ferretti, C. A., Mancini, P. M., & Kneeteman, M. N. (2018). *Determinación de la Actividad Antioxidante de la Vainillina y compuestos derivados*.
- Cuenca, J. (2021). *Corteza de moringa*. [https://www.freepik.es/fotos-premium/moringa-oleifera-medicinales-ramas-corteza-sobre-fondo-blanco\\_17310777.htm](https://www.freepik.es/fotos-premium/moringa-oleifera-medicinales-ramas-corteza-sobre-fondo-blanco_17310777.htm)
- Domínguez, V., & Torres, G. (2016). Una alternativa para tratar la anemia por deficiencia de hierro. *Revista de Ciencias Biológicas y de La Salud*, 8. <https://doi.org/10.18633/bt.v18i1.240>
- El -Massry, F. H. M., Mossa, M. E. M., & Youssef, S. M. (2013). Moringa oleifera plant "value and utilization in food processing". In *J. Agric. Res* (Vol. 91, Issue 4, p. 13).
- Escriche, I., Kadar, M., Juan-Borrás, M., & Domenech, E. (2014). Suitability of antioxidant capacity, flavonoids and phenolic acids for floral authentication of honey. Impact of industrial thermal treatment. *Food Chemistry*, 142, 9. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.033>
- FatSecret. (2021). *Propiedades espárragos*. <https://www.fatsecret.es/>
- Fernández, J. (2018). *Extracción enzimática del aceite de moringa con prensa-expeller y determinación*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Foidl, N., Mayorga, L., & Vásquez, W. (2003). Utilización del marango (Moringa oleifera). In

- FAO, *Proyecto Biomasa*. <http://www.fao.org/ag/aga/AGAP/FRG/Agrofor1/Foidl16.htm>
- Foild, N., Becker, K., & H.P.S., M. (2001). *The potencial of moringa oleifera for agricultural and industrial uses*.
- Gabriela, M., & Gramajo, P. (2017). Conservación de alimentos. In *Revista Ingeniería y Ciencia* (Issue 1).
- García, E., & Fernández, I. (2012). *Un Alimento Por Un Método Gravimétrico Indirecto Por* (p. 5). Riunet. Universitat Politècnica de València. <http://hdl.handle.net/10251/16339>
- García, E., & Fernández, I. (2013). Determinación de proteínas de un alimento por el método Kjeldahl. Valoración con un ácido fuerte. *Universitat Politècnica de València*, 6. <http://hdl.handle.net/10251/29832>
- Godino, M. (2016). Moringa oleifera: árbol multiusos de interés forstal para el sur de la península ibérica. *Negocio Agroalimentario y Cooperativo*, 12.
- Holguín, V. A., García, I. I., & Mora-Delgado, J. (2018). *Arboles y arbustos para silvopasturas. Uso, calidad y alometría*. Universidad de Tolima.
- iNaturalistEc. (2022). *Moringa Ovalifolia*. INaturalistEc.
- Intarcon. (2022). *Catálogo evaporadores*. <https://www.intarcon.com/pdfs/ES/evaporador-cubico-industrial.pdf>
- Isemura, M. (2019). Catechin in Human Health and Disease. *Tea Science Center*, 5. <https://doi.org/10.3390/molecules24030528>
- Jeringa, P. (2019). *Moringa oleifera*. Flores y Plantas. <https://www.floresyplantas.net/moringa-oleifera/>
- Juan, I. Q., & Peralta, M. (2009). *Congelación de Alimentos por Hidrofluidización*. Universidad Nacional del Litoral.
- Kohki, N. (2020). *Compresores de pistón*. <https://www.directindustry.es/prod/nitto-kohki-europe/product-30896-536191.html>
- León-Félix, J., Angulo-Escalante, M. A., & Dorado, R. G. (2017). *Nutritional and phenolic characterization of moringa Oleifera leaves grown in Sinaloa, México* (p. 9). <https://www.researchgate.net/publication/315044990>
- Leprince, O., & Walters-Vertucci, C. (1995). A calorimetric study of the glass transition behaviors in axes of bean seeds with relevance to storage stability. *Plant Physiology*, 109(4), 4. <https://doi.org/10.1104/pp.109.4.1471>
- Mark, W. (2009). *An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III*. 161, 105–121. <https://academic.oup.com/botlinnean/article/161/2/105/2418337>
- MFM, R. (2021). *Evaporadores Eco*. <https://mfmmref.com/es/eco-ide/18241-ide-54b07-eco-enfriador-de-aire-industrial-banda-caras-separacion-de-aletas-7-mm.html>
- Montesinos, S. (2010). *Un árbol promisorio para la ganadería* (Vol. 2, p. 4). [moz-extension://5d81fae4-209c-4375-b7ab-1dafb127b7ef/enhanced-reader.html?openApp&pdf=http%3A%2F%2Fwww.actaf.co.cu%2Frevistas%2FRevista%2520ACPA%2F2010%2FREVISTA%252002%2F22%2520MORINGA.pdf](https://www.moz-extension://5d81fae4-209c-4375-b7ab-1dafb127b7ef/enhanced-reader.html?openApp&pdf=http%3A%2F%2Fwww.actaf.co.cu%2Frevistas%2FRevista%2520ACPA%2F2010%2FREVISTA%252002%2F22%2520MORINGA.pdf)



- Moreiras, O., Carbajal, Á., Cabrera, L., & Cuadrado, C. (2015). *Tablas de composición de alimentos*. Piámides.  
[https://catedraalimentacioninstitucional.files.wordpress.com/2014/09/3-l-tablas\\_de\\_composicion\\_de\\_alimentos.pdf](https://catedraalimentacioninstitucional.files.wordpress.com/2014/09/3-l-tablas_de_composicion_de_alimentos.pdf)
- Moreno, M. E., Crespo, L. M., & Cubelo, C. (2021). Usos de la harina de vainas secas de moringa en la elaboración de galletas y otras tortas venezolanas. In *Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda* (Vol. 48, Issue 3).  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_serial&pid=222](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_serial&pid=222)
- Norma, L., Alfaro, C., & Walfer Martínez, I. (2008). *Uso Potencial de la Moringa (Moringa oleifera, Lam)* (pp. 1–20). [https://www.sica.int/documentos/uso-potencial-de-la-moringa-moringa-oleifera-lam-para-la-produccion-de-alimentos-nutricionalmente-mejorados\\_1\\_36997.html](https://www.sica.int/documentos/uso-potencial-de-la-moringa-moringa-oleifera-lam-para-la-produccion-de-alimentos-nutricionalmente-mejorados_1_36997.html)
- Olson, M. E. (2002). Combining Data from DNA Sequences and Morphology for a Phylogeny of Moringaceae (Brassicales). In *Systematic Botany* (Vol. 27, Issue 1).
- Otal, E., Arnáiz, C., Gutiérrez, J., & Lebrato, J. (2003). Estrategia para la mejora de la degradación del ácido p-cumárico mediante selección bacteriana. *Tecnología Del Agua*, 243, 5.
- Peñas, M. (2007). *Estudio del efecto de la temperatura de cocción en la calidad nutricional y la textura en productos de V gama esterilizado a partir de judía verde*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Pérez, A., Sánchez, T., Armengol, N., & Reyes, F. (2010). *Características y potencialidades de Moringa oleifera. Una alternativa para la alimentación animal* (Vol. 33, Issue 4).
- Price, M. L. (1985). The moringa tree. *ECHO Technical Note*, 1–19.
- Reyes, N., & Araica, B. (2017). Guía para el Establecimiento y Cultivo del Marango (Moringa Oleifera). *Universidad Nacionla Agraria*, 20, 38.  
<https://cenida.una.edu.ni/documentos/NF01R457ge.pdf>
- Rodríguez, L. (2020). *Moringa, una planta milagrosa*.  
[https://caracol.com.co/programa/2020/11/07/al\\_campo/1604789325\\_968382.html](https://caracol.com.co/programa/2020/11/07/al_campo/1604789325_968382.html)
- Rondón, M., Díaz, Y., Fernández, E., Tabio, D., Piloto-Rodríguez, R., & Rodríguez, S. (2017). Obtención de biodiesel a partir de aceites de origen vegetal , “Moringa oleifera.” In *Universidad Tecnológica de La Habana José A. Echeverría, CUJAE2017 (2017)*. (Vol. 28, Issue May, pp. 2–11). <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.17816.60160>
- Scalbert, A., Du-Chaffaut, L., Neveu, V., & Vos, F. (2022). *Contenido en fenoles*. Phenol-Explorer. <http://phenol-explorer.eu/foods?page=18>
- Schneider, H., Schwiertz, A., David, M., & Blaut, M. (1999). *Anaerobic transformation of quercetin 3-glucoside by bacteria from the human intestinal tract*. [www.dife.de](http://www.dife.de)
- Talens, P. (2016). Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB. In *Universidad Politècnica de Valencia*.  
[https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/83392/Talens - Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/83392/Talens_-_Evaluaci3n_del_color_y_tolerancia_de_color_en_alimentos_a_trav3s_del_espacio_CIELAB.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Terao, J., Piskula, M., & Yao, Q. (1994). Protective Effect of Epicatechin, Epicatechin Gallate,

- and Quercetin on Lipid Peroxidation in Phospholipid Bilayers. In *Archives of Biochemistry and Biophysics* (Vol. 308, Issue 1, p. 7). <https://doi.org/10.1006/abbi.1994.1039>
- Tobias, L. (2010). Moringa oleifera el árbol de la nutrición Moringa oleifera the tree of nutrition. *Corporación Universitaria Rafael Núñez*, 2(1), 10.
- Trees for the Future. (2011). *Moringa Stenopetala*. Flickr: Ethiopia - Mature Moringa Stenopetala Tree - March 2011.
- Urquillas, N. J. (2017). Moringa y su uso culinario. In *Trabajo Fin de Grado Artes Culinarias*. Quito: Universidad de los Hemisferios.
- Urbina, J. A. (2017). *Efecto del ecaldado sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de recortes de espárrago verde deshidratado*. Universidad Privada Antenor Orrego.
- Urquillas, N. (2017). *Moringa y su uso culinario* (p. 42). Univeridad de lo hemisferios. [http://dspace.uhemisferios.edu.ec:8080/jspui/bitstream/123456789/691/1/TESIS\\_FINAL.pdf](http://dspace.uhemisferios.edu.ec:8080/jspui/bitstream/123456789/691/1/TESIS_FINAL.pdf)
- Weisseborn, I. (2015). *Curry Indio de vainas de moringa*. Fundación Salud y Alimentación. <https://www.diet-health.info/es/recetas/re/kvpej270-curry-indio-con-vainas-de-moringa-patatas-y-tomate>
- Zarei, M., Mohammadi, S., Shahidi, S., & Fallahzadeh, A. R. (2017). Effects of Sonchus asper and apigenin-7-glucoside on nociceptive behaviors in mice Antinociceptive effects of Sonchus asper and apigenin-7-glucoside. *Journal of Pharmacy & Pharmacognosy Research*, 5(4), 12. <http://jppres.com/jppres><http://jppres.com/>

# 7 ANEXO

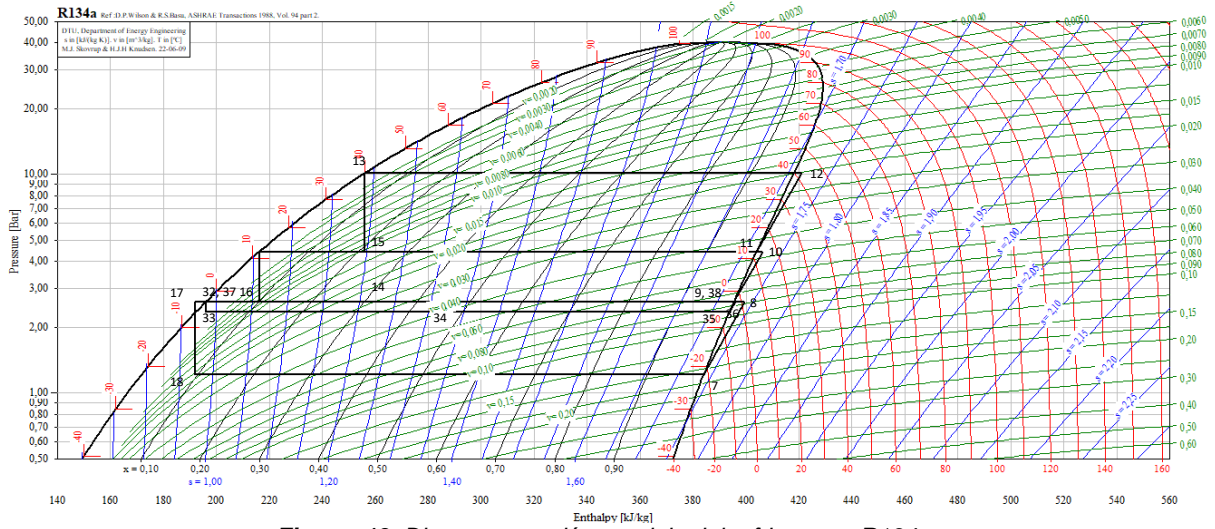


Figura 19. Diagrama presión-entalpía del refrigerante R134a.

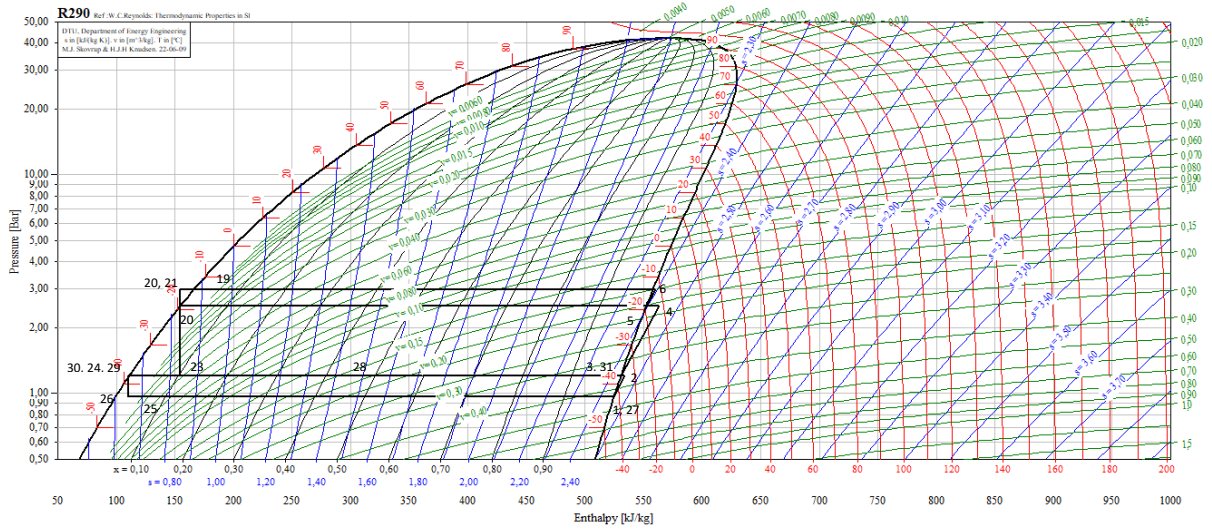


Figura 20. Diagrama presión-entalpía del refrigerante R290.

**Tabla 14.** Tabla de temperatura, presión y entalpías de cada punto del circuito.

Estado	Punto	Refrigerante	P (bar)	T (°C)	h (kJ/kg)	v (kgm <sup>-3</sup> )
<b>G</b>	1	R290	0,965	-43	524,787	0,431872
	2	R290	1,199	-35	533,964	
<b>G</b>	3	R290	1,199	-38	530,621	0,352669
	4	R290	2,513	-12,371	563,213	
<b>G</b>	5	R290	2,153	-19	552,425	0,176169
<b>G</b>	6	R290	2,993	-12,681	560,232	
<b>L</b>	19	R290	2,993	-14	166,41	
<b>L</b>	20	R290	2,993	-19	154,6	
<b>L</b>	21	R290	2,993	-19	154,6	
<b>L</b>	22	R290	2,993	-19	154,6	
<b>L</b>	23	R290	1,199	-38	154,6	
<b>L</b>	24	R290	1,199	-38	110,745	
<b>L</b>	25	R290	0,965	-43	110,745	
<b>L</b>	26	R290	0,965	-43	99,34	
<b>G</b>	27	R290	0,965	-43	524,787	0,31366
	28	R290	1,199	-38	530,621	
<b>L</b>	29	R290	1,199	-38	110,745	
<b>L</b>	30	R290	1,199	-38	110,745	
<b>G</b>	31	R290	1,199	-38	530,621	
<b>G</b>	7	R134a	1,219	-22	384,054	0,15396
	8	R134a	2,623	1,329	399,368	
<b>G</b>	9	R134a	2,623	-3	395,458	0,076591
	10	R134a	4,429	14,182	406,139	
<b>G</b>	11	R134a	4,429	12	403,139	0,046046
	12	R134a	10,164	42,433	421,078	
<b>L</b>	13	R134a	10,164	40	256,16	
<b>L</b>	14	R134a	2,623	-3	216,17	
<b>L</b>	15	R134a	4,429	12	216,17	
<b>L</b>	16	R134a	2,623	-3	196,042	
<b>L</b>	17	R134a	2,623	-6	192,116	
	18	R134a	2,623	-22	192,116	
<b>L</b>	32	R134a	2,623	-3	196,042	
<b>L</b>	33	R134a	2,344	-6	196,042	
	34	R134a	2,344	-6	196,850613	
<b>G</b>	35	R134a	2,344	-6	393,695	0,08535
	36	R134a	2,623	-2,445	395,959	
<b>L</b>	37	R134a	2,623	-3	196,042	
<b>G</b>	38	R134a	2,623	-3	395,458	0,076591