

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID  
FACULTAD DE FARMACIA**



**TESIS DOCTORAL**

**Calidad nutricional y funcional de harinas extruidas a base de  
maíz y lenteja con subproductos de vinificación**

**Nutritional and functional quality of extruded flours based on  
corn and lentil with winemaking by-Products**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

**Mario Roger Cotacallapa Sucapuca**

Directoras

**M<sup>a</sup> de la Montaña Cámara Hurtado  
Patricia Morales Gómez**

Madrid

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE FARMACIA**



**TESIS DOCTORAL**

**CALIDAD NUTRICIONAL Y FUNCIONAL DE HARINAS  
EXTRUIDAS A BASE DE MAÍZ Y LENTEJA CON  
SUBPRODUCTOS DE VINIFICACIÓN**

**NUTRITIONAL AND FUNCTIONAL QUALITY OF EXTRUDED  
FLOURS BASED ON CORN AND LENTIL WITH WINEMAKING  
BY-PRODUCTS**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

**Mario Roger Cotacallapa Sucapuca**

Directores

**Prof. Dra. M<sup>a</sup> de la Montaña Cámara Hurtado**

**Prof. Dra. Patricia Morales Gómez**

**Madrid, 2023**



**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE FARMACIA**  
**PROGRAMA DOCTORADO FARMACIA**



**TESIS DOCTORAL**

**CALIDAD NUTRICIONAL Y FUNCIONAL DE HARINAS  
EXTRUIDAS A BASE DE MAÍZ Y LENTEJA CON  
SUBPRODUCTOS DE VINIFICACIÓN**

**NUTRITIONAL AND FUNCTIONAL QUALITY OF EXTRUDED  
FLOURS BASED ON CORN AND LENTIL WITH WINEMAKING  
BY-PRODUCTS**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR  
PRESENTADA POR

**Mario Roger Cotacallapa Sucapuca**

Directores

**Prof. Dra. M<sup>a</sup> de la Montaña Cámara Hurtado**

**Prof. Dra. Patricia Morales Gómez**

**Madrid, 2023**





*A mis padres Hipólito y Rufina*



*A Abidán y Milena*

*A Luz marina*





*¡Te daré gracias porque me respondiste, porque eres mi salvación! (salmos 118:21)*



## **AGRADECIMIENTO**

Aprovecho en estas páginas expresar todo lo vivido durante mi permanencia como doctorando en este maravilloso país – España y su Universidad Complutense de Madrid.

Mi agradecimiento muy especial a mis directoras, la Dra. María de la Montaña Cámara Hurtado y la Dra. Patricia Morales Gómez, por haberme aceptado y confiado, brindándome sus valiosas y muy acertados consejos, por su constante seguimiento, dedicación y esfuerzo. Agradecerles a ambas por su lado humano, tan apacible y bondadosas, aunque algunas veces yo requería de su carácter académicamente enérgico que a la larga me han enseñado bastante.

Mi consideración y agradecimiento al Departamento de Nutrición y Ciencia de los Alimentos, porque he sentido mucho aprecio y amistad de parte de todas las profesoras que laboran en ella desde el primer momento de mi estancia, la cual me ayudó bastante en habituarme en este nuevo escenario que para mí representaba, y realmente he vivido muy buenas experiencias que coadyuvan mi formación profesional. Cabe mencionar mi agradecimiento a la Facultad de Farmacia, a todo el personal y en especial a la secretaría de estudiantes, quienes me tuvieron consideración en las atenciones administrativas.

Quiero agradecer a todos con los que día a día pasamos momentos interesantes de trabajo dentro del departamento, Laura, María, Erika, Rocío, José Ignacio, Cristina, Lorena, entre muchos otros que pasaron durante mi permanencia. En especial quiero expresar mi agradecimiento a María por que en algún momento supo alcanzarme su apoyo incondicional y por sus palabras de ánimo, a Laura y Erika, quienes siempre tuvieron a bien de expresarme sus palabras de aliento y ánimo.

Durante mi permanencia en el departamento, siempre he tenido una atención y apoyo constante en las labores de laboratorio, por el cual mi agradecimiento a Javier y Ana.

Mi agradecimiento especial a la Dra. Mercedes Martín Pedrosa, por haberme aceptado y acogido en el Departamento de Tecnología de Alimentos del Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria (INIA). Me gustaría agradecer también a la Dra. Carmen Cuadrado, a Blanca y sobre todo a Claudia, por sus palabras de ánimo y apoyo en las labores de laboratorio.

Quiero mostrar mi agradecimiento en esta página a la Universidad Nacional de Moquegua – Perú, que a través de sus proyectos de investigación y en específico el proyecto codificado con PII2019012, dirigida por la Dra. Genciana Serruto Medina, me permitieron realizar una estancia internacional predoctoral. Así mismo, expresar mi agradecimiento a Romualdo Vilca, por su apoyo incondicional durante mi estancia. De la misma forma, mi agradecimiento a las autoridades Universitarias de la mencionada casa de estudios que tuvieron a bien apoyar mi estancia en la ciudad de Madrid.

Es preciso, agradecer al Dr. José de J. Berrios por la formulación y extrusión de los nuevos productos en las instalaciones del USDA-ARS-WRRC (California, EE. UU.) y concederme para el desarrollo de este trabajo.

Debo las gracias también al programa nacional de becas PRONABEC – Perú, por concederme la manutención durante mi estadía en España, sin la cual sería imposible la realización de esta tesis. Gracias a todo el personal directivo y coordinadores por sus mensajes, sus conversatorios frecuentes y por su dedicación en el bienestar de los becarios en el extranjero.

A continuación, me gustaría expresar mis infinitas gracias a mis padres, quienes desde mis inicios supieron apoyarme y alentarme en esta difícil tarea de la vida académica, quizás les he puesto en momentos difíciles en que pudieron digerir la idea de no vernos físicamente por prolongados tiempos, preocupándolos y sin duda también alegrándolos, por todo ello he dedicado esta tesis. También agradecer la comprensión y apoyo moral de mis hermanos Javier, Richard y Edwin. A mi tío Ernesto, aunque ya no este, supo valorar la dedicación y el esfuerzo hasta el último instante. No puedo dejar de mencionarlo a mi familia política, que desde que me conocieron supieron comprender y apoyarnos con nuestras pretensiones como familia que hemos formado.

Finalmente, agradezco a mis dos retoños Abidán y Milena que, en medio de su inocencia, supieron sobrellevar momentos de mi ausencia y propiciaron esforzarme con mayor convicción. A Luz Marina, por su amor, comprensión y apoyo en llevar adelante esta fase de mi vida.

¡Infinitas gracias a todos!

## ABREVIATURAS

AGCC	Ácidos grasos de cadena corta
Agua (d)	Agua destilada
AMG	Amiloglucosidasa
AOAC	Asociación de Químicos Agrícolas Oficiales
APB	Aminoetil-difenilborinato
AX	Arabinoxilano
CDT	Carbohidratos disponibles totales
CE	Consejo Europeo
DRV	Valor dietético de referencia
EFSA	Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria
ETS	Estaquiosa sintasa
FI	Fibra insoluble
FOS	Fructooligosacárido
FS	Fibra soluble
FT	Fibra total
GAE	Equivalente de ácido gálico
GO	Galactooligosacárido
GOPOD	Glucosa oxidasa-peroxidasa
GST	Galactosil transferasa
HPLC	Cromatografía líquida de alta resolución
INIA	Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria
IUPAC	International Union Pure and Applied Chemistry
L/D	Relación longitud/diámetro
NSP	Non-Starch Polysaccharides/Polisacárido sin almidón
p	Probabilidad
p. ej.	Por ejemplo
QE	Equivalente en quercetina
R <sup>2</sup>	Coefficiente de correlación
rpm	Revoluciones por minuto
RS	Rafinosa sintasa
RS	Resistant Starch/almidón resistente
SME	Specific Mechanical Energy/Energía mecánica específica

UDP	Uridina difosfato
UE	Unión Europea
UNAM	Universidad Nacional de Moquegua
USDA	United States Department of Agriculture

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>9</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1 EXTRUSIÓN DE ALIMENTOS</b> .....	<b>17</b>
1.1.1. Variables del proceso de extrusión.....	19
1.1.2. Propiedades y parámetros tecnológicos de alimentos extruidos.....	25
1.1.3. Aplicaciones alimentarias de la tecnología de extrusión.....	28
<b>1.2. CEREALES Y LEGUMINOSAS DE INTERES</b> .....	<b>32</b>
1.2.1. El maíz ( <i>Zea mays L.</i> ) .....	32
1.2.2. La lenteja ( <i>Lens culinaris L.</i> ) .....	34
<b>1.3. CARBOHIDRATOS EN CEREALES Y LEGUMINOSAS</b> .....	<b>37</b>
1.3.1. La fibra dietética .....	38
1.3.2. Arabinosilanos .....	41
1.3.3. $\alpha$ -galactósidos.....	44
1.3.4. El almidón: amilosa y amilopeptina .....	47
1.3.5. Almidón resistente .....	56
<b>1.4 COMPUESTOS FENÓLICOS EN CEREALES Y LEGUMINOSAS</b> .....	<b>57</b>
<b>1.5 SUBPRODUCTOS DE LA UVA</b> .....	<b>60</b>
<b>2. OBJETIVOS/ OBJECTIVES, PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b> .....	<b>63</b>
<b>2.1 OBJETIVOS/ OBJECTIVES</b> .....	<b>65</b>
<b>2.2 PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO</b> .....	<b>67</b>
<b>3. MATERIALES</b> .....	<b>69</b>
<b>3.1. HARINAS E INGREDIENTES</b> .....	<b>71</b>
3.1.1. Harinas: Maíz ( <i>Zea mays L.</i> ) y Lenteja ( <i>Lens culinaris L.</i> ).....	71
3.1.2. Subproductos de la vinificación: Piel y semilla de uva .....	72
3.1.3. Otros: Almidón Hylon® V, sal y azúcar .....	73
<b>3.2. FORMULACIONES</b> .....	<b>74</b>
<b>3.3. PROCESO DE EXTRUSIÓN APLICADO</b> .....	<b>78</b>
<b>4. METODOLOGIA ANALÍTICA</b> .....	<b>81</b>
<b>4.1. DETERMINACIÓN DE LA FIBRA DIETÉTICA</b> .....	<b>84</b>
<b>4.2. DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS DISPONIBLES TOTALES</b> .....	<b>87</b>
<b>4.3. DETERMINACIÓN DE AZÚCARES SOLUBLES: CICERITO Y <math>\alpha</math>-GALACTÓSIDOS</b> .....	<b>91</b>
<b>4.4. DETERMINACIÓN DE ARABINOSILANOS</b> .....	<b>94</b>
<b>4.5. DETERMINACIÓN DE ALMIDÓN TOTAL</b> .....	<b>99</b>
<b>4.6. DETERMINACIÓN DE AMILOSA Y AMILOPECTINA</b> .....	<b>101</b>

4.7.	<b>DETERMINACIÓN DE ALMIDÓN RESISTENTE</b> .....	105
4.8.	<b>DETERMINACIÓN DE FENOLES TOTALES</b> .....	109
4.9.	<b>DETERMINACIÓN DE FLAVONOIDES TOTALES</b> .....	113
4.10.	<b>DETERMINACIÓN DE ANTOCIANINAS</b> .....	115
5.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	117
5.1.	<b>HARINAS DE MAÍZ Y LENTEJA, MUESTRAS CONTROL CRUDAS Y EXTRUIDAS: INFLUENCIA DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN</b> .....	120
5.1.1.	Fracción hidrocarbonada .....	120
5.1.2.	Compuestos fenólicos .....	124
5.2.	<b>HARINAS (MAÍZ Y LENTEJA) CON INCORPORACIÓN DE PIEL DE UVA (CABERNET SAUVIGNON) FERMENTADA Y HYLON® V: FRACCIÓN HIDROCARBONADA Y COMPUESTOS FENÓLICOS</b> .....	127
5.2.1.	Fibra dietética.....	127
5.2.2.	Carbohidratos Disponibles Totales .....	133
5.2.3.	Oligosacáridos: Ciceritol y $\alpha$ -Galactósidos .....	136
5.2.4.	Arabinosilanos .....	141
5.2.5.	Almidón Total (fracción de Amilosa y Amilopectina) y Almidón Resistente .....	144
5.2.6.	Compuestos Fenólicos (Fenoles totales, flavonoides y antocianinas totales).....	151
5.3.	<b>HARINAS (MAÍZ Y LENTEJA) CON INCORPORACIÓN DE SEMILLA DE UVA (CABERNET SAUVIGNON) FERMENTADA Y HYLON® V: FRACCIÓN HIDROCARBONADA Y COMPUESTOS FENÓLICOS</b> .....	157
5.3.1.	Fibra dietética.....	158
5.3.2.	Carbohidratos Disponibles Totales .....	162
5.3.3.	Azúcares Solubles: Ciceritol y $\alpha$ -Galactósidos .....	166
5.3.4.	Arabinosilanos .....	170
5.3.5.	Almidón Total (amilosa y amilopectina) y Almidón Resistente .....	174
5.3.6.	Compuestos fenólicos (Fenoles, flavonoides y antocianinas totales).....	179
5.4.	<b>HARINAS (MAÍZ Y LENTEJA) CON INCORPORACIÓN DE SEMILLA DE UVA (CHARDONNAY) NO FERMENTADA Y HYLON® V: FRACCIÓN HIDROCARBONADA Y COMPUESTOS FENÓLICOS</b> .....	185
5.4.1.	Fibra dietética.....	186
5.4.2.	Carbohidratos Disponibles Totales .....	191
5.4.3.	Azúcares solubles: Ciceritol y $\alpha$ -Galactósidos .....	195
5.4.4.	Arabinosilanos .....	198
5.4.5.	Almidón Total (amilosa y amilopectina) y Almidón Resistente .....	202
5.4.6.	Compuestos fenólicos (Fenoles, flavonoides y antocianinas totales).....	206
5.5.	<b>COMPARACIÓN DE LOS ALIMENTOS EXTRUIDOS</b> .....	213
6.	<b>CONCLUSIONES/CONCLUSIONS</b> .....	225
7.	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	245

## RESUMEN



## **CALIDAD NUTRICIONAL Y FUNCIONAL DE HARINAS EXTRUIDAS A BASE DE MAÍZ Y LENTEJA CON SUBPRODUCTOS DE VINIFICACIÓN**

Durante este siglo XXI, las extrusoras han pasado de ser simples dispositivos de conformado de alimentos a ser equipos muy sofisticados, como son las extrusoras de doble tornillo, mejorando especialmente la flexibilidad de esta tecnología y ampliando significativamente su potencial aplicación en la industria alimentaria.

Los cereales son los ingredientes habitualmente utilizados para los procesos de cocción por extrusión debido a su contenido de almidón, que es esencial para generar las deseables características reológicas de las mezclas y facilitar el proceso de extrusión. Entre los cereales, el maíz es uno de los ingredientes más utilizados en la elaboración de snacks, debido en gran medida a su amplia disponibilidad y excelentes características de expansión. Así mismo, por la versatilidad y flexibilidad característica del proceso de extrusión, se han expandido el uso de esta tecnología a alimentos a base de leguminosas como las lentejas.

El **objetivo principal** del presente trabajo de investigación es: Estudiar nuevos productos extruidos a base de maíz y lenteja enriquecidos con subproductos del proceso de la vinificación, evaluando de su calidad nutricional y funcional. Para dar cumplimiento a este objetivo general, se han establecido los siguientes **objetivos específicos**:

- Valorar la influencia del proceso de extrusión sobre harina control a base de maíz y lenteja en la fracción hidrocarbonada y compuestos fenólicos.
- Estudiar el efecto de la formulación de harinas de maíz y lenteja enriquecidas con Hylon® V y con distintos subproductos de vinificación: Piel de uva (*Cabernet Sauvignon*) fermentada; Semilla de uva (*Cabernet Sauvignon*) fermentada y Semilla de uva (*Chardonnay*) no fermentada, en su composición química.

- Valorar la influencia del proceso de extrusión en las harinas formuladas y los cambios en su composición química: fracción hidrocarbonada y compuestos fenólicos.

Respecto a las **muestras de interés**, en el presente estudio se ha utilizado harina a base de maíz (70%) y lenteja (30%) como harina control. Para elaborar 100 g de harina control, se partió de 93,75 g de mezcla maíz y lenteja (70:30) a la que se adicionó 1,25 g de sal y 5 g de azúcar la cual se analizó en tanto cruda como tras el proceso de extrusión. La combinación realizada entre el maíz y la lenteja (cereal y leguminosa), como harina base, tiene como objetivo principal obtener un alimento tipo snack con proteínas de alto valor biológico, de manera que se complemente el perfil de aminoácidos esenciales en el producto final. A partir de esta harina control se realizaron distintas formulaciones incluyendo diferentes subproductos (semillas y piel) procedentes de la elaboración del vino, almidón alto en amilosa (Hylon® V), azúcar y sal. Y se utilizaron los siguientes subproductos del proceso de vinificación tanto de uva tinta (*Cabernet Sauvignon*), como blanca (*Chardonnay*): Piel de uva (*Cabernet Sauvignon*) fermentada; Semilla de uva (*Cabernet Sauvignon*) fermentada; y Semilla de uva (*Chardonnay*) no fermentada.

Las distintas proporciones de la mezcla maíz y lentejas fueron incorporadas con diferentes porcentajes (5 y 20%) de piel/semilla de uva de la variedad tinta *Cabernet sauvignon* (piel y semilla fermentadas), la variedad de uva blanca *Chardonnay* (semilla no fermentada) y almidón Hylon® V (5 y 20%), más la adición de dos componentes fijos como sal y azúcar en todas las formulaciones. Los nuevos productos extruidos a base de maíz y lenteja enriquecidos con subproductos de la vinificación fueron diseñados y elaborados por el Dr. José de J. Berrios en las instalaciones del USDA-ARS-WRRC (California, EE. UU.).

Respecto a la **metodología analítica**, dentro de la fracción hidrocarbonada se realizó la determinación de: Fibra dietética, Carbohidratos disponibles totales, Azúcares solubles y

$\alpha$ -galactósidos, Arabinosilanos, Almidón total (amilosa y amilopectina) y Almidón resistente. Y respecto a los compuestos fenólicos, la determinación de fenoles totales, flavonoides totales y antocianinas totales. Todas las determinaciones se hicieron usando métodos estandarizados de análisis.

**Los resultados** obtenidos en la presente tesis doctoral, capítulo 5, se han dividido en dos bloques para su discusión. El primero hacer referencia al efecto del proceso de extrusión en las muestras de harina (maíz y lenteja) control (capítulo 5.1). A continuación, en los capítulos 5.2, 5.3, y 5.4., se estudia el efecto de la formulación, y posterior extrusión, de las mezclas de harina (maíz y lenteja) con la incorporación de distintos subproductos de la uva y Hylon® V: Piel de uva (*Cabernet Sauvignon*) fermentada; Semilla de uva (*Cabernet Sauvignon*) fermentada y Semilla de uva (*Chardonnay*) no fermentada. Y un último capítulo (5.5.) dedicado a la comparación de los distintos alimentos extruidas con el fin de seleccionar aquella formulación con mejor calidad nutricional y funcional. Una vez discutidos los resultados obtenidos, en el capítulo 6 se recogen las conclusiones del trabajo realizado.

Respecto al **contenido de fibra**, la adición tanto de piel como de semillas de uva a las harinas (maíz:lenteja, 70:30) supone un aumento significativo del contenido de Fibra Total siendo la fracción de Fibra Insoluble la que contribuye a este aumento en mayor medida. Dentro de las distintas formulaciones, aquellas con un 20% de semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada destacan por su mayor contribución, mientras que la adición de almidón Hylon® V no supone ningún efecto significativo. Todas las harinas consideradas en este estudio, de acuerdo con el Reglamento (CE) nº 1924/2006 pueden considerarse como fuente de fibra (al contener más de 3 g/100g), siendo todas ellas formulaciones interesantes para el desarrollo de alimentos funcionales.

Respecto al contenido **en carbohidratos disponibles totales**, expresados como gramos de glucosa en 100 gramos de alimento extruido, las distintas formulaciones consideradas en este estudio tienen un contenido en hidratos de carbono totales menor al de la harina control. Esta disminución en el contenido en carbohidratos totales tiene un efecto beneficioso en la reducción del valor calórico de las harinas extruidas que pasan de proporcionar 285,84 (harina control extruida) a 211,64 (de la muestra CS-SdF-Ext3) Kcal/100g (procedentes de los CDT). La formulación con menor valor calórico corresponde a las harinas formuladas con un 20% de semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y un 5% de Hylon® V.

Si profundizamos en la identificación y cuantificación de los distintos **oligosacáridos** presentes en las harinas extruidas analizadas podemos ver que la estaquiosa es el oligosacárido  $\alpha$ -galactósido mayoritario en todas ellas seguido del ciceritol y en cantidad significativamente menor la rafinosa. La harina extruida con menor contenido de oligosacáridos, es la muestra Ch-Sd-Ext4 que corresponde a la harina formulada con maíz y lenteja (70:30) con incorporación de un 20 % de semilla de uva *Chardonnay* no fermentada y un 20 % Hylon® V. Esta harina es considerada interesante debido a su reducido efecto potencial flatulento.

Otro componente de interés son los arabinosilanos. Todas las formuladas harinas extruidas presentan un contenido en arabinosilanos extractables más bajo al de la harina control. Los cambios más significativos se observan en el aumento del contenido de arabinosilanos totales en aquellas muestras con incorporación de un 5% de subproducto de vinificación y un 20% Hylon® V), aquellas con incorporación de un 20 % de subproducto de vinificación) y un 20% Hylon® V. Esto indica que es el Hylon® V el ingrediente que contribuye en mayor medida al contenido en arabinosilanos totales, con

independencia del subproducto de vinificación adicionado (piel o semilla) y de la variedad de uva considerada *Cabernet Sauvignon* ó *Chardonnay*.

Respecto al contenido en **almidón** la fracción de almidón resistente (AR) es la minoritaria. No obstante, el AR es superior en las harinas extruidas y sin procesar que en las correspondientes harinas control. Eso es posiblemente debido a la incorporación de Hylon® V, ya que este almidón es alto en AR. Respecto al contenido en almidón total se destaca la muestra extruida conteniendo 5% de piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y 20% de Hylon® V que corresponde a la formulación CS-SkF-Ext2. En las harinas extruidas control (maíz y lenteja 70:30), la proporción de amilosa:amilopectina era de 20:80 siendo el maíz el ingrediente que mayormente influencia este resultado.

El contenido en **fenoles totales** es superior en todas las formulaciones enriquecidas con subproductos de la vinificación en comparación con las harinas control. Mas aun, las formulaciones con una incorporación de subproducto de uva del 20% son las que presentan mayores contenidos en fenoles totales destacando aquellas formuladas con semilla de uva *Chardonnay* sin fermentar. Esas muestras, presentan valores seis veces superiores de fenoles totales en comparación con la harina control extruida. Esto significa que la adición de subproductos de la uva tiene un efecto positivo en la calidad funcional de las harinas extruidas.

Si nos fijamos en los contenidos en **flavonoides totales**, vuelven a destacar las formulaciones con semilla de uva *Chardonnay* sin fermentar tanto con un 5% y aún más con 20% del subproducto. Esto significa que el potencial antioxidante de esta variedad, debido a su pigmentación amarilla, es superior al de *Cabernet Sauvignon* que es de pigmento rojo.

Por último, el estudio comparativo del contenido en **antocianinas totales**, pone en evidencia que todas las harinas formuladas con subproductos de vinificación presentan contenidos superiores de este compuesto bioactivo que la harina control. Además, los valores son significativamente muy superiores con la adición del 20% de los subproductos de vinificación, tanto de piel como semillas de las variedades *Cabernet Sauvignon* y *Chardonnay*.

**ABSTRACT**

***NUTRITIONAL AND FUNCTIONAL QUALITY OF EXTRUDED FLOURS  
BASED ON CORN AND LENTIL WITH WINEMAKING BY-PRODUCTS***

During this 21st century, extruders have gone from being simple forming devices to being highly sophisticated equipment, such as twin-screw extruders, especially improving the flexibility of this technology and significantly expanding its application potential in the food industry.

Cereals and their ingredients are commonly used for extrusion cooking processes due to their starch content, which is essential for generating the desirable rheological characteristics of the feed to facilitate the extrusion process. Specifically, corn is one of the most used ingredients in the preparation of snacks, largely due to its wide availability and excellent expansion characteristics. In addition, due to the versatility and flexibility characteristic of the extrusion process, the expansion of lentil-based foods has also been possible.

The main objective of this research work is: The study of new extruded products based on cereals and pulses enriched with Hylon® V and different by-products of winemaking, and the evaluation of their nutritional and functional quality. And the specific objectives are:

- Assess the influence of the extrusion process on cereal and pulse control flours on the hydrocarbon fraction and phenolic compounds.
- Study the effect of formulating cereal and pulse-based flours with Hylon V and different by-products of winemaking: fermented grape skin (*Cabernet*

*Sauvignon*); Fermented Grape Seed (*Cabernet Sauvignon*) and Unfermented Grape Seed (*Chardonnay*) on their chemical composition.

- Evaluate the influence of the extrusion process on the formulated flours assessed by the changes in their chemical composition: hydrocarbon fraction and phenolic compounds.

In this study, a mixture of corn flour (70%) and lentil flour (30%) was used as control flour. To make 100 g of control flour, 93.75 g of a mixture of corn and lentils (70:30) was used, to which 1.25 g of salt and 5 g of sugar were added. The combination between corn and lentil (cereal and pulses) as base was performed to obtain a snack-type food product with proteins of high biological value, in order to complement the essential amino acids profile in the final product. The resulted control flour was analyzed both raw and after the extrusion process. This based control flour, was formulated using high amylose starch (Hylon® V) and different by-products of winemaking: fermented grape skin (*Cabernet Sauvignon*); fermented grape seed (*Cabernet Sauvignon*) and unfermented grape seed (*Chardonnay*).

Different proportions of the corn and lentil mixture flour (control), were formulated with Hylon® V starch (5 and 20%) and with 5 and 20% of the skin and seed of the grape from red *Cabernet Sauvignon* variety (fermented skin and seed); white *Chardonnay* grape variety (non-fermented seed) additionally, salt and sugar were included in all formulations as fixed flavor additives. The novel corn and lentil-based extruded products with the addition of the different by-products of winemaking were designed and produced by Dr. José de J. Berrios at the USDA-ARS-WRRC facilities (California, USA).

Regarding the analytical methodology, within the hydrocarbon fraction, the determination of: dietary fiber, total available carbohydrates, soluble sugars and  $\alpha$ -

galactosides, Arabinoxylans, total starch (amylose and amylopectin) and resistant starch was performed. And regarding phenolic compounds, the determination of total phenols, flavonoids and total anthocyanins were evaluated. All the determinations were made using standard methods of analysis.

The results obtained in this doctoral thesis, chapter 5, have been divided into two blocks for discussion. The first chapter refers to the effect of the extrusion process on the control flour samples (mix of corn and lentil) (chapter 5.1). In chapters 5.2 and 5.3, the effect of the formulation, and subsequent extrusion, of the control (mix of corn and lentil) flour with the incorporation of Hylon® V and different by-products of winemaking: fermented grape skin (*Cabernet Sauvignon*); fermented grape seed (*Cabernet Sauvignon*) and unfermented grape seed (*Chardonnay*), were studied. The last chapter (5.5.) deals with the comparison of the different developed extruded foods, in order to select the formulation with the best nutritional and functional quality. Once the results obtained have been discussed, chapter 6 present the conclusions of the work carried out.

Regarding fiber content, the addition of both skin and grape seeds to the control flour (Corn:lentil, 70:30) promoted a significant increase in the Total Fiber content. The Insoluble Fiber fraction was the one that most greatly contributed to this increase. Within the different formulations, those with 20% fermented *Cabernet Sauvignon* grape seed stand out for their greatest contribution, while the addition of Hylon® V starch did not have any significant effect. All flours evaluated in this study, in accordance with Regulation (CE) n° 1964/2006, can be considered as a source of fiber (containing more than 3 g/100g). All the formulated extruded flours present great potential for the development of functional foods.

Regarding the total available carbohydrate content (from the total carbohydrates) expressed as grams of glucose in 100 grams of extruded food, the different formulated samples considered in this study had a lower total carbohydrate content than the control sample. This lower content in total carbohydrate of the extruded flours represent a beneficial effect in reducing the caloric value of these samples, which go from a content of 285.84 Kcal/100g in the control extruded flour to 211.64 Kcal/100g in the CS-SdF-Ext3 sample. Moreover, the formulation with the lowest caloric value corresponds to the flours formulated with 20% fermented *Cabernet Sauvignon* grape seed and 5% Hylon® V.

The identification and quantification of the different oligosaccharides present in the extruded flours analyzed, reveal that stachyose is the major alpha galactoside oligosaccharide in all of them, followed by ciceritol and raffinose in significantly less quantity. The extruded formulation, with the lowest oligosaccharide content was the one formulated with 20% *Chardonnay* grape seed non-fermented and 20% Hylon® V. This sample is considered interesting, due to its potential reduced flatulence effect.

The determination of the content of arabinoxylans is also a subject of interest the in the studied novel flours. All the formulations had a content of extractable arabinoxylans somewhat lower than that of the extruded control flour. The most significant changes are observed in the increase in the content of total arabinoxylans in those samples containing 20% of Hylon® V and 5% of the different by-products of winemaking (prevoulsy indicated). This indicates that Hylon® V is the ingredient that contributes the most to the total arabinoxylans content, regardless of the type of by-product of winemaking used in the formulations under study.

Regarding the starch content, the fraction of resistant starch (RS) represented the minor component. Although, RS is higher in the extruded and formulated flours than in their corresponding control flours. This is possibly due to the incorporation of Hylon® V, since this specialty starch is rich in RS. With respect to total starch content, the samples with 5 % of fermented *Cabernet Sauvignon* grape skin and 20% Hylon® V of starch stand out. This flour formulation corresponds specifically to sample CS-SkF-Ext2. In the control extruded flours (corn and lentil 70:30), the ratio of amylose:amylopectin was 20:80, being corn the higher contributor to this result.

The total phenol content is higher in all the by-products of winemaking enriched formulations compared to the control flour. Moreover, the formulations with a 20% incorporation of grape by-product are the formulations with the highest contents in total phenolics highlighting those formulated with unfermented *Chardonnay* grape seed. Those sample contained six times higher values of total phenols, compared to the extruded control flour. This indicates that the addition of grape by-products has a positive effect on the functional quality of the extruded meals.

Regarding total flavonoid content, the formulations with unfermented *Chardonnay* grape seed stand out again, with 5% and even more with 20% of this by-product. This means that the antioxidant potential of this variety, due to their yellow pigmentation, is higher than that of *Cabernet Sauvignon* containing red pigment.

Finally, the study of total anthocyanin content shows that all the tested formulated flours containing by-products of winemaking had higher contents of this bioactive compound than the control flour. In addition, the values are significantly higher at 20% addition of by-products of winemaking, from skin and seeds, of the varieties *Cabernet Sauvignon* and *Chardonnay*.



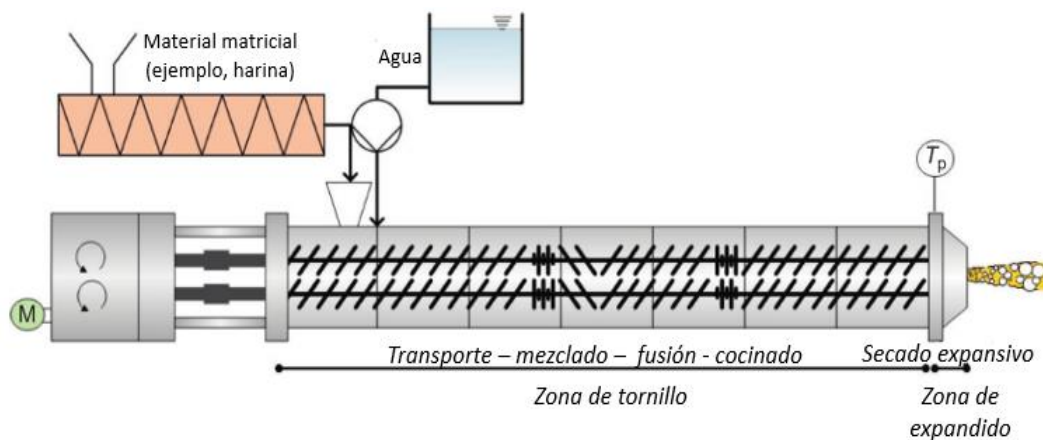


**1** INTRODUCCIÓN



### 1.1 EXTRUSIÓN DE ALIMENTOS

Desde el punto de vista tecnológico, "extrusión" (de la palabra latina *extrudere*) significa acción de expulsar (Berk, 2018; Rauwendaal, 2019). Es un proceso termo-mecánico, en el que los materiales previamente acondicionados, se introducen en una envoltura cilíndrica, llamada barril, se transportan, mediante uno o dos tornillos de Arquímedes, donde los materiales introducidos sufren una transformación física y química debido a las tensiones térmicas y mecánicas generadas por los tornillos que giran y el calentamiento de los barriles, con el posterior moldeado al paso forzado a través de una restricción o matriz de pequeña dimensión (Emin, 2016; Kristiawan, Chaunier, Sandoval, & Della Valle, 2020) (**figura 1**).



**Figura 1.** Esquema típico de una extrusora adaptado de Emin (2015)

La extrusión es una tecnología de procesamiento continuo, que implica una serie de operaciones unitarias, como transporte, compresión, mezclado, cizallamiento, plastificación, fusión, cocción, desnaturalización, fragmentación, texturización, conformación, extrusión reactiva, funcionalización, separación, etc., dando como

resultado una gran cantidad de cambios complejos en los alimentos, tales como la textura, la microestructura, el color y el sabor (Emin, 2016; Fellows, 2017; Yang et al., 2020).

La tecnología de extrusión básica se conoce desde hace tiempo (Riaz, 2019). Berk (2018) y Singh & Heldman (2014), han descrito cronológicamente la secuencia de su desarrollo. Inicialmente, la extrusión industrial se aplicaba fundamentalmente en la metalurgia y en el procesamiento de polímeros plásticos. La primera patente de extrusión para fabricar tubos de plomo se emitió en 1797, por lo que se puede afirmar que, los orígenes del proceso de extrusión están estrechamente asociados con la ciencia y la tecnología de los polímeros. A mediados de la década de 1850, la extrusión se utilizó para producir el primer tubo de plomo sin costura. El primer termoplástico artificial, el celuloide, se obtuvo en la década de 1860 como resultado de una reacción entre la celulosa y el ácido nítrico. La fabricación de baquelita en 1907 y la resina de recubrimiento protector, gliptal, en 1912, también dependían del procesamiento de extrusión.

Las aplicaciones formales de los procesos de extrusión de los alimentos comenzaron en la década de 1930 y evolucionaron durante los siguientes 50 años, a medida que los equipos para el procesamiento de extrusión aumentaron en capacidad y complejidad. Las máquinas de extrusión, para la cocción de snack expandidos se desarrollaron en la década de 1940 en Estados Unidos. En la década de 1960, se desarrollaron extrusoras simples y de menor coste para la cocción de soja, utilizada como alimento para animales. Una década después, las agencias y gobiernos internacionales adoptaron y promovieron la tecnología de extrusión para la producción de alimentos infantiles basados en mezclas de semillas oleaginosas y cereales.

En este siglo XXI, las extrusoras han pasado de ser simples dispositivos de conformado a ser equipos muy sofisticados, como son las extrusoras de doble tornillo, que tienen la

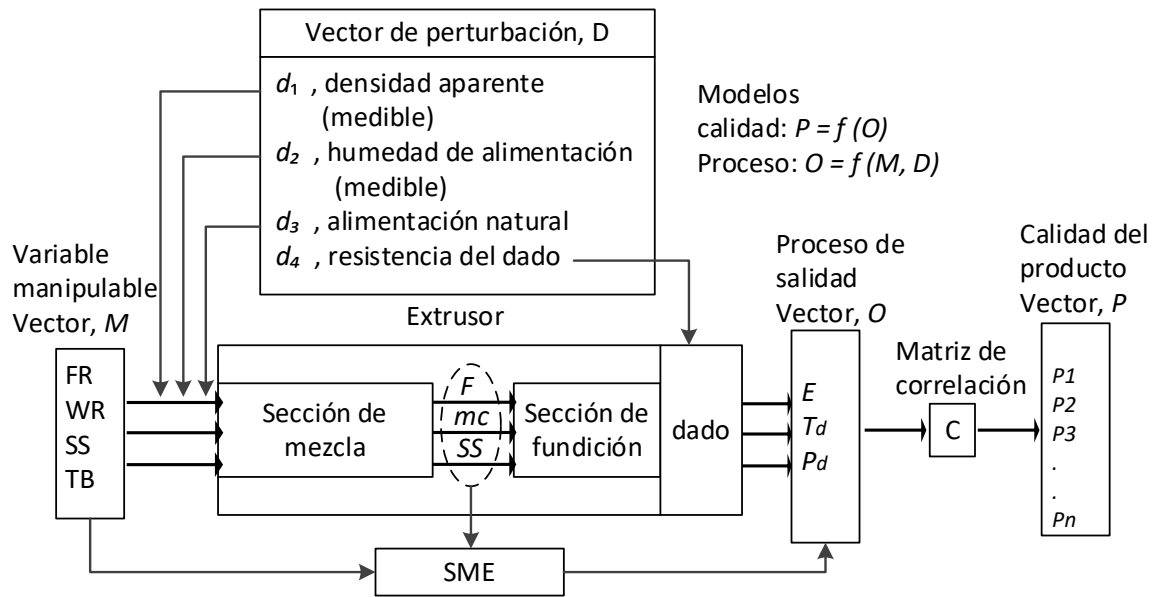
capacidad llevar a cabo un intercambio de calor considerablemente mayor que las extrusoras de un solo tornillo, mejorando especialmente la flexibilidad de esta tecnología y ampliando significativamente su potencial aplicación en la industria alimentaria (Emin, 2015; Guerrero, Beatty, Kerry, & de la Caba, 2012). Las últimas investigaciones dan cuenta de una tecnología mejorada de cocción por extrusión, que consiste en alargar el tornillo a fin de moderar las condiciones de procesamiento, cuya finalidad es la de mejorar los componentes bioactivos y la actividad funcional en el caso de los alimentos (Cheng et al., 2020). También, se ha fomentado la inyección de CO<sub>2</sub> para la formación de una estructura expandida, donde el CO<sub>2</sub> funciona como un agente de expansión en lugar de utilizar el vapor de agua tal y como se ha venido realizando en la extrusión tradicional (Wang & Ryu, 2013). Otro gas utilizado, más asequible, abundante y respetuoso con el medio ambiente es el nitrógeno, que fue también considerado como un potencial agente de expansión físico en la cocción por extrusión de alimentos (Li, Masatcioglu, & Koksel, 2019).

En los últimos años, la fabricación aditiva, denominada impresión tridimensional (3D), ha permitido elaborar estructuras complejas; donde el proceso de operación se controla digitalmente y los objetos tridimensionales se imprimen por extrusión, en la que la tinta a base de alimentos se fuerza a pasar a través de una boquilla como filamento para construir una estructura de alimentos en 3D capa por capa (Gholamipour-Shirazi, Norton, & Mills, 2019; Nijdam, LeCorre-Bordes, Delvart, & Schon, 2021).

### **1.1.1. Variables del proceso de extrusión**

Según la figura 2, se presenta un esquema de operación de un proceso típico de cocción por extrusión de alimentos, de la cual distintos autores coincidieron (Altan, McCarthy, & Maskan, 2008; Jebalia et al., 2019) en la configuración de las distintas variables de entrada - proceso - salida. Las variables de entrada se consideran como manipulables y

estos son: la velocidad de alimentación del ingrediente seco (FR), el agua agregada (Lee, Durst, Wrolstad, & Collaborators), la velocidad del tornillo (SS) y la temperatura del barril (TB). Las variables del proceso son aquellas que se configuran dentro del barril: la velocidad de alimentación total a través del extrusor (F), el contenido del agua que se añade a la mezcla alimenticia a extruir con el fin de homogenizar a una humedad específica que demanda la extrusora y la velocidad del tornillo (SS). Las variables de entrada y del proceso son llamadas variables dependientes. Promoviéndose finalmente, las variables de salida que son el resultado de las variables de entrada y del proceso (en función del material en extrusión) serían: potencia de funcionamiento del motor consumida según lo indicado por la carga del motor (E), la temperatura de fusión del producto (Td), la presión en la matriz (Pd) y la calidad del producto (P) (Kulshreshtha, Zaror, & Jukes, 1991). Las variables de salida son llamadas variables independientes. En ese sentido, la cocción por extrusión se puede ver como un proceso de 4 entradas x 4 salidas (Haley & Mulvaney, 2000). Otros estudios definieron que, las variables del producto (químicas) que se desea controlar, están fuertemente relacionadas con las variables del proceso (físicas) que se puede controlar (por ejemplo, Potencia de motor, Presión y Temperatura a la salida), por lo cual es necesario encontrar una matriz de correlación entre las variables del producto y las variables del proceso, pero las investigaciones han resuelto simplificar en cierta medida la multiplicidad de variables involucradas en el proceso de extrusión en una única variable de salida a la Energía Mecánica Específica (Costa, Cosme, Jordão, & Mendes-Faia, 2014; Moya & Becares, 2008; Ye, Liu, Luo, Hu, & McClements, 2018) a fin de relacionar las variables de proceso y las propiedades de los productos expandidos, como son la densidad, la relación de expansión, la solubilidad y el grado de gelatinización (Feng & Lee, 2014).



**Figura 2.** Proceso de Extrusión de Alimentos adaptado de Kulshreshtha et al. (1991)

Donde:

FR: velocidad de alimentación del ingrediente seco

WR: agua agregada

SS: velocidad del tornillo

TB: Temperatura de la camisa del barril

$d_1, d_2, d_3$  y  $d_4$ : perturbaciones asociadas con la extrusión

F: velocidad de alimentación total a través del extrusor

mc: contenido de humedad resultante

E: Potencia de funcionamiento del tornillo

$T_d$ : temperatura del producto

$P_d$ : presión

C: matriz de correlación

$P_1, P_2, P_3 \dots P_n$ : características del producto

La SME como variable única del proceso de extrusión, se define, como la cantidad de energía mecánica disipada como calor dentro del material, expresada en kJ/kg por unidad de masa del material; en otras palabras es la cantidad de trabajo que ingresa el motor

impulsor a la materia prima que se extruye y se produce como resultado de la fricción generada entre el tornillo y el producto, esta variable proporciona la característica del proceso de extrusión (Godavarti & Karwe, 1997; Guerrero et al., 2012; Kantrong, Charunuch, Limsangouan, & Pengpinit, 2018). La SME, se refiere a los esfuerzos de corte que se promueven cuando el material a extruir se introduce en el barril, es sometido al movimiento de rotación de los tornillos, donde se compacta y se impone a un corte más o menos intenso, de acuerdo con la geometría del tornillo y la velocidad de rotación (Kristiawan et al., 2020). Los parámetros que influyen en gran medida a la SME son la humedad de las materias primas o humedad de alimentación, la velocidad de alimentación, la velocidad del tornillo, la configuración del tornillo, la temperatura del barril y las propiedades de la materia prima, las cuales también son parámetros que caracterizan el proceso de extrusión (Feng & Lee, 2014; Kantrong et al., 2018). Así mismo, los tres parámetros más importantes del proceso de extrusión son la humedad de alimentación o la humedad del material mezclado que se alimenta al extrusor, la velocidad del tornillo y la temperatura del barril del extrusor (Kantrong et al., 2018).

Existen análisis en distintos procesos de extrusión a través de la SME, como el caso de un producto alimenticio tipo snack a base de maíz expandido, donde se revela que la SME y la velocidad del tornillo eran un par deseable de variables medidas y manipulables para regular la densidad del extruido (Haley & Mulvaney, 2000). También se menciona, que el cizallamiento del material aumenta con el incremento de la velocidad del tornillo que causa una mayor fricción entre el material, el tornillo y la pared del cilindro, lo que lleva a un incremento de la SME (Kantrong et al., 2018). Entonces, la SME disipada durante el cizallamiento se transforma en energía térmica, aumentando la temperatura del material y modificando las propiedades físicas y químicas del alimento extruido (Giraldo-Gómez, Rodríguez-Barona, & Sanabria-González, 2019).

## Introducción

En la siguiente tabla, a modo de ejemplo, se muestra el comportamiento de algunas mezclas alimenticias extruidas con la energía mecánica específica, SME (tabla 1).

**Tabla 1.** Comportamiento de algunas mezclas alimenticias extruidas con la energía mecánica específica, SME.

Mezclas extruidas	Relación de la energía mecánica específica	Referencias
Maíz con almidón no modificado	El valor de la SME se incrementa con almidón no modificado	(Chaudhary, Miler, Torley, Sopade, & Halley, 2008)
Maíz con almidón modificado o hidroxipropilado (80% de amilosa)	El valor de la SME es más bajo con almidón modificado	(Chaudhary et al., 2008)
Maíz y zanahoria	El aumento de la humedad conduce a un menor valor de la SME, lo que genera una transformación fisicoquímica reducida del almidón. Esto conduce a una menor expansión.	(Kaisangsri et al., 2016)
Maíz y Lentejas	La disminución de la SME es indicador de bajos valores de la tasa de absorción de agua de los extruidos. La menor capacidad de hidratación se ve favorecida por la formación de enlaces proteicos inter e intramoleculares con amilosa y amilopectina.	(Lazou & Krokida, 2010)
Maíz y Garbanzo	Un mayor contenido de proteína en la mezcla podría atribuirse a una disminución del SME. El aumento del contenido de grasa en la mezcla provoca una disminución de la SME, porque la presencia de lípidos más altos provoca la lubricación del cilindro de la extrusora.	(Shevkani et al., 2019)
Guisante	Cuando la SME es alto, hay una mayor disipación viscosa, posiblemente debido a su contenido de fibra.	(Jebalia et al., 2019)

El proceso de extrusión es flexible a la combinación de varios parámetros como temperatura, presión y contenido de humedad que se pueden combinar entre sí para crear una gama ilimitada de características del producto extruido como por ejemplo, la densidad de las piezas individuales de extruido que está en función de la diferencia de presión a través de la matriz (Singh & Heldman, 2014). En otros términos, las extrusoras son como

un biorreactor de funcionamiento continuo con opciones para variar variables de configuración y operación que producen muchos cambios químicos y estructurales complejos en forma de hidrólisis (dextrinización) e interacciones moleculares (interacciones hidrofóbicas y disulfuro, conjugación) (Arora, Yoon, Sriram, Singha, & Rizvi, 2020), por lo que la estructura de la matriz alimentaria extruida es un reto científico que tiene implicaciones importantes para la industria alimentaria.

Pese a los avances significativos en el modelado del flujo en extrusoras y de las propiedades mecánicas de los alimentos sólidos la producción de alimentos extruidos con una estructura específica todavía se basa en un enfoque de prueba y error (Kristiawan, Della Valle, Kansou, Ndiaye, & Vergnes, 2019). Varios estudios abordaron los efectos de los parámetros del proceso de extrusión (temperatura, velocidad y configuración del tornillo, presión, expansión, etc.) y las propiedades de la materia prima (por ejemplo, proporción de ingredientes, tamaño de partícula, contenido de humedad, entre otros) en la calidad del producto extruido (Dalbhagat, Mahato, & Mishra, 2019).

Las características del alimento extruido, dependen de distintas variables por ser una tecnología caracterizada por la eficiencia energética y corto tiempo de procesamiento (Morales, Cebadera-Miranda, et al., 2015; Muthukumarappan & Swamy, 2018), donde la materia prima previamente acondicionada (en forma de harina) y sometida a alta temperatura, alto cizallamiento y con niveles relativamente bajos en contenido de humedad, pueden modificar efectivamente la funcionalidad de las matrices alimentarias compuestas de cereales por medio de la gelatinización y degradación del almidón, la solubilización de la fibra dietética, la agregación de proteínas y la inactivación de factores antinutricionales (Patil & Kaur, 2018). Por lo tanto, se hace importante comprender las variables del proceso (temperatura, cizallamiento, tiempo de residencia, humedad, velocidad de alimentación, etc.) y sus efectos, sobre los cambios conformacionales y

bioquímicos inducidos en la materia prima para aprovechar al máximo las oportunidades de funcionalización por extrusión de diferentes matrices alimentarias (Arora et al., 2020).

### 1.1.2. Propiedades y parámetros tecnológicos de alimentos extruidos

La composición de harinas de mezcla (humedad, contenido de almidón, proteína, lípidos y fibra dietética) y parámetros del proceso de extrusión, como el tipo de extrusora, el perfil de temperatura del cilindro, distribución de presión y velocidad de los tornillos de la extrusora, tamaño y forma de la abertura de la matriz, definen las propiedades específicas de los extruidos, tales como, la estructura porosa, textura, expansión, densidad específica, entre otros (Zarzycki et al., 2015).

A continuación, se describen algunas **propiedades fisicoquímicas de alimentos extruidos**:

- **La expansión** es un fenómeno complejo que se produce como consecuencia de varios factores y mecanismos, influenciados por la composición del alimento y los parámetros del proceso de extrusión importantes para determinar la calidad del producto final; es una de las propiedades más importantes de los productos alimenticios que se obtienen mediante la cocción por extrusión a alta temperatura y baja humedad; dado que una expansión adecuada promueve la deshidratación y el desarrollo de una textura crujiente deseable del extruido final (Tańska, Konopka, & Ruszkowska, 2017). El índice de expansión, se determina dividiendo el diámetro radial del extruido entre el diámetro del orificio de la matriz de expansión de la extrusora (Li et al., 2019), aunque algunos autores mencionan solo la medición del diámetro del extruido que sale del extrusor (Ying et al., 2017).
- **La porosidad aparente** de los extruidos, hace referencia a los poros formados en los extruidos, debido a la expansión, cuyo efecto es debido a las condiciones de

extrusión como humedad y velocidad del tornillo (Chevanan, Rosentrater, & Muthukumarappan, 2008). El cálculo para determinar la porosidad se hace a través de una relación del volumen a granel y el volumen aparente (Rathod & Annapure, 2016)

- **La densidad** es otra propiedad física importante de los extruidos y, por lo general, está muy relacionada de forma inversa con los valores de expansión (Tańska et al., 2017). **La densidad específica** de los extruidos es la relación entre la masa del extruido y su volumen correspondiente a una sección del extruido (Zarzycki et al., 2015). La densidad está inversamente relacionada con el grado de cocción del componente de almidón, esto se atribuye al hecho de que a medida que aumenta el grado de cocción, las paredes porosas se vuelven más delgadas como resultado de una disminución de la viscoelasticidad del extruido, y como resultado se obtiene un producto más ligero (Pastor-Cavada, Drago, & González, 2014).
- **El índice de absorción**, indica la cantidad de agua inmovilizada por el extruido o la cantidad de agua absorbida por el almidón y puede usarse como índice de gelatinización, ya que se sabe que los gránulos de almidón descompuestos se unen más con el agua (Carvalho, Takeiti, Onwulata, & Pordesimo, 2010; Mezreb, Goullieux, Ralainirina, & Queneudec, 2003). El índice de absorción, es igual al peso del precipitado húmedo menos el peso del precipitado seco, dividido con el peso del extruido y multiplicado por 100 ( Li et al., 2019).
- **El índice de la solubilidad** es un indicador importante del grado de cocción; se trata de un parámetro que indica la degradación total que sufren los gránulos de almidón después de la gelatinización y dextrinización, dado que la degradación de los gránulos de almidón conduce a la producción de fragmentos solubles (Gutkoski & El-Dash, 1999; Pastor-Cavada et al., 2011). Son moléculas pequeñas

solubilizadas en agua, que son importantes para predecir el comportamiento del material extruido (Mezreb et al., 2003). En términos de medición, es la relación del peso de sólidos disueltos, sobre el peso del extruido, multiplicado por 100 ( Li et al., 2019).

- **La viscosidad**, depende en gran medida del grado de gelatinización de los gránulos de almidón y de la velocidad de degradación molecular (Carvalho et al., 2010).
- **La textura**, refleja la dureza o la resistencia de la pared alveolar por unidad de espesor del extruido, es una propiedad que está en función de la composición del material alimenticio y el grado de desnaturalización de las proteínas durante el proceso de extrusión (Pastor-Cavada et al., 2014). Las propiedades de textura de los extruidos, se determinan a través de la frecuencia de ruptura, la fuerza específica promedio de rupturas, la fuerza de compresión promedio y el “trabajo” en estado fresco (Carvalho et al., 2010). En otros términos, la resistencia a la rotura se obtiene, provocando una fuerza máxima de rotura y dividida por el diámetro del extruido (Chaiyakul, Jangchud, Jangchud, Wuttijumnong, & Winger, 2009).
- **El color** de los extruidos puede indicar, el grado de reacción de pardeamiento, como caramelización y reacción de Maillard, el grado de cocción y degradación del pigmento de la matriz alimentaria durante la extrusión (Beswa, Dlamini, Amonsou, Siwela, & Derera, 2016).

De forma general, para las propiedades químicas de los alimentos extruidos, se definirían, contando, desde las condiciones de extrusión, las materias primas, tipo de almidón y grado de gelatinización, adición de otros ingredientes como azúcares, grasas, proteínas,

fibra dietética e inclusive los factores antinutricionales (Reyes-Pérez, Salazar-García, Romero-Baranzini, Islas-Rubio, & Ramírez-Wong, 2013).

### **1.1.3. Aplicaciones alimentarias de la tecnología de extrusión**

Hoy en día muchos productos alimenticios se procesan mediante cocción por extrusión, para transformar los ingredientes de los alimentos y obtener productos como cereales para el desayuno, pastas, productos cárnicos, refrigerios, galletas, productos de confitería, análogos de carne a base de soja, así como alimentos para mascotas y alimentos para animales (Emin, 2016; Fellows, 2017; Singh & Heldman, 2014). El proceso de extrusión conduce a cambios en las propiedades funcionales y la composición química de los productos (Witczak et al., 2021), ya que la funcionalidad modificada de las harinas extruidas ofrece amplias aplicaciones en la industria alimentaria como espesantes, gelificantes, ingredientes funcionales, sustitutos de grasas, snacks funcionales, cereales para el desayuno, aditivos para panes y mayonesas (Patil & Kaur, 2018). Es una tecnología, que permite producir una amplia gama de productos terminados listos para el consumo, por las distintas formas y texturas (Arribas, Cabellos, Cuadrado, Guillamón, & Pedrosa, 2019b; Bhattacharya, 2017).

Las materias primas, debido al proceso de extrusión aplicado, experimentan diversas transformaciones químicas y estructurales, como la gelatinización de almidón, la desnaturalización de proteínas, la formación de complejos entre amilosa y lípidos, y reacciones de degradación de vitaminas y pigmentos (Pardhi, Singh, Nayik, & Dar, 2019), obteniendo en muchos casos en importantes ventajas como, mayor digestibilidad de proteínas y almidón, solubilización de fibra, inactivación de toxinas, así como de factores antinutricionales y enzimas indeseables, como lipoxigenasas, peroxidasas, hemaglutininas, saponina y ureasa (Ciudad-Mulero et al., 2018; Muthukumarappan & Swamy, 2018; Zheng et al., 2020).

El desarrollo de nuevos productos alimenticios obtenidos por procesos de extrusión se ha incrementado en los últimos años. La extrusión es utilizada por la industria alimentaria para producir una amplia variedad de productos alimenticios, como alimentos listos para comer (por ejemplo, snack), entre otros. Las legumbres también han ganado popularidad como nuevos ingredientes alimentarios en la formulación de una variedad de alimentos y productos alimenticios, debido a su alto contenido de macro y micronutrientes y compuestos bioactivos que mejoran las propiedades nutricionales y funcionales de los productos alimenticios finales (Cotacallapa-Sucapuca et al., 2021).

**Productos funcionales:** Los consumidores son cada vez más conscientes de la importancia de la alimentación en la salud humana y optan preferentemente por alimentos funcionales (Dominguez et al., 2020). La extrusión es versátil con respecto a la incorporación de ingredientes, y ofrece una enorme oportunidad de modificar la funcionalidad de las matrices alimentarias, para mejorar la digestibilidad además de mejorar la calidad sensorial (Berrios, Morales, Cámara, & Sánchez-Mata, 2010; Patil & Kaur, 2018), y sobre todo que los diferentes compuestos bioactivos no se vean afectados en la misma medida que una cocción convencional (Arribas, Cabellos, Cuadrado, Guillamón, & Pedrosa, 2019a). Generalmente tienen como base los cereales y pseudocereales, como el maíz, por ser los más apropiados debido a que tiene excelentes propiedades de expansión y textura, pero con baja calidad nutricional, de modo que gracias a la flexibilidad de la extrusión, pueden mezclarse con cualquier otra matriz alimentaria como son las legumbres, permitiendo obtener un alimento con una proteína de mejor calidad, puesto que se integran cantidades significativas de los respectivos aminoácidos limitantes (Félix-Medina et al., 2020). Los snacks pueden de este modo enriquecerse con alto contenido de proteínas, fibra dietética, minerales, compuestos fenólicos y sean capaces de contribuir con beneficios para la salud para poder

considerarlos como alimentos funcionales (Patil & Kaur, 2018; Sisay, Emire, Ramaswamy, & Workneh, 2018). Los ingredientes para la extrusión, no solo se limitan a los cereales y legumbres, sino también puede abarcar a la incorporación de frutas y verduras, las que la hacen un producto funcional por poseer fibra dietética y otros compuestos funcionales como flavonoides, antocianinas y carotenoides (Offiah, Kontogiorgos, & Falade, 2019).

***Alimentos para diabéticos:*** La creciente demanda de los consumidores de productos alimenticios más saludables está llevando a los fabricantes de alimentos con almidón a desarrollar harinas con menor digestibilidad para reducir su índice glucémico (Ye et al., 2018). La incidencia de diabetes mellitus tipo 2, un trastorno metabólico severo, ha aumentado en los últimos años, y se estima que la incidencia aumentará del 4 a 5,4% en 2025, en consecuencia, existe la necesidad de fomentar dietas con bajo índice glucémico (menores de 55), como dieta óptima para los pacientes diabéticos (Ye et al., 2018). Sin embargo, durante el procesamiento de los alimentos, los tratamientos fisicoquímicos pueden afectar el perfil de digestibilidad, por tanto, el índice glucémico puede verse alterado; por ejemplo, la temperatura de extrusión promueve la dextrinización de las moléculas de almidón, fraccionadas en cadenas cortas que retienen mucha agua, aumentando la absorción y digestibilidad, aumentando el índice glucémico (Cruz-Ortiz et al., 2020). En ese sentido, las mezclas con legumbres además de adicionar fibras dietéticas, supone una disminución del índice glucémico en las formulaciones extruidas (Patil & Kaur, 2018). Otros investigadores, sugirieron el tratamiento enzimático de los extruidos con  $\beta$ -amilasa, que alteran las estructuras en forma amorfa, la cual tiene una menor digestibilidad, con implicaciones importantes para el desarrollo de productos alimenticios más saludables (Ye, Liu, et al., 2018). Los extruidos con almidones de alto contenido de amilosa están asociados con niveles más bajos de glucosa en sangre debido

a una absorción más lenta del tracto gastrointestinal humano en comparación con almidones de bajos niveles de amilosa, ya que se considera que el contenido de amilosa es el principal factor determinante para la producción de almidón resistente durante el proceso de extrusión (Patil & Kaur, 2018).

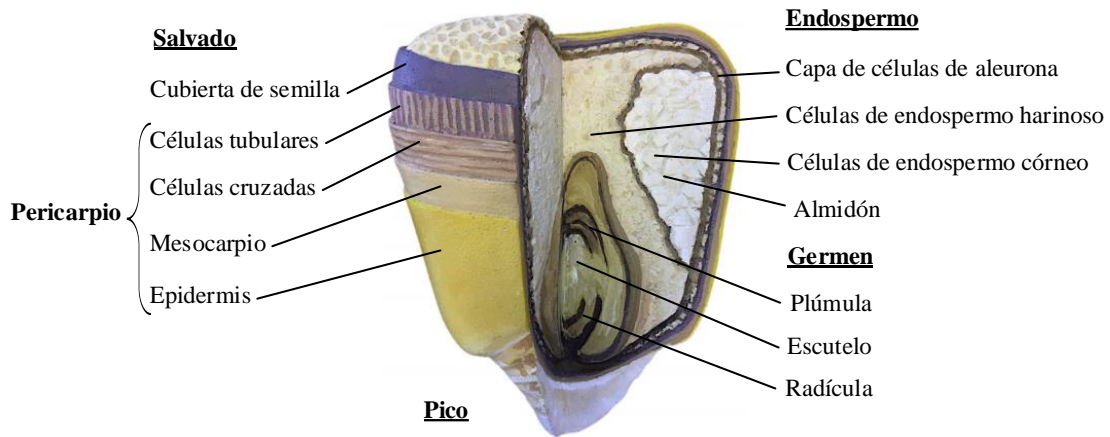
***Sustitutos de gluten:*** Actualmente, se estima que la enfermedad celíaca afecta a uno de cada 100 personas en todo el mundo; se trata de una enfermedad autoinmune grave que se presenta en personas genéticamente predispuestas en las que la ingestión de gluten daña el intestino delgado, siendo los agentes causales algunos productos alimenticios que contienen determinadas proteínas con capacidad de formar el gluten (gluteninas y gliadinas) y proteínas similares contenidas en el trigo, el centeno y la cebada; lo que supone como único tratamiento para la enfermedad celíaca seguir una dieta sin gluten (Ulasevich et al., 2020). El gluten es imprescindible para la formación de una red tridimensional viscoelástica responsable de la retención del gas producido durante la fermentación y desarrollo de la masa panaria como resultado de su expansión durante la cocción en la panificación (Ronda, Pérez-Quirce, & Villanueva, 2017). Por el contrario, las masas constituidas con granos sin gluten carecen de extensibilidad, elasticidad y cohesión debido a que la ausencia de gluten hace que su manipulación industrial sea un desafío mayor (Patil & Kaur, 2018). El uso de hidrocoloides representa el enfoque más extendido utilizado para imitar el gluten en la fabricación de panes sin gluten (Collar, 2019). Sin embargo, la cocción por extrusión modifica la funcionalidad de la harina mediante la gelatinización y degradación del almidón, la solubilización de la fibra dietética y la agregación de proteínas; todos estas reacciones consiguen que las harinas extruidas imitan la viscoelasticidad de la masa de trigo en formulaciones sin gluten para productos de panadería, por lo que podrían utilizarse como alternativa interesante al uso de los hidrocoloides como aditivo alimentario (Collar, 2019; Patil & Kaur, 2018).

### 1.2. CEREALES Y LEGUMINOSAS DE INTERES

Los cereales, particularmente los integrales, contienen altas cantidades de fibra dietética insoluble (celulosa, hemicelulosa, lignina), mientras que la fracción soluble de fibra está presente en cantidades significativas en la avena. Una ingesta diaria adecuada de cereales también proporciona carbohidratos solubles e insolubles, vitaminas del grupo B como B1, B3, B6 y B9 y minerales como magnesio, zinc, calcio y hierro (especialmente en cereales integrales). Las legumbres son alimentos ricos en hidratos de carbono, fibra y proteínas, con un importante valor nutricional. El almidón, la estaquiosa y la rafinosa representan los principales carbohidratos en estos alimentos de origen vegetal. A excepción de la metionina (presente en los cereales), las legumbres contienen todos los aminoácidos, incluida la lisina, que está limitada en los cereales. Por ello, se recomienda combinar el consumo de legumbres y cereales en una misma comida para aumentar su valor nutricional (Cámara et al., 2021).

#### 1.2.1. El maíz (*Zea mays* L.)

El maíz (*Zea mays* L.) pertenece a la familia Graminae (Poaceae). Es el cereal importante por su cultivo y consumo en el mundo, con una producción mundial de 1.161,86 millones de toneladas en 2022/2023 (USDA, 2022). El grano de maíz está compuesto por las siguientes partes: germen (11%), endospermo (83%), pericarpio con salvado (5%) y pico (1%) (García-Lara, Chuck-Hernandez, & Serna-Saldivar, 2019; Perdon & Holopainen-Mantila, 2020), tal como se observa en la figura 3.



**Figura 3.** Estructura del grano de maíz adaptado de Perdon y Holopainen-Mantila (2020)

En cuanto a su composición, los principales constituyentes son: agua (contenido de humedad), carbohidratos incluyendo fibra como polisacáridos no almidonados, proteínas, aminoácidos, lípidos, así como vitaminas, sustancias minerales, pigmentos y compuestos responsables de las características del sabor y aroma (Győri, 2017). Las harinas de maíz sin germen contienen aproximadamente de 80 a 90% de carbohidratos (70 a 75% de almidón y de 8 a 10% de fibra), de 6 a 8% de proteína y de 0,5 a 2% de grasa (Ek, Baner, & Ganjyal, 2020).

Los carbohidratos de maíz, en términos de su papel en el grano y uso funcional, se pueden dividir en dos clases generales; el almidón del endospermo y los polisacáridos no almidonados de las paredes celulares contenidos tanto en el endospermo como en las capas de salvado; siendo el almidón el carbohidrato principal que constituye alrededor del 85% del peso del endospermo del grano y el 72% del peso del grano total (Hamaker, Tuncil, & Shen, 2019). El almidón de maíz normal se compone, en peso, de aproximadamente 75 a 80% de amilopectina muy ramificada y de 20 a 25% de amilosa principalmente lineal (Hamaker et al., 2019).

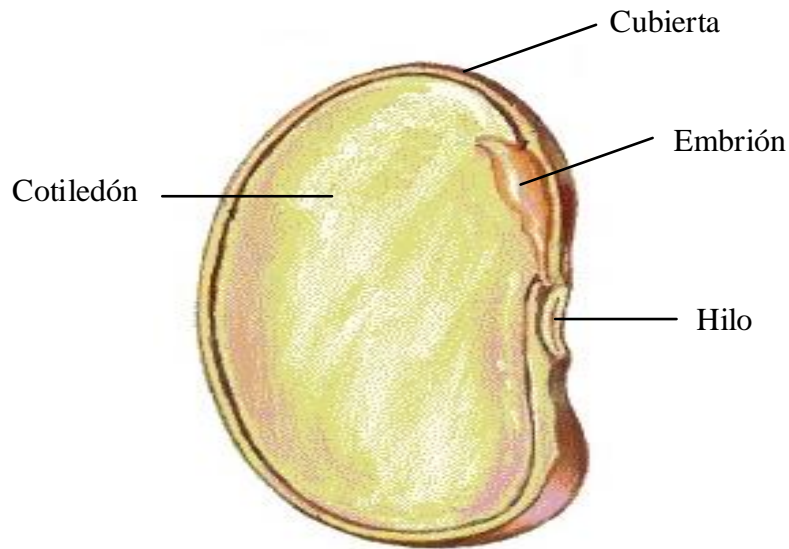
El maíz es la mayor fuente de almidón comercial en el mundo y es la base de una amplia gama de productos funcionales modificados químicos, enzimáticos y físicos, así como maltodextrinas hidrolizadas y jarabes (Hamaker et al., 2019).

Es importante mencionar la composición de la proteína en el maíz, la cual tiene un porcentaje relativamente alto de los aminoácidos que contienen azufre, metionina y cisteína, pero son muy deficientes en los aminoácidos esenciales, como la lisina y triptófano, aunque sus proporciones de aminoácidos pueden variar ampliamente debido a la manipulación genética por parte de los fitomejoradores y en menor medida por año de cultivo, la fertilidad del suelo, el manejo de cultivos (especialmente la fertilización con nitrógeno) y las condiciones climáticas (Loy & Lundy, 2019).

### **1.2.2. La lenteja (*Lens culinaris* L.)**

Es una especie herbácea, que pertenece a la familia fabaceae, es una leguminosa comestible de estación fría que se cultiva en climas mediterráneos y semiáridos (Rahul P. Rathod & Uday S. Annapure, 2016). La lenteja es el cuarto cultivo de leguminosas más importante a nivel mundial después del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), el guisante (*Pisum sativum* L.) y el garbanzo (*Cicer arietinum* L.) (Rizvi, Aski, Sarker, Dikshit, & Yadav, 2019). Según la información presentada en FOASTAT para el año 2020, la superficie total mundial dedicada a la producción de lentejas fue de 6.537,581 toneladas, obtenidas en una superficie cosechada de 5.009,933 hectáreas (Bastida Cañada, 2022). Cuatro países importantes, incluidos India (36%), Canadá (18%), Turquía (15%) y Australia (4%) contribuyen con más del 70% de la producción mundial total de lentejas (Kumar, Gupta, Kumar, Gupta, & Singh, 2016). La mayor parte de la producción mundial de lentejas se vende tal cual, sin valor agregado, aunque actualmente va en aumento el interés de la industria alimentaria en la formulación de alimentos con ingredientes a base de lentejas (Antonella Pasqualone, Costantini, Labarbuta, & Summo, 2021).

La estructura de las lentejas (figura 4) es similar a todas las legumbres, que constan de: cubierta, embrión, hilo y cotiledones (equivalente del endospermo en los cereales), esta última se emplea para la elaboración de las harinas de lenteja (Araneda, 2020; Pasqualone, Costantini, Coldea, & Summo, 2020).



**Figura 4.** Estructura del grano de lentejas adaptado de Araneda (2020)

Las lentejas son una excelente fuente de macronutrientes, micronutrientes y compuestos fitoquímicos (J. Kumar et al., 2016). La lenteja representa una fuente interesante de proteínas (22 a 25%) ricas en lisina y triptófano, minerales (K, P, Fe y Zn), carbohidratos, vitaminas, fibra y compuestos antioxidantes (Rathod & Annapure, 2016; Singh, 2019).

La lenteja también se considera una leguminosa rica en almidón, ya que contiene 27,4 a 47,1% de éste polisacárido, con un nivel significativo de amilosa (23,5 a 32,2%), de modo que tiene un índice glucémico bajo (55 o menos) y puede contribuir al mantenimiento de los niveles de glucemia (Samaranayaka, 2017). También destaca por su contenido de

fibra, principalmente celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina con 35,74, 17,85, 1,28 y 2,50 g/100 g en base seca, respectivamente (Yegin, Kopec, Kitts, & Zawistowski, 2020). Las lentejas son una buena fuente de fibra soluble (p. ej. oligosacáridos de la familia de la rafinosa y arabinosilanos) que puede ayudar a reducir los niveles de colesterol en sangre (Ciudad-Mulero, Fernández-Ruiz, Matallana-González, & Morales, 2019; Kannan et al., 2021; Morales, Berrios, et al., 2015).

El grano de lenteja representa una parte integral en la dieta de las personas para quienes la accesibilidad a la proteína animal es limitada (Gupta, Ford, Sambasivam, & Biju, 2019). Es de bajo coste para muchas personas y su cultivo tiene presencia en todo el mundo (Muscolo et al., 2020). Su biodisponibilidad y utilización es relativamente baja y menos explotada, esto se debe a la presencia de diversos factores antinutricionales como el inhibidor de la tripsina, ácido fítico y taninos (Rathod & Annapure, 2016), que después de un tratamiento termomecánico reduce el contenido de tripsina (Morales, Berrios, et al., 2015).

Los estudios de investigación revelan que el consumo de lentejas proporciona una serie de beneficios para la salud, como la reducción del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes, así como podría ayudar a mantener los niveles adecuados de colesterol plasmático (Samaranayaka, 2017). Los efectos de promoción de la salud intestinal derivada del consumo de lentejas pueden atribuirse a su contenido en compuestos de la fracción de carbohidratos de lentejas no digeribles (fibra soluble, almidón resistente, oligosacáridos), así como los productos de la fermentación microbiana (p. ej., ácidos grasos de cadena corta) (Graf et al., 2020).

Se puede destacar también el valor proteico de las lentejas, que contienen aproximadamente el doble de proteínas que los cereales y alrededor de un tercio de las

calorías de las lentejas provienen de las proteínas, lo que las convierte en el tercer nivel más alto de proteínas por peso de cualquier legumbre (Samaranayaka, 2017).

### 1.3. CARBOHIDRATOS EN CEREALES Y LEGUMINOSAS

Los carbohidratos son macromoléculas naturales compuestas por tres elementos: carbono, hidrógeno y oxígeno. Son el grupo más abundante de compuestos de aldehídos orgánicos y cetonas presentes en los organismos vivos y se producen por la reacción del dióxido de carbono y el agua en la reacción de la fotosíntesis. Todos los carbohidratos comparten la estructura común compuesta de aldehídos o cetonas unidos a un número variable de grupos hidroxilo (Niaz, Khan, & Shah, 2020). Los carbohidratos pueden existir como moléculas individuales (monosacáridos) o como moléculas más complejas (disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos) (Großkopf & Simm, 2020) de donde se clasifican en azúcares simples, oligosacáridos y polisacáridos.

**Mono y disacáridos:** Entre los azúcares simples, se mencionan a los monosacáridos y disacáridos. Los monosacáridos son la unidad fundamental más básica de un carbohidrato y tienen una estructura química general de  $C_6H_{12}O_6$ , ejemplos: glucosa, fructosa, galactosa, ribosa, disoxiribosa. Mientras los disacáridos, son azúcares compuestos que contienen dos monosacáridos con la eliminación de una molécula de agua, con la estructura química general  $C_{12}H_{22}O_{11}$ , ejemplos: sacarosa, lactosa, maltosa (Großkopf & Simm, 2020; Holesh, Aslam, & Martin, 2021; Niaz et al., 2020).

**Oligosacáridos:** Los oligosacáridos, son polímeros que contienen de tres a diez monosacáridos, ejemplos: maltodextrina, galacto y fructooligosacáridos (FOS), este último se corresponde con la fibra dietética (Großkopf & Simm, 2020; Holesh et al., 2021; Niaz et al., 2020). Los oligosacáridos poseen muchas propiedades fisicoquímicas y fisiológicas importantes y, por lo tanto, una amplia gama de aplicaciones, como, por

ejemplo, los oligosacáridos no digeribles como los FOS y los galactooligosacáridos (GO) son prebióticos que mejoran la salud intestinal (Shi et al., 2020).

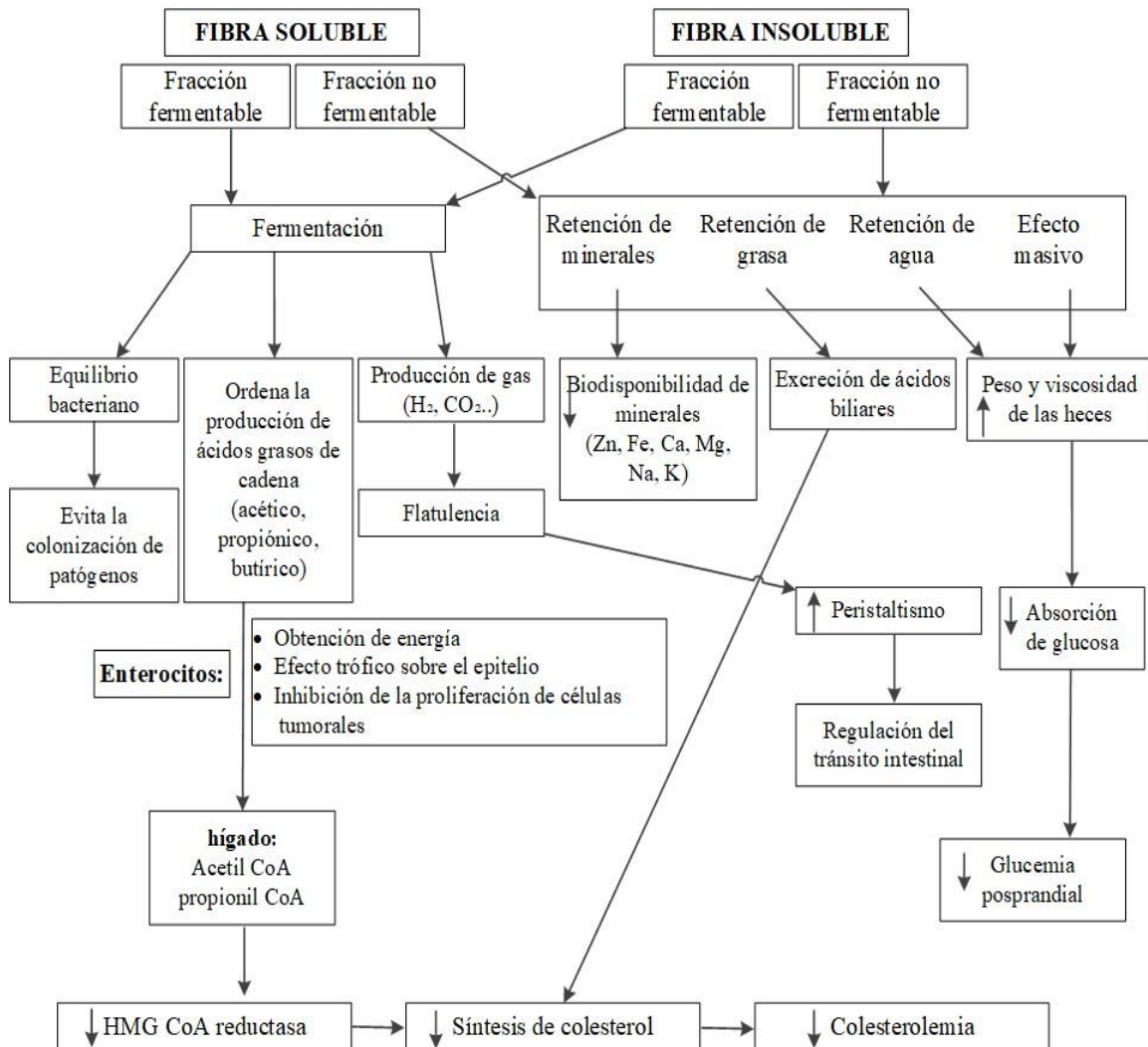
**Polisacáridos:** Los polisacáridos, son polímeros que contienen largas cadenas de monosacáridos conectados a través de enlaces glicosídicos, generalmente se pueden presentar como  $C_x(H_2O)_x$ , siendo x un número grande entre 200 y 2500, ejemplos: almidón, glucógeno como  $\alpha$ -glucanos amilosa, celulosa como  $\beta$ -glucanos (fibra dietética) (Großkopf & Simm, 2020; Holesh et al., 2021; Niaz et al., 2020).

Los carbohidratos presentes en los cereales representan entre un 70 a 80% de su composición, valores un poco más elevados que en las leguminosas que tienen alrededor de un 60 a 65% (Oomah, Patras, Rawson, Singh, & Compos-Vega, 2011). Los cereales, (como trigo, maíz, arroz, cebada y otros), así como también las legumbres (los frijoles, guisantes, lentejas, garbanzos y otros), son fuentes importantes de carbohidratos con alto contenido de almidón, así como fibra, azúcares y otros hidrocoloides, aunque en pequeñas cantidades (Ek, Kowalski, & Ganjyal, 2020).

### 1.3.1. La fibra dietética

La fibra dietética se define como "material alimenticio, particularmente material vegetal, que no es hidrolizado por enzimas secretadas por el tracto digestivo humano pero que puede ser digerido por la microflora en el intestino y entre los componentes vegetales que caen dentro de esta definición incluyen polisacáridos sin almidón (NSP) como celulosas, algunas hemicelulosas, gomas y pectinas, así como lignina, dextrinas resistentes y almidones resistentes" (Camara, Fernandez-Ruiz, Morales, & Sanchez-Mata, 2017). Aunque no puede contribuir a la nutrición humana en términos de suministro de energía, la fibra dietética es bien reconocida por formar un componente importante de nuestra dieta para el correcto funcionamiento del sistema digestivo (Ramsden, 2016). Así mismo,

se ha demostrado que el consumo de fibra dietética tiene muchos beneficios para la salud, como la actividad prebiótica, reduce el riesgo de diversas enfermedades y mejora el metabolismo de lípidos y grasas (Li, Zhang, & Smith, 2015). Muchos de los beneficios para la salud relacionados con el consumo de fibra se muestran en la **figura 5**.



**Figura 5.** Efecto fisiológico de la fibra dietética en el cuerpo humano según Camara et al. (2017)

La fibra dietética se clasifica en dos grandes grupos, según la solubilidad, como fibra soluble y fibra insoluble; el primero consiste principalmente en componentes de la pared celular de los cereales y legumbres (celulosa, lignina, algunas hemicelulosas y almidón resistente) y el segundo consiste en polisacáridos no celulósicos (oligosacáridos no digeribles, arabinosilanos,  $\beta$ -glucanos, algunas hemicelulosas, pectinas, gomas, mucílago e inulina) (Menis-Henrique, Scarton, Piran, & Clerici, 2020). Otros autores, en cambio mencionan que, la fibra dietética está compuesto por tres grupos, siendo el primer grupo: polisacáridos sin almidón y oligosacáridos resistentes, segundo grupo: carbohidratos análogos y el tercer grupo: lignina; sustancias asociadas con el polisacárido sin almidón y el complejo de lignina en plantas (Dominguez & Barbagallo, 2020).

Basándonos en la primera clasificación de dos grupos, la fibra insoluble (que estaba formada por celulosa, lignina, algunas hemicelulosas y almidón resistente) tiene la capacidad de aumentar el volumen fecal y disminuir el tiempo de tránsito intestinal (Menis-Henrique et al., 2020), resultando en numerosos beneficios para la salud, incluida la reducción del riesgo de enfermedad coronaria o colorrectal, enfermedades cardiovasculares, diabetes, obesidad y algunas formas de cáncer, es decir la suplementación con fibra dietética de este tipo podría dar como resultado alimentos que promueven la salud (Reyes-Pérez et al., 2013; Wang & Ryu, 2013). Las fibras solubles (oligosacáridos, arabinosilanos,  $\beta$ -glucanos, pectina, gomas, etc.) son fácilmente hidratables, formando geles de alta viscosidad que son fermentables por bacterias entéricas, lo que lleva a la producción de gas y de ácidos grasos de cadena corta (AGCC) que favorecen el crecimiento de bacterias colónicas beneficiosas. Además, las fibras solubles pueden mejorar las propiedades sensoriales y tecnológicas de los alimentos debido a su alta capacidad de hidratación (Menis-Henrique et al., 2020). A continuación

se muestran los valores de fibra dietética total de los cereales y legumbres más comúnmente consumidos (tabla 2) (Ramsden, 2016).

**Tabla 2.** Fibra dietética en cereales y leguminosas

Cereales y legumbres	Fibra dietética total (g/100g)
Cebada ( <i>Hordeum vulgare L.</i> )	22,60
Triticale ( <i>Triticum aestivum L.</i> )	18,10
Trigo ( <i>Triticum aestivum L.</i> )	14,60
Centeno ( <i>Secale cereale L.</i> )	14,60
Garbanzo ( <i>Cicer arietinum L.</i> )	13,50
Maíz ( <i>Zea mays L.</i> )	13,40
Sorgo ( <i>Sorghum bicolor L.</i> )	10,10
Avena ( <i>Avena sativa L.</i> )	9,60
Mijo ( <i>Panicum miliaceum L.</i> )	8,50
Haba ( <i>Vicia faba L.</i> )	8,00
Frijol ( <i>Phaseolus vulgaris L.</i> )	6,20
Soja ( <i>Glycine Max L.</i> )	4,96
Arroz ( <i>Oryza sativa L.</i> )	2,40

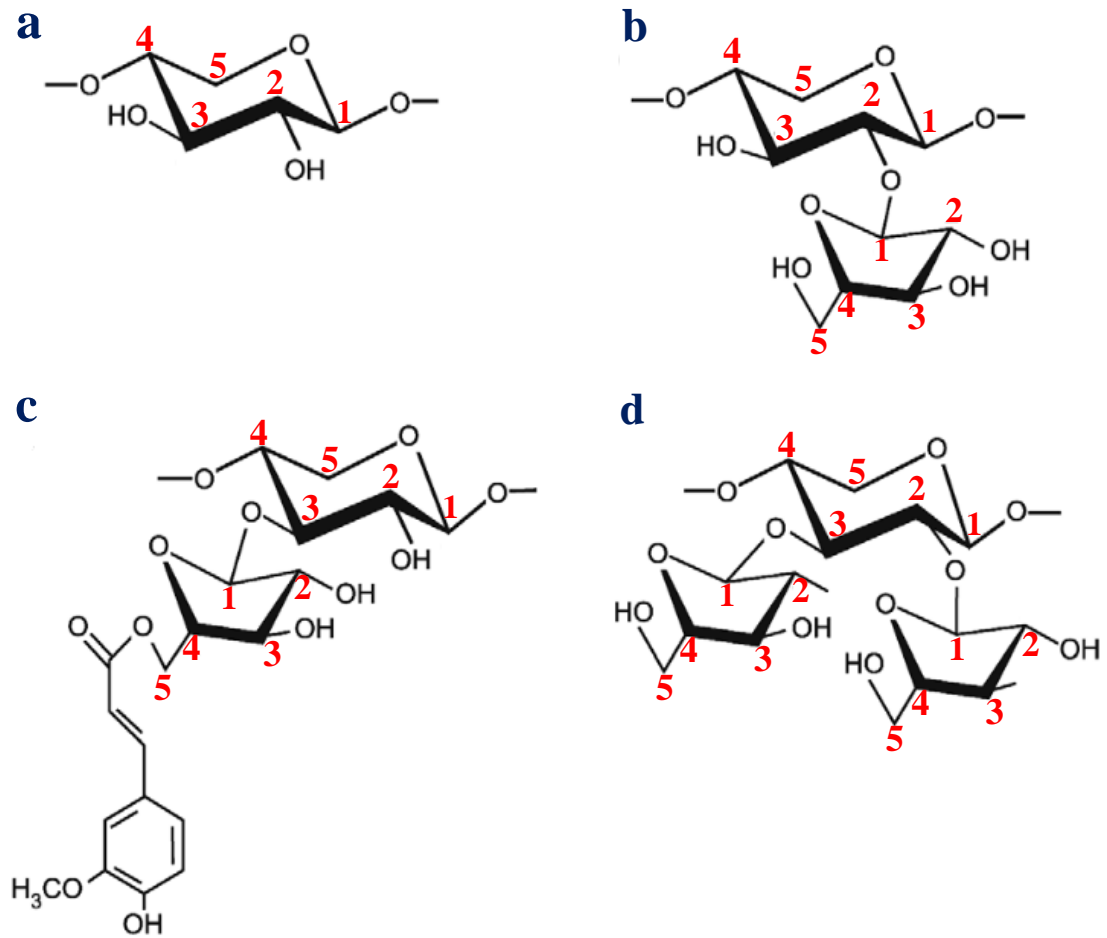
Adaptado de Ramsden, 2016

### **1.3.2. Arabinosilanos**

Los arabinosilanos de cereales fueron descritos por primera vez por Hoffmann y Gortner en 1927 como una goma viscosa presente en la harina de trigo (Izydorczyk, 2009). Los arabinosilanos, también conocidos como pentosanos, comprenden una categoría de polisacáridos no amiláceos (Kellow & Walker, 2018), que forman importantes componentes estructurales de las paredes celulares de las plantas y se encuentra en muchos cereales (maíz, centeno, cebada, avena, sorgo, trigo y arroz) y legumbres (lentejas, alubias y guisantes), predominantemente en las capas externas (salvado) y en el endospermo almidonado (harina) y se considera una fibra dietética (Ciudad-Mulero, 2021; Fadel, Mahmoud, et al., 2018; Kellow & Walker, 2018; Mendis, Leclerc & Simsek, 2016). Los arabinosilanos, propiciaron interés entre los químicos y tecnólogos por su importancia tecnológica, sobre todo por sus propiedades funcionales interesantes que incluyen la mejora de la viscosidad, la formación de gel, la estabilización de emulsiones

y/o espumas, la absorción de agua, la sustitución de grasas y la actividad prebiótica (Izydorczyk, 2009), este último, permite la estimulación de especies microbianas claves del intestino, específicamente *Bifidobacterium* spp. y *Lactobacillus* spp., con efectos beneficiosos que incluyen prevenir la disbiosis de la microbiota intestinal, detener la proliferación de patógenos y mejorar los trastornos gastrointestinales (Schupfer et al., 2021). Por lo tanto, los alimentos enriquecidos con arabinosilanos inducen efectos positivos sobre la salud del colon, el metabolismo de los lípidos con producción de ácidos grasos de cadena corta, el control glucémico, la reducción del colesterol sérico y una mejor adsorción de calcio y magnesio (Izydorczyk & Dexter, 2008; Kellow & Walker, 2018).

Químicamente los arabinosilanos, son polisacáridos que están compuestos por un esqueleto lineal de xilano o por su diversidad son heterosilanos, que son polímeros de glicanos consistentes en una columna vertebral de unidades de D-xilopiranosilano enlazados en  $\beta$ -1,4, con sustituyentes en la cadena principal del xilano a través de los grupos hidroxilo (-OH) de las posiciones 2 y 3 por residuos L-arabinofuranosilano unidos por enlaces glicosídicos  $\alpha$ -1,2 y  $\alpha$ -1,3 (Broekaert et al., 2011; Ciudad-Mulero et al., 2018; Zhang, Li, Smith, & Musa, 2015). Los arabinosilanos existen en diversas estructuras gruesas y finas, que van desde cadenas largas y cortas, resultantes de varios tipos de escisiones enzimáticas de la molécula, además se clasifican como ramificados o lineales, aunque las estructuras lineales no son estrictamente lineales sino considerablemente menos ramificadas (Schupfer et al., 2021). Se han mencionado cuatro estructuras moleculares (figura 6) de los arabinosilanos: xilopiranosilano monosustituido en O-2 u O-3, xilopiranosilano di-sustituido en O-2,3 y xilopiranosilano no sustituido, así mismo, la cantidad relativa y la secuencia de distribución de estos elementos estructurales varían dependiendo de la fuente de arabinosilanos (Izydorczyk & Dexter, 2008).



**Figura 6.** Estructuras de arabinoxilanos según Izydorczyk y Dexter (2008): (a) xilopiranosilo no sustituido; (b) xilopiranosilo monosustituido en O-2; (c) xilopiranosilo monosustituido en O-3 con un residuo de ácido ferúlico esterificado a arabinofuranosilo y (d) xilopiranosilo disustituido en O-2,3.

Por otro lado, los arabinoxilanos presentan un amplio rango de solubilidad en agua (arabinoxilanos solubles e insolubles), que depende de factores como el grado medio de polimerización, el grado de ramificación y la composición monomérica (Zannini, Bravo Núñez, Sahin, & Arendt, 2022). El arabinoxilano soluble está considerado como una fibra dietética prometedora, como resultado de sus beneficios para la salud bien establecidos (Lazaridou, Chornick, Biliaderis, & Izydorczyk, 2008).

En cuanto a la extracción de arabinosilanos se realizan utilizando varias técnicas de diferentes partes de los granos, siendo la fuente más común de donde se extraen los arabinosilanos, el salvado de cereales, donde la concentración de arabinosilanos es mayor (entre 10 a 25% del salvado total), esta extracción, se puede realizar mediante tratamientos de agua, tratamientos mecánicos, tratamientos químicos, tratamientos enzimáticos o mediante la combinación de estas técnicas (Zannini et al., 2022).

### 1.3.3. $\alpha$ -galactósidos

Los  $\alpha$ -galactósidos, son oligosacáridos de la rafinosa, azúcares no reductores de bajo peso molecular, solubles en agua y en solución de agua-alcohol. Son los azúcares solubles más abundantes y se encuentran junto a la sacarosa en su distribución en el reino vegetal. Los  $\alpha$ -galactósidos se encuentran solo en bajas concentraciones en las hojas de las plantas y se acumulan en los órganos de almacenamiento durante el proceso de desarrollo, como es el caso de las semillas Martínez-Villaluenga, Frias & Vidal-Valverde (2008). Los  $\alpha$ -galactósidos más conocidos son rafinosa, estaquiosa, verbascosa y ajugosa. Estos compuestos son  $\alpha$  (1  $\rightarrow$  6) galactósidos unidos al C-6 del resto de glucosa de la sacarosa. Sin embargo, un grupo de  $\alpha$ -galactósidos casi menos investigado corresponde a los galactosil ciclitoles. El ciceritol es un trisacárido de los galactosil ciclitoles más conocidos, que se aisló primero de los garbanzos (*Cicer aureticum* L.) y más tarde de las lentejas (*Lens culinaris* L.) (Martínez-Villaluenga et al., 2008; Sánchez-Mata, Peñuela-Teruel, Cámara-Hurtado, Díez-Marqués, & Torija-Isasa, 1998).

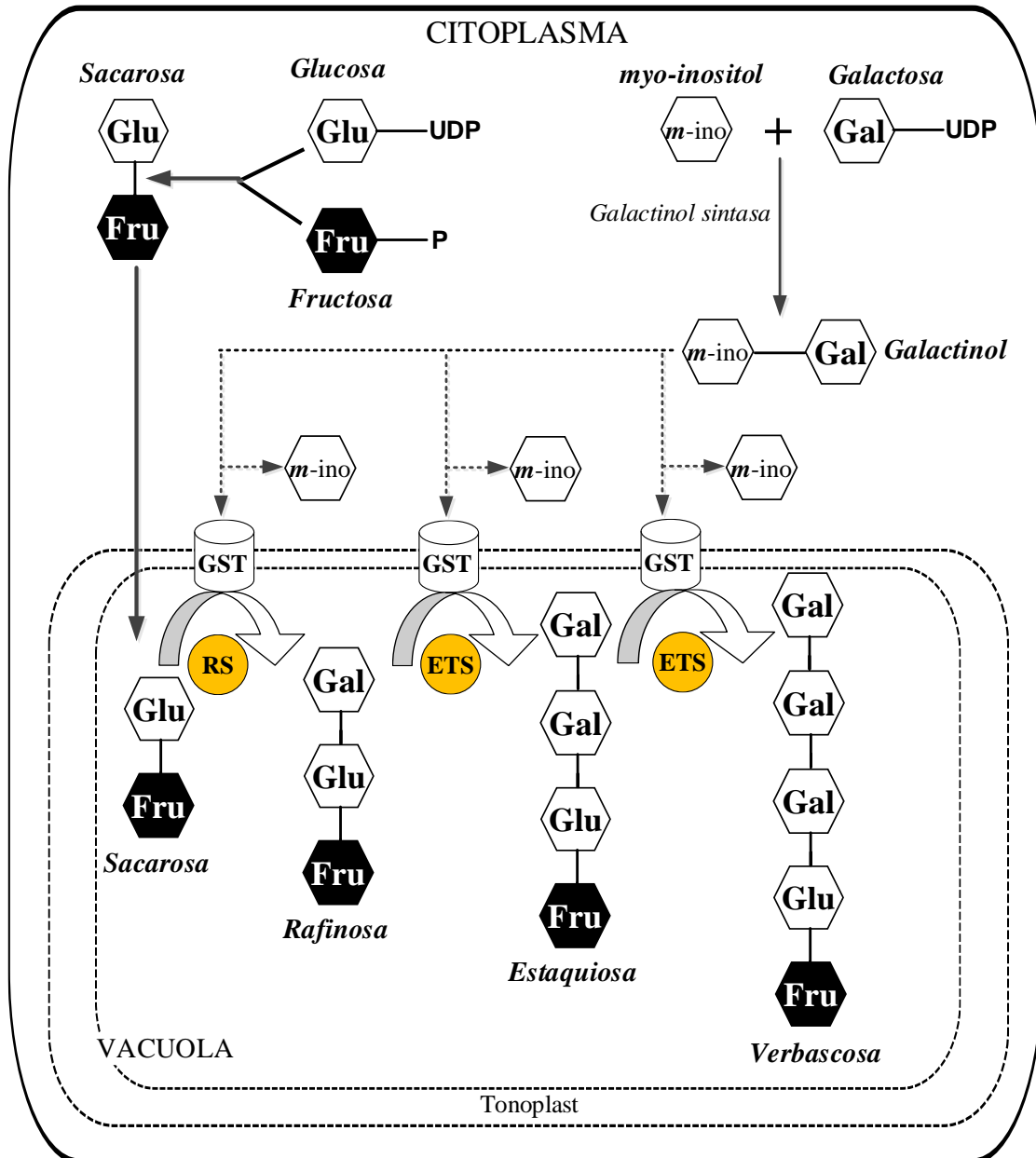
Químicamente, los  $\alpha$ -galactósidos, son producto de la combinación de D-galactosa con el grupo D-glucosilo o D-fructosilo de la molécula de sacarosa. Cuando tales combinaciones forman miembros de una serie homóloga, los grupos D-galactosilo se unen entre sí mediante enlaces O- $\alpha$ -D-galactosil-(1 $\rightarrow$ 6) (Dey, 1980). Sus nombres IUPAC (Unión Internacional de Química Pura y Aplicada) se enumeran a continuación.

## Introducción

---

- Rafinosa:  $\alpha$ -D-galactopiranosil-(1 $\rightarrow$ 6)- $\alpha$ -D-glucopiranosil-(1 $\rightarrow$ 2)- $\beta$ -D-fructofuranósido
- Estaquiosa:  $\alpha$ -D-galactopiranosil-(1 $\rightarrow$ 6)- $\alpha$ -Dgalactopiranosil-(1 $\rightarrow$ 6)- $\alpha$ -D-glucopiranosil- (1  $\rightarrow$  2) - $\beta$ -D-fructofuranósido
- Verbascosa:  $\alpha$ -D-galactopiranosil-(1 $\rightarrow$ 6)-[ $\alpha$ -D-galactopiranosil-(1 $\rightarrow$ 6)]<sub>2</sub>- $\alpha$ -D-glucopiranosil- (1  $\rightarrow$  2) - $\beta$ -D-fructofuranósido
- Ajugosa:  $\alpha$ -D-galactopiranosil-(1 $\rightarrow$ 6)-[ $\alpha$ -D-galactopiranosil-(1 $\rightarrow$ 6)]<sub>3</sub>- $\alpha$ -D-glucopiranosil- (1  $\rightarrow$  2) - $\beta$ -D-fructofuranósido
- Ciceritol:  $\alpha$ -D-galactopiranosil-(1 $\rightarrow$ 6)- $\alpha$ -D-galactopiranosil-(1 $\rightarrow$ 2) -4-O-metil-qui-ro-inositol.

La biosíntesis de los  $\alpha$ -galactósidos (figura 7), se inicia a partir de la sacarosa, puesto que el  $\alpha$ -D-galactosil derivado de la sacarosa es catalizada por la enzima galactinol sintasa (UDP- $\alpha$ -D-galactosa: 1-L-myo-inositol-O- $\alpha$ -galactopiranosiltransferasa, EC 2.4.1.123) generando galactinol a partir de UDP-galactosa y mioinositol (Martínez-Villaluenga et al., 2008). En otras palabras, según Thirunathan & Manickavasagan (2019), la síntesis de  $\alpha$ -galactósido comienza con la enzima galactinol sintasa, que forma galactinol a partir de mioinositol y galactosa. Posteriormente, la sacarosa se une al galactinol y la rafinosa sintasa cataliza la reacción para formar rafinosa y mioinositol. La estaquiosa y la verbascosa se forman de la misma manera utilizando rafinosa (para estaquiosa) o estaquiosa (para verbascosa) y galactinol como sustratos y estaquiosa sintasa como enzima.



**Figura 7.** Biosíntesis de  $\alpha$ -galactósidos según Martínez-Villaluenga et al. (2008). GST: galactosil transferasa; RS: rafinosa sintasa; ETS: estaquiosa sintasa

En referencia particular a las legumbres, Berrios et al. (2010) han descrito que, los principales oligosacáridos pertenecen al grupo de los  $\alpha$ -galactósidos donde la galactosa está presente en un enlace  $\alpha$ -D-1,6. Los galactósidos derivados de la sacarosa, como la rafinosa, la estaquiosa y la verbascosa, representan los azúcares más estudiados en las legumbres. Otro grupo de  $\alpha$ -galactósidos en las legumbres son los galactósidos de glucosa (mel-ibiosa y maninotriosa) y los galactósidos de inositol (galactinol, galactopinitol y ciceritol). El ciceritol, tal y como se ha comentado anteriormente, es un trisacárido (D-galacto-piranosil-6- $\alpha$ -D-galactopiranosil-2- (1D) -4-O-metil-chiro-inosi-tol) y se ha informado que es el azúcar más abundante en el garbanzo.

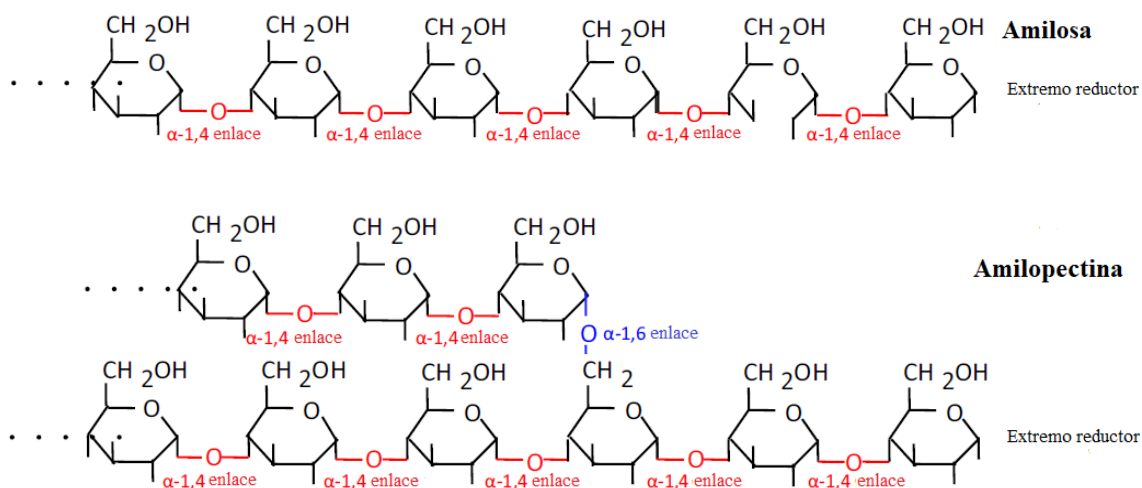
### **1.3.4. El almidón: amilosa y amilopectina**

El almidón es un polisacárido de reserva importante en las plantas superiores (Cheetham & Tao, 1998). Es la principal fuente de hidratos de carbono en la dieta y representa el 30 a 40 % de la ingesta diaria de energía (Yan et al., 2019) y es uno de los materiales orgánicos más económicos y disponibles en la Tierra (Khlestkin et al., 2018). El almidón tiene un gran potencial para servir como material importante para aplicaciones alimentarias y no alimentarias (Samarakoon, Waduge, Liu, Shahidi, & Banoub, 2020). Por ejemplo, las industrias de procesamiento de alimentos han estado utilizando almidón desde hace mucho tiempo como biopolímero funcional debido a sus diversas aplicaciones como, una entidad aglutinante, espesante, emulsionante y también como un agente de turbidez (Wani, Farooq, Qadir, & Wani, 2019).

El principal carbohidrato de almacenamiento en las legumbres y cereales es el almidón, fuente de energía importante para el ser humano y compuesto que tiene muchas aplicaciones en la industria alimentaria como ingrediente para mejorar la textura en alimentos procesados o la obtención de glucosa, de jarabes u otros derivados, o de maíz enriquecido con fructosa, por degradación del almidón. También se pueden encontrar

otros carbohidratos en las leguminosas como monosacáridos (ribosa, glucosa, galactosa y fructosa), disacáridos (sacarosa y maltosa), oligosacáridos (principalmente  $\alpha$ -galactósidos) y otros polisacáridos (Rebello, Greenway, & Finley, 2014; Tharanathan & Mahadevamma, 2003).

Un modelo ampliamente aceptado de un gránulo de almidón de cereal típico implica la alternancia de laminillas amorfas y cristalinas, en las que están incrustados los dos componentes principales, amilosa y amilopectina, con cantidades muy pequeñas de proteínas, minerales y cenizas (Cheetham & Tao, 1998; Giraldo-Gómez et al., 2019; Jaiswal & Chibbar, 2017). Según la figura 8, la amilosa es esencialmente un polímero lineal unido por enlaces glucosídicos 1,4 de  $\alpha$ -D-glucosa en cantidad promedio de 20 a 30% de la composición de almidón, mientras que la amilopectina es un polímero ramificado unido por enlaces glucosídicos 1,4 de  $\alpha$ -D-glucosa y 1,6 de  $\alpha$ -D-glucosa que representa el 70 a 80% de la composición de almidón, en cuyo caso generalmente se les llama almidones "normales" (Fujita, 2017). Algunos almidones presentan un alto nivel de amilopectina (98 a 99%) y se denominan "cerosos", y otros tienen un alto contenido de amilosa (50 a 70%), por ejemplo, almidones de maíz Hylon® (Edith Agama-Acevedo, Flores-Silva, & Bello-Perez, 2019). La configuración del almidón tienen una estructura principal similar, con variación en la longitud de la cadena y el patrón de ramificación, que finalmente gobierna sus atributos funcionales (Wani et al., 2019).



**Figura 8.** Enlaces glucosídicos del almidón, Amilosa y Amilopectina. Adaptado de Fujita (2017)

Según el origen botánico, especies de plantas, e incluso en las mismas especies que se cultivan en diferentes condiciones ambientales; el almidón varía en forma, tamaño (de 1  $\mu\text{m}$  a más de 100  $\mu\text{m}$ ), relación amilosa/amilopectina, cristalinidad, estructura supramolecular, composición química y propiedades fisicoquímicas (Dai, Zhang, & Cheng, 2019; Kovrlija, Goubin, & Rondeau-Mouro, 2020; Samarakoon et al., 2020). Existen diferencias de tamaño en los gránulos de almidón según tipos de especies; por ejemplo, los gránulos de cereales son pequeños en comparación con los de las patatas, que son excepcionalmente grandes que, cuando se hinchan, hacen que la fase acuosa sea altamente viscosa, al tiempo que crean una textura menos suave; también se apreciaron que los gránulos de maíz ceroso (99% amilopectina) y patata es unimodal, mientras en el trigo es bimodal, ya que éste tiene una mezcla de gránulos grandes en forma de disco y pequeños gránulos esféricos; la forma de los gránulos de almidón de maíz ceroso son poligonales y los de patata son de forma ovalada y esférica; además, los gránulos de diferentes tamaños de la misma especie tienen propiedades diferentes, los más pequeños son más cristalinos, más estables y resistentes a la desorganización (Kovrlija et al., 2020).

La presencia de una gran cantidad de grupos hidroxilo activos en la superficie del almidón hace posible introducir nuevos grupos funcionales, cambiar el tamaño molecular y las propiedades de sus partículas, cambiando así sus características (Dai et al., 2019). El almidón modificado o hidroxipropilado, es característico por su alto contenido de amilosa, que produce películas con alta resistencia mecánica, flexibilidad y transparencia; además se señala que la estabilidad de este tipo de almidón depende en gran medida del contenido de amilosa (Maubane, Ray, & Jalama, 2017). De acuerdo con los diferentes métodos de modificación, se puede dividir en cuatro categorías: almidón físico modificado, almidón químico modificado, almidón enzimático modificado y almidón modificado compuesto; entre ellos, los métodos químicos producen más tipos de almidón de uso más extenso, y pueden clasificarse en almidón oxidado, almidón esterificado, almidón eterificado, almidón reticulado y almidón injertado de acuerdo con el mecanismo de reacción de desnaturalización (Dai et al., 2019).

### **Relación amilosa/amilopectina**

La relación amilosa/amilopectina condiciona las propiedades mecánicas, solubilidad, tiempo de cocción, permeabilidad al oxígeno, capacidad de retención de agua, gelatinización, viscosidad, además la forma y volumen de los poros que están predeterminados por la capacidad natural de las cadenas de polímeros de amilosa y amilopectina dentro de los gránulos de almidón para ensamblarse en una estructura laminar supramolecular a nanoescala organizada, que consiste en regiones cristalinas y amorfas (Arribas et al., 2019b; Khlestkin, Peltek, & Kolchanov, 2018; Zhu et al., 2017).

Kovrlija et al. (2020), ha descrito el comportamiento reológico de la amilosa, a través de la dispersión de neutrones de ángulo pequeño y de resonancia magnética nuclear; donde se han demostrado que la inflamación reversible puede comenzar a baja temperatura (30 a 50°C) y se acompaña de la lixiviación de polímeros de carbohidratos de bajo peso

molecular (predominantemente fragmentos de amilosa). Este fenómeno depende en gran medida del agua disponible en el sistema y es responsable de un aumento en la viscosidad de la fase acuosa que rodea los gránulos. La lixiviación de amilosa se correlaciona positivamente con el poder de hinchamiento, lo que sugiere que la solubilización acompaña al hinchamiento granular. Por el contrario, cuando la hinchazón de los gránulos está restringida por un menor contenido de agua, la solubilización de amilosa se reduce.

En ese sentido la elección del almidón es un elemento clave para la formulación adecuada de productos con almidón (Kovrljia et al., 2020), aunque algunos autores han sugerido que, una relación amilosa /amilopectina de aproximadamente 1:3 o 1:4 es deseable para obtener productos expandidos y crujientes (Shevkani et al., 2019). Por lo tanto, es determinante la idoneidad de un tipo de almidón para un uso final particular (Arribas et al., 2019b).

### **La gelatinización**

El almidón en sí es importante en el proceso de extrusión porque se requiere una masa cohesiva entre los alimentos que forman parte de la mezcla; esta condición requiere la presencia de un “formador” de gel, que se puede obtener de la amilosa libre, o un ingrediente adicional en forma de almidón pregelatinizado o almidón ceroso pregelatinizado como formador de gel, mientras que otros autores proponen usar amilosa pura o una mezcla óptima de amilosa y amilopectina (Van der Sman & Broeze, 2013). Es decir que, el efecto principal de la cocción por extrusión sobre el almidón es la gelatinización, a fin de crear una masa termoplástica que puede asumir una estructura porosa estable, proporcionando características texturales y estructurales únicas para los productos y además tiene por objetivo mejorar la digestibilidad, ya que el almidón gelatinizado se hidroliza más fácilmente por las enzimas amilolíticas (Altan, McCarthy, & Maskan, 2009; Berk, 2018).

La gelatinización se inicia con la hidratación de los gránulos de almidón, hinchamiento e hidrólisis de amilosa, lo que a su vez resulta una pérdida de orden anisotrópico, cristalinidad y forma granular (Błaszczak et al., 2007). Todo esto ocurre, cuando la dispersión acuosa de almidón se calienta a cierta temperatura, de modo que los gránulos de almidón absorben agua y la dispersión se convierte en un líquido viscoso que forman enlaces de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de las moléculas de almidón y las moléculas de agua, destruyendo así la estructura cristalina de las partículas de almidón (Dai et al., 2019; Ji et al., 2017). El mecanismo de gelatinización del almidón está determinado no solo por la estructura y composición química de los gránulos de almidón (cantidad de amilosa, grado de polimerización, presencia de compuestos distintos del almidón, tipo de polimorfo), sino que también está estrechamente relacionado con la cantidad de solvente y el nivel y tipo de energía suministrada (Błaszczak et al., 2007).

Durante la extrusión, la mezcla almidón-agua, llega a fundirse por fricción sólida, disipación viscosa y conducción de calor, dando lugar a un material denso constituido por almidón y proteína, que tras la gelatinización se fuerza su salida del extrusor a través de una matriz donde el vapor expande el material, resultando en una estructura porosa, denominada espuma sólida (Jebalia et al., 2019).

El efecto de la cocción por extrusión sobre el almidón no se detiene en la gelatinización, pero puede causar una despolimerización parcial (dextrinización) de la molécula de almidón (Berk, 2018). Al igual que ocurría con la expansión del almidón durante la extrusión, el grado de gelatinización del almidón está definido según la cantidad de humedad durante el proceso de extrusión, es decir al aumentar el contenido de humedad, aumenta la gelatinización (Ye, et al., 2018). Es preciso mencionar que, cualquier modificación (química, física, enzimática o dual) altera las características de gelatinización de almidón en los cereales (Agama-Acevedo et al., 2019).

### **La retrogradación**

La retrogradación del almidón es un proceso por el cual las moléculas en los gránulos de almidón gelatinizados se vuelvan a reasociarse en una estructura de red ordenada (Rodríguez-Sandoval, Sandoval-Aldana, & Fernández-Quintero, 2007). La retrogradación es un proceso dependiente del tiempo y de la temperatura, que ocurre a corto y largo plazo; donde la retrogradación a corto plazo en geles de almidón es más rápida, y se atribuye a la reordenación y recristalización de las fracciones de amilosa gelatinizadas, mientras que la retrogradación a largo plazo se ha atribuido a la recristalización de las fracciones de amilopectina gelatinizadas (Kovrlija et al., 2020; Liu et al., 2019). La retrogradación, está influenciada por factores intrínsecos y extrínsecos; los factores intrínsecos se refieren a diferentes fuentes botánicas, composición del almidón (relación amilosa/amilopectina), arquitectura de gránulos (relación cristalina a amorfa) y otros compuestos (contenido de lípido); Los factores extrínsecos se refieren a las diferencias en las tecnologías de procesamiento (el tratamiento hidrotermal, recocado, tratamiento de calor y humedad, calentamiento y agitación, alta presión hidrostática, microondas, microondas ultrasónico y extrusión), como la adición de aditivos, contenido de agua y las condiciones de retrogradación durante el almacenamiento (Liu et al., 2019; Ottenhof, Hill, & Farhat, 2005; Y. Zhang et al., 2014).

Cuando el almidón se retrograda o retrocede rápidamente después de la cocción, deteriora los atributos deseables, las propiedades y cualidades, provocando un aumento de la dureza y una disminución del sabor con el tiempo, también afectan fuertemente a la textura, la estabilidad, la calidad, la digestibilidad y la funcionalidad, y por lo tanto el valor nutricional como la aceptación de los consumidores de los atributos sensoriales y la vida útil de los alimentos que contienen almidón; por lo tanto, la comprensión y el control de

las características de retrogradación del almidón son importantes para la industria alimentaria (Liu et al., 2019; Zhang et al., 2014).

### **Cristalinidad**

Las propiedades cristalinas de los gránulos de almidón, obtenidos generalmente por estudios de difracción de rayos X en polvo, los clasifica en las formas A, B y C. En las formas granulares nativas, el patrón A se asocia principalmente con almidones de cereales, mientras que la forma B generalmente se obtiene de tubérculos. El patrón C es una mezcla de ambos tipos A y B. Cheetham and Tao (1998) informaron que, los gránulos de almidón natural típicamente varían en grado de cristalinidad de aproximadamente 15 a 45%.

Durante el proceso de extrusión, la estructura cristalina de los gránulos de almidón ha sido afectada por la formación de enlaces de hidrógeno entre los grupos hidroxilo de las moléculas de almidón y las moléculas de agua para provocar la gelatinización (Dai et al., 2019; Yang et al., 2020). Otros autores mencionan que, los procesos que involucran alta presión-temperatura y alto cizallamiento, como la extrusión, causan la destrucción parcial o completa de la estructura cristalina del almidón y una degradación macro-molecular considerable (Altan et al., 2009); también, mencionaron que, la estructura cristalina organizada de las materias primas, durante el proceso de extrusión, se destruye parcial o totalmente, dependiendo de las condiciones de extrusión, principalmente debido a la temperatura del barril y la humedad de alimentación. Estos cambios en la estructura también están relacionados con la fuente de almidón y otros componentes presentes en la harina, como proteínas y fibras. Además, estos autores, encontraron que existe cierto grado de cristalinidad en los productos extruidos, parcialmente organizados en estructuras cristalinas de tipo B. Esas estructuras son muy estables y suelen ser muy resistentes a la

hidrólisis con  $\alpha$ -amilasa. Estos cambios también reflejan las propiedades funcionales del extruido como la densidad aparente, viscosidad y almidón resistente.

### **Digestibilidad**

Durante el proceso de extrusión los gránulos de almidón rompen sus enlaces de hidrógeno inter e intramoleculares entre las cadenas de almidón, lo que promueve su gelatinización (Liu et al., 2017). Esta gelatinización, tiene trascendencia en mejorar la digestibilidad del almidón, porque es fácilmente hidrolizado por las enzimas amilolíticas (Berk, 2018). Las enzimas digestivas dentro del tracto gastrointestinal humano, convierte el almidón gelatinizado en glucosa, que es un sustrato para el cerebro y los glóbulos rojos para generar energía metabólica (Agama-Acevedo et al., 2019; Ye, et al., 2018)

El grado de gelatinización es un factor importante en la tasa de digestión del almidón en el intestino delgado que determina la respuesta glucémica (Altan et al., 2009), pudiendo verse afectados los niveles de glucosa en la sangre, lo que puede influir en la susceptibilidad de un individuo a la diabetes y la obesidad, por lo tanto, las estrategias para disminuir la digestibilidad del almidón son útiles para desarrollar alimentos más saludables (Ye, et al., 2018). La tasa de digestión y absorción de almidón es un factor determinante de la respuesta metabólica a un alimento rico en almidón; esto es importante ya que existe evidencia de que los carbohidratos digeridos y absorbidos lentamente son favorables para el manejo dietético de trastornos metabólicos como la diabetes (Altan et al., 2009).

Algunos investigadores informaron que el procesamiento de extrusión podría modificar la hidrólisis del almidón de diferentes maneras, por ejemplo la digestibilidad decreciente estaría relacionada con los complejos de amilosa-lípidos y las interacciones de almidón y proteínas que ocurrieron durante la extrusión (Yang et al., 2020). Por otro lado, un mayor

contenido de amilosa provoca una reducción en la digestibilidad del almidón debido a una correlación positiva entre el contenido de amilosa y la formación de almidón resistente (Öztürk & Mutlu, 2019).

### **1.3.5. Almidón resistente**

El almidón en los alimentos contiene una porción que digiere rápidamente, también denominado almidón de rápida digestión, una fracción de digestión lenta y otra más resistente llamada “almidón resistente” (Agama-Acevedo et al., 2019). Durante el proceso de digestión, los almidones generalmente son digeridos por las enzimas  $\alpha$ -amilasa, glucoamilasa y sacarasa-isomaltosa en el intestino delgado para dar lugar a unidades de glucosa libres que pueden ser absorbidas; sin embargo, hay una fracción del almidón que no pueden ser digerido ni absorbido en el intestino delgado de los humanos, ya que las enzimas anteriormente mencionadas no son capaces de hidrolizarlo, siendo ésta fracción conocida como almidón resistente (Rizvi et al., 2019; Öztürk & Mutlu, 2019).

El almidón resistente (RS), tiene la capacidad de modular los niveles de glucosa en sangre posprandiales y puede ser fermentado por la microflora del colon para producir ácidos grasos de cadena corta, que ejercen beneficios positivos para la salud del consumidor, como el aumento del flujo sanguíneo en el colon, menor inflamación del mismo y un menor riesgo de padecer cáncer de colon (Dupuis et al., 2014). Otros autores han mencionado que, el RS es una fibra funcional (prebiótica), que desempeña un papel importante en la fisiología digestiva colónica, similar a los oligosacáridos, que no son digeribles (Limsangouan et al., 2010). Por lo tanto, el RS tiene beneficios para la salud, como la regulación de la obesidad, la diabetes, el cáncer de colon y las enfermedades cardiovasculares (Liu, Shi, Jin, & Jiao, 2023).

Existen cinco tipos de almidón resistente (RS1 - RS5), donde cuatro de ellos se usan como ingredientes alimenticios (RS2, RS3, RS4 y RS5) (BeMiller, 2020). En cambio, el RS1, es un tipo de almidón resistente inaccesible físicamente por las enzimas, porque el almidón está atrapado físicamente dentro de la matriz alimentaria. Sin embargo, moler o triturar puede liberar el almidón, haciéndolo accesible y más digerible (BeMiller, 2020; Birkett & Brown, 2007). RS2: es un gránulo de almidón nativo, crudo / no gelatinizado y es resistente al ataque de la  $\alpha$ -amilasa debido a las estructuras semicristalinas organizadas en gránulos (BeMiller, 2020). RS3: es almidón retrogradado (principalmente amilosa) que es resistente al ataque de la  $\alpha$ -amilasa debido a su naturaleza cristalina (Tacer-Caba & Nilufer-Erdil, 2019). RS4: es almidón que se ha modificado químicamente hasta un punto que impide la unión de las moléculas de polisacárido de almidón en el sitio activo de la  $\alpha$ -amilasa (sustitución) o que inhibe fuertemente la hinchazón y la solubilización (reticulación) de los gránulos, o cuyas estructuras moleculares se han alterado por otros reactivos químicos o enzimas (BeMiller, 2020). RS5: son complejos de lípidos y amilosa parcialmente cristalinos (Tacer-Caba & Nilufer-Erdil, 2019). Entre los RS, el RS3 ha tomado interés como ingrediente alimentario, debido a los beneficios fisiológicos como fibra dietética, además es térmicamente estable, lo que puede preservar su funcionalidad nutricional durante el proceso de cocción (Sun, Tian, Chen, & Jin, 2017). En ese sentido, últimamente se vienen estudiando procesos de “extrusión-desramificación” con el fin de mejorar el contenido de amilosa y RS (Liu et al., 2023).

### **1.4 COMPUESTOS FENÓLICOS EN CEREALES Y LEGUMINOSAS**

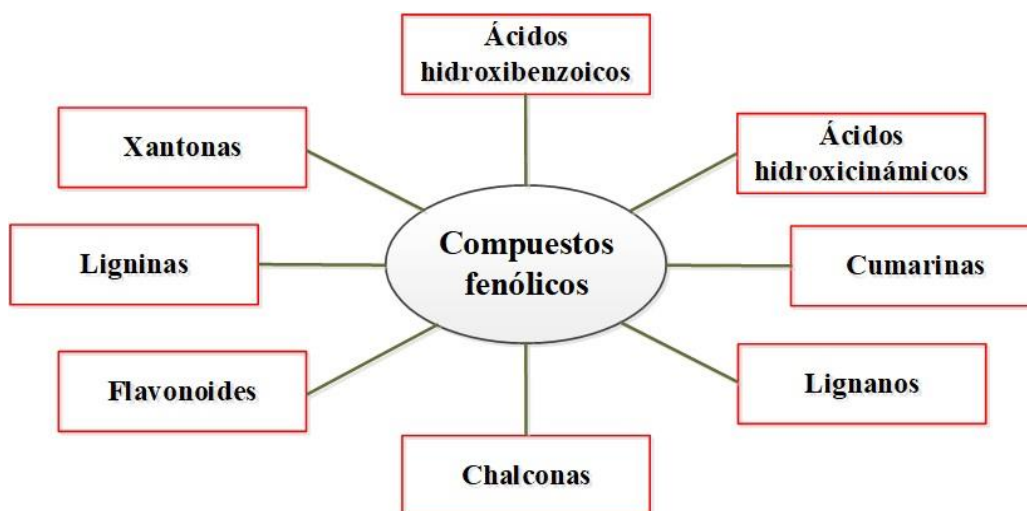
Los compuestos fenólicos son una clase de compuestos orgánicos que se encuentran en todas las plantas como metabolitos secundarios en concentraciones variables (Tsimogiannis & Oreopoulou, 2019). Están unidos a los polisacáridos de la pared celular

y representan del 35 a 65% de la cantidad total de compuestos fenólicos identificados en las matrices vegetales y se reportan enlaces covalentes y no covalentes entre compuestos fenólicos y proteínas (Stamogiannou et al., 2021). Realizan diferentes funciones en las plantas, defensa contra la radiación ultravioleta, condiciones ambientales drásticas, capacidad para contrarrestar el estrés oxidativo (Pinto et al., 2023) y también contribuyen al sabor (olor y astringencia), apariencia (color) y estabilidad oxidativa (Luna-Guevara, Luna-Guevara, Hernández-Carranza, Ruíz-Espinosa, & Ochoa-Velasco, 2018). Son beneficiosos para contrarrestar trastornos del metabolismo y una variedad de patologías, como la obesidad, la diabetes y las enfermedades cardiovasculares (Vuolo, Lima, & Maróstica Junior, 2019), es decir, pueden exhibir actividades fisiológicas relevantes que incluyen antiinflamatorias, antiinfecciosas, antiproliferativas y antioxidantes (Luna-Guevara et al., 2018).

La clasificación de los compuestos fenólicos a través de las rutas biosintéticas (metabolismo primario y secundario) dividen en tres grupos principales: (1) compuestos fenólicos y afines; (2) terpenoides y (3) alcaloides que contienen nitrógeno y compuestos que tienen azufre. Dichos compuestos están vinculados a metabolitos primarios mediante bloques de construcción y enzimas biosintéticas (Vuolo et al., 2019). Dentro de los compuestos fenólicos se pueden categorizar en siete grupos: flavonoides, ácidos fenólicos, taninos simples y condensados, estilbenos, cumarinas, lignanos y ligninas (Luna-Guevara et al., 2018).

Otras clasificaciones, agrupan en dos grupos principales: flavonoides y no flavonoides; donde, los flavonoides son compuestos polifenólicos que contienen dos anillos aromáticos conectados por un puente de tres carbonos; este gran grupo de flavonoides se divide además en seis subclases diferentes: flavonoles, flavonas, flavanonas, flavan-3-oles, isoflavonas y antocianidinas; por su parte los no flavonoides, tienen como grupos

principales a los ácidos fenólicos, los hidroxycinamatos y los estilbenos (Hogervorst Cvejić, Atanacković Krstonošić, Bursać, & Miljić, 2017). Sin embargo, en una estructura general, poseen un anillo aromático, que contiene uno o más sustituyentes hidroxilo, mayormente están conjugados con monosacáridos y polisacáridos, asociados con uno o más grupos fenólicos y podrían vincularse a ésteres y ésteres metílicos (Vuolo et al., 2019). Debido a su diversidad estructural, se han identificado más de 8000 compuestos fenólicos y no existe una clasificación única (Luna-Guevara et al., 2018). Una clasificación resumida es el que se observa en la figura 9. Cabe mencionar, que los flavonoides son un grupo de metabolitos secundarios ampliamente distribuidos en las plantas, que afectan en gran medida la calidad sensorial y nutricional de frutas y hortalizas, representan una gran parte de los fenoles solubles presentes en la vid, se encuentran entre los compuestos más importantes para la calidad de las uvas de vino tinto debido a su efecto sobre los atributos sensoriales del vino y últimamente han recibido una gran atención tanto por parte de los investigadores debido a su efecto beneficioso sobre la salud humana (Brillante et al., 2015).

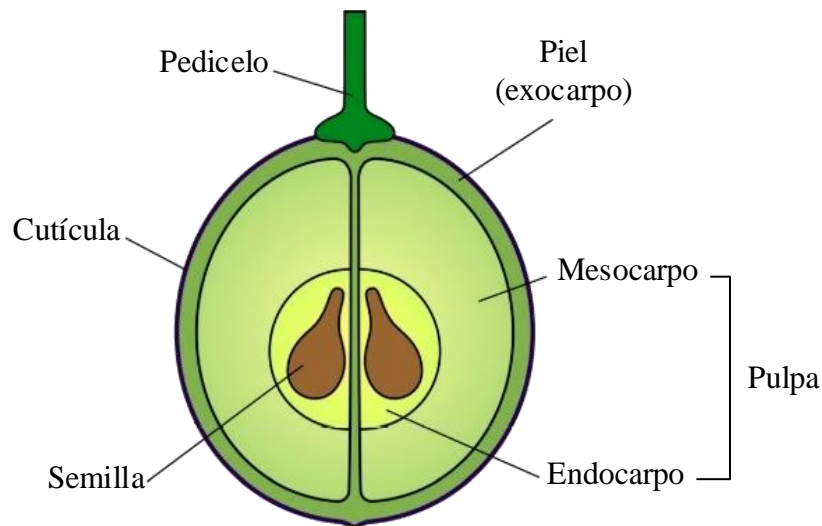


**Figura 9.** Clasificación de los compuestos fenólicos adaptado de Carocho & Ferreira, (2013)

### 1.5 SUBPRODUCTOS DE LA UVA

La vid pertenece a la familia de las Vitaceae, cuyo producto derivado principal es el vino (Topalović et al., 2020). Las uvas tienen tres partes fundamentales: piel (exocarpo), pulpa (meso y endocarpo) y semillas (figura 10) (Conde et al., 2006).

Los subproductos de la uva representan alrededor del 25% (p/p) del peso de la uva procesada y se generan en el proceso de elaboración del vino, específicamente en la etapa de despalillado, prensado mecánico o fermentación, obteniéndose algunas partes del tallo, pieles y semillas, a menudo se denominan orujo de uva (Sirohi et al., 2020; Spigno, Marinoni, & Garrido, 2017). La vinificación genera más de 20 millones de toneladas de residuos por año en todo el mundo, lo que representa un problema sustancial de gestión de residuos debido a su alta carga de contaminación (Meini, Cabezudo, Boschetti, & Romanini, 2019; Saha, Gitto, & Dally, 2020).



**Figura 10.** Estructura de baya de uva madura, adaptado de Conde et al. (2006)

La semilla de uva, se pueden agregar a los alimentos como complemento nutricional funcional, porque contienen ácidos grasos y otros componentes bioactivos, incluidas vitaminas y antioxidantes que se suman a sus propiedades tecnológicas y posibles beneficios para la salud humana, de modo que la creación de nuevos usos de las semillas promueve la producción sostenible de uvas y reduce el desperdicio y los recursos (Bogoeva & Durakova, 2020; Lampi & Heinonen, 2009). En general, las semillas son más ricas en fibra si se las compara con la piel, además de contener otros compuestos como flavan 3-oles poliméricos, ácidos oleico, linolénico, palmítico y esteárico (Imperio et al., 2021). algunos autores, les otorgan a las semillas de uva propiedades antidiabéticas, antibacterianas, anticancerígenas, antiinflamatorias, aromáticas y antifúngicas (Bogoeva & Durakova, 2020).

Los subproductos fermentados de la uva, se obtienen cuando el mosto junto con la pulpa restante, la piel y las semillas, tras el proceso de despalillado, estrujado o triturado son macerados y fermentados durante un periodo de 6 a 10 días a temperatura de 18 a 20°C según sea el tipo de vinos tinto, ya que después de la fermentación, el jugo se elimina y solo queda la piel y semilla fermentada, por el contrario, los subproductos de uva sin fermentar se obtiene inmediatamente después del prensado de la uva (Lachman et al., 2013; Nardoia et al., 2020). Los subproductos de la uva se pueden destilar para obtener etanol o se desecha como residuo natural, utilizados como abono o alimento para animales; sin embargo, su predisposición funcional, pone en valor los subproductos de uva para obtener coproductos de alto valor nutricional y funcional, complementos alimenticios y nuevos ingredientes alimenticios (Drevelegka & Goula, 2020).



**2**

**OBJETIVOS/OBJETIVES, PLANTEAMIENTO  
DEL TRABAJO**



## 2.1 OBJETIVOS/ OBJECTIVES

El objetivo principal del presente trabajo de investigación es: Estudio de nuevos productos extruidos a base de cereales y legumbres y la evaluación de su calidad nutricional y funcional.

Y como objetivos específicos:

- Valorar la Influencia del proceso de extrusión sobre harinas de cereales y leguminosas en la fracción hidrocarbonada y compuestos fenólicos.
- Estudiar el efecto de la formulación de harinas de cereales y leguminosas con distintos subproductos de vinificación en su composición química: piel de uva (*Cabernet Sauvignon*) fermentada; Semilla de uva (*Cabernet Sauvignon*) fermentada y Semilla de uva (*Chardonnay*) no fermentada.
- Valorar la influencia del proceso de extrusión en las harinas formuladas y los cambios en su composición química: fracción hidrocarbonada y compuestos fenólicos.

Esta investigación se encuentra dentro de los siguientes Proyectos de Investigación financiados:

Título: **Programa de Financiación de Grupos de Investigación Validados.**

Grupo 951505 - NUEVOS ALIMENTOS. ASPECTOS CIENTÍFICOS, TECNOLÓGICOS Y SOCIALES.

Entidad financiadora: Vicerrectorado de Investigación y Transferencia UCM. 2018-19; GR29/20; GFRN-17/21; GRFN14-22.

Investigador principal: Prof. Dr. Montaña Cámara Hurtado.

Título: **New Sustainable Processes, Preservation Technologies, and Product**

**Concepts for Speciality Crops and their Co-Products**

Entidad financiadora: Healthy Process Food Research Unit. Western Research Regional Center, USDA-ARS-WRRC. Referencia: 2030-41000-510-00D  
Investigador principal: Dr. José de Jesús de Berrios

## **OBJECTIVES**

The **main objective** of this research work is: Study of new extruded products based on cereals and pulses enriched with Hylon® V and different winemaking by-products, and the evaluation of their nutritional and functional quality. And as **specific objectives**:

- Assess the influence of the extrusion process on cereal and pulse control flours in the hydrocarbon fraction and phenolic compounds.
- To study the effect of formulating cereal and pulse flours enriched with different winemaking by-products on their chemical composition: fermented grape skin (*Cabernet Sauvignon*); Fermented Grape Seed (*Cabernet Sauvignon*) and Unfermented Grape Seed (*Chardonnay*).
- Evaluate the influence of the extrusion process on the formulated flours and the changes in their chemical composition: hydrocarbon fraction and phenolic compounds.

This research is part of the following funded Research Projects:

Title: **Funding Program for Validated Research Groups.**

Research Group 951505 - NEW FOODS. SCIENTIFIC, TECHNOLOGICAL AND SOCIAL ASPECTS.

Funded entity: UCM Research and Transfer Office. 2018-19; GR29/20; GFRN-17/21; GRFN14-22.

Principal investigator: Prof. Dr. Montaña Cámara Hurtado.

**Title: New Sustainable Processes, Preservation Technologies, and Product Concepts for Speciality Crops and their Co-Products**

Funded entity: Healthy Process Food Research Unit. Western Research Regional Center, USDA-ARS-WRRC. Referencia: 2030-41000-510-00D

Principal investigator: Dr. José de Jesús de Berrios

## **2.2 PLANTEAMIENTO DEL TRABAJO**

Una vez establecidos los objetivos del trabajo se realizó la puesta a punto la metodología correspondiente (capítulos 3 y 4).

Los nuevos productos extruidos a base de maíz y lenteja con incorporación de subproductos de la vinificación fueron diseñados y elaborados por el Dr. José de J. Berrios en las instalaciones del USDA-ARS-WRRC (California, EE. UU.).

Respecto a la metodología analítica, dentro de la fracción hidrocarbonada se realizó la determinación de: Fibra dietética, Carbohidratos disponibles totales, Azúcares solubles y  $\alpha$ -galactósidos, Arabinoxilanos, Almidón total (amilosa y amilopectina) y Almidón resistente. Y respecto a los compuestos fenólicos, la determinación de fenoles totales, flavonoides y antocianinas totales.

Las determinaciones correspondientes a los azúcares solubles y fracciones de almidón se realizaron durante la estancia de investigación predoctoral (6 meses) realizada por el autor de esta Memoria en el “Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria” (INIA), bajo la dirección de la Dra. Mercedes M. Pedrosa.

Las determinaciones de los compuestos fenólicos (fenoles, flavonoides y antocianinas totales), se realizaron durante la estancia de investigación internacional realizada por el autor de esta Memoria en la Universidad Nacional de Moquegua – Perú.

Los resultados obtenidos en la presente tesis doctoral (capítulo 5), se han dividido en dos bloques para su discusión. El primero hacer referencia al efecto del proceso de extrusión en las muestras de harina (maíz y lenteja) control (capítulo 5.1). A continuación, en los apartados 5.2, 5.3 y 5.4, se estudia el efecto de la formulación, y posterior extrusión, de las mezclas de harina (maíz y lenteja) con la incorporación de distintos subproductos de la uva y Hylon® V: Piel de uva (*Cabernet Sauvignon*) fermentada; Semilla de uva (*Cabernet Sauvignon*) fermentada y Semilla de uva (*Chardonnay*) no fermentada. Seguidamente se realizó como parte de los resultados una comparación entre todos los alimentos extruido (apartado 5.5).

Una vez discutidos los resultados obtenidos, en el capítulo 6 se recogen las conclusiones del trabajo realizado.

A graphic consisting of a circle on the left containing the number '3', followed by a horizontal bar with rounded ends containing the word 'MATERIALES'.

**3** **MATERIALES**



### 3.1. HARINAS E INGREDIENTES

#### 3.1.1. Harinas: Maíz (*Zea mays* L.) y Lenteja (*Lens culinaris* L.)

Los cereales son los ingredientes habitualmente utilizados para los procesos de cocción por extrusión debido a su contenido de almidón que se adapta a las características del material de la mayoría de las extrusoras (Alam & Aslam, 2020). Concretamente, el maíz es uno de los ingredientes más utilizados en la elaboración de snacks, debido en gran medida a su amplia disponibilidad y excelentes características de expansión (Ek, et al., 2020). Y por la versatilidad y flexibilidad característico del proceso de extrusión, se han expandido alimentos a base de lentejas (Luo et al., 2020). Aprovechando esa versatilidad y flexibilidad del proceso de extrusión, una mezcla de maíz y lentejas es viable desde el punto de vista nutricional por la composición de la proteína, pudiéndose complementar los aminoácidos esenciales presentes en el maíz (fenilalanina 0,44%, lisina 0,28%, leucina 1,09%, isoleucina 0,32%, metionina 0,20%, treonina 0,32%, triptófano 0,07%, valina 0,43%, arginina 0,42% y histidina 0,27% en el maíz) con la composición aminoacídica de la lenteja (fenilalanina 4,90%, lisina 7,00%, leucina 7,30%, isoleucina 4,30%, metionina 0,90%, treonina 3,60%, triptófano 0,90%, valina 5,00%, arginina 7,70%, histidina 2,80%) (Loy & Lundy, 2019; Samaranayaka, 2017).

En la presente tesis doctoral se ha utilizado harina a base de maíz (70 %) y lenteja (30 %) como harina control. Para elaborar 100 g de harina control, se partió de 93,75 g de mezcla maíz y lenteja (70:30) a la que se adicionó 1,25 g de sal y 5 g de azúcar la cual se analizó en tanto cruda como tras el proceso de extrusión.

A partir de esta harina control se realizaron distintas formulaciones incluyendo diferentes subproductos (piel y semillas) procedentes de la elaboración del vino, almidón alto en amilosa (Hylon® V), azúcar y sal.

### **3.1.2. Subproductos de la vinificación: Piel y semilla de uva**

**La piel de uva** es altamente compleja y dinámica, está compuesta por polisacáridos no amiláceos, compuestos fenólicos y proteínas, estabilizadas por enlaces iónicos y covalentes (los cuales pueden diferir entre variedades e incluso dentro de las mismas variedades cultivada en diferentes terrenos), entre otros (Paladines-Quezada, Moreno-Olivares, Fernández-Fernández, Bautista-Ortín, & Gil-Muñoz, 2019). Las paredes celulares de la piel de las uvas también contienen los compuestos responsables del color y aroma para la vinificación; sin embargo, la degradación de la piel para la liberación de varios componentes deseados está directamente relacionados con la composición de la pared celular de la piel, la morfología, el origen y el cultivo de uva (Apolinar-Valiente, Gómez-Plaza, Terrier, Doco, & Ros-García, 2017).

**Las semillas de uva:** Representan alrededor del 5% del peso de la uva entera y aproximadamente el 40 a 50% de los residuos sólidos que generan los viñedos durante el proceso de elaboración del vino (Bordiga et al., 2019). Otros autores afirman que las semillas de uva constituyen aproximadamente entre el 20 a 26% de los subproductos de la uva (Ustun Argon, Celenk, & Gumus, 2020). Por tanto, son subproductos interesantes, porque, también permanecen sustancialmente intactos durante las fases de procesamiento, propiedad que le confiere el proceso de lignificación que tuvo lugar durante la maduración de la uva (Imperio et al., 2021).

En el presente estudio se han utilizado los siguientes subproductos del proceso de vinificación tanto con uva tinta (*Cabernet Sauvignon*) como blanca (*Chardonnay*):

- **Piel de uva** (*Cabernet Sauvignon*) **fermentada**.
- **Semilla de uva** (*Cabernet Sauvignon*) **fermentada**.
- **Semilla de uva** (*Chardonnay*) **no fermentada**.

**La uva *Cabernet Sauvignon*** (*Vitis vinifera* L.) es una de las principales variedades enológicas del mundo (Quan et al., 2022), del vino tinto, originaria de la zona de Burdeos – Francia y se le atribuye su origen al cruzamiento de la variedad Cabernet Franc con el Sauvignon Blanc (Bowers & Meredith, 1997). Las bayas son pequeñas, ácidas con semillas y poseen una piel dura y de pigmentación oscura (Jackson, 2020).

**La uva *Chardonnay*** es una variedad blanca, destinadas para la elaboración de cavas, champagnes, vinos blancos, es originaria de la región francesa de la Borgoña y su origen genético procede de las cepas Gouais Blanc y Pinoccio, tienen racimos de tamaño pequeño, compactos, bayas esféricas, de tamaño mediano, de color verde-amarillo y de hollejo medio grueso (ENTERWINE, 2022)

### **3.1.3. Otros: Almidón Hylon® V, sal y azúcar**

El almidón **Hylon®**, se trata de almidón refinado a partir de maíz con alto contenido de amilosa (Błaszczak et al., 2007). Estos almidones industriales se presentan en el mercado con al menos 50% de amilosa, ofrecen propiedades funcionales interesantes para aplicaciones nutricionales y no nutricionales y se utilizan comúnmente para la fabricación de productos alimenticios con bajo contenido de humedad (Khachatryan, Krzeminska-Fiedorowicz, Nowak, & Fiedorowicz, 2014), Los almidones industriales con alto contenido de amilosa ( $\geq 50\%$  de amilosa) se usan comúnmente para la fabricación de productos alimenticios con bajo contenido de humedad que contienen fracciones altas de almidón resistente (Agama-Acevedo, Pacheco-Vargas, Bello-Pérez, & Alvarez-Ramirez, 2018). Según la ficha técnica de INGREDION (2020), describe que el almidón alimenticio Hylon® V, es un híbrido de maíz que contiene aproximadamente un 55% de amilosa. La amilosa, es un polímero lineal, que puede alinearse o asociarse estrechamente mediante enlaces de hidrógeno. Esta característica de la amilosa es la principal responsable de la capacidad de gelificación y formación de película de los almidones.

Dado que el almidón Hylon® V contiene aproximadamente el doble de amilosa que el almidón de maíz normal puede formar geles más rígidos y contribuir a la formación de películas más fuertes y resistentes. El almidón Hylon® V requiere temperaturas de cocción más altas que el almidón de maíz convencional para gelatinizar adecuadamente.

La **sal** común o simplemente sal (cloruro de sodio - NaCl), se ha utilizado como conservante de alimentos durante 5.000 – 10.000 años (Parniakov et al., 2020). Muchas de las características funcionales del cloruro de sodio se basan en su capacidad para controlar la actividad del agua y su interacción con las proteínas (Mitchell, 2019). Además, es un compuesto que da un sabor atractivo a los alimentos, por lo que se le considera como el único compuesto mineral por el que puede desarrollarse un deseo (Thompson, 2018).

**El azúcar** se utiliza comúnmente para dar gusto y sabor dulce a ciertos alimentos, porque el azúcar agregado hace que los alimentos sean más atractivos, más valorados comercialmente (Mukhopadhyay, Goswami, Mondal, & Dutta, 2020). El azúcar, tiene muchas funciones en los alimentos procesados, sus efectos evidencian cambios en la estructura, color, dulzor y la vida útil del alimento (Milner, Kerry, O'Sullivan, & Gallagher, 2020).

### 3.2. FORMULACIONES

Las mezclas alimenticias estudiadas sobre la base de una mezcla de maíz (*Zea mays* L.) y lentejas rojas (*Lens culinaris* L.), en proporciones de 70 y 30% respectivamente, fueron diseñados y elaborados por el Dr. José de J. Berrios (USDA-ARS-WRRC, California, EE. UU.).

Las distintas proporciones de la mezcla maíz y lentejas fueron incorporadas con diferentes porcentajes (5 y 20%) de piel/semilla de uva de la variedad tinta *Cabernet Sauvignon* (piel y semilla fermentadas), la variedad de uva blanca *Chardonnay* (semilla no fermentada) y almidón Hylon® V (5 y 20%), más la adición de dos componentes fijos como sal y azúcar en todas las formulaciones.

Cabe indicar, que la presencia de la sal y azúcar están asociados con los aspectos tecnológicos relacionados con la expansión durante el proceso de extrusión, ya que los efectos de la expansión radial y energía mecánica específica se corresponden con el azúcar incorporado para reducir o incrementar la expansión de los extruidos (Ascheri, Carvalho, & Mitchell, 2002). Así mismo, la sal y el azúcar tienen un efecto sinérgico sobre la energía de procesamiento, la expansión del extruido y la resistencia mecánica (Pitts, Favaro, Austin, & Day, 2014).

En la tabla 3, se presentan las muestras a base de una mezcla de maíz y lenteja, incorporadas con distintas proporciones de piel (foto 1) o semilla (foto 2) de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y almidón Hylon® V, además de cantidades fijas de sal y azúcar, al igual que la incorporación de semilla de uva *Chardonnay no* fermentada (foto 3).

**Tabla 3.** Formulación de harinas de maíz y lenteja con incorporación de piel o semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada, y semilla de uva *Chardonnay* no fermentada

<b>Muestras</b>	<b>Codificación</b>	<b>Maíz Lenteja</b>	<b>Piel de uva</b>	<b>Almidón Hylon® V</b>	<b>Sal</b>	<b>Azúcar</b>	<b>Total (%)</b>
Crudas	<b>Control cruda</b>	93,75	0,00	0,00	1,25	5,00	100,00
Extruidas	<b>Control extruida</b>						
Incorporación de piel de uva <i>Cabernet Sauvignon</i> fermentada							
Crudas	<b>CS-SkF-Raw1</b>	83,75	5,00	5,00	1,25	5,00	100,00
Extruidas	<b>CS-SkF-Ext1</b>						
Crudas	<b>CS-SkF-Raw2</b>	68,75	5,00	20,00	1,25	5,00	100,00
Extruidas	<b>CS-SkF-Ext2</b>						
Crudas	<b>CS-SkF-Raw2</b>	68,75	20,00	5,00	1,25	5,00	100,00
Extruidas	<b>CS-SkF-Ext2</b>						
Crudas	<b>CS-SkF-Raw2</b>	53,75	20,00	20,00	1,25	5,00	100,00
Extruidas	<b>CS-SkF-Ext2</b>						
Incorporación de semilla de uva <i>Cabernet Sauvignon</i> fermentada							
Crudas	<b>CS-SdF-Raw1</b>	83,75	5,00	5,00	1,25	5,00	100,00
Extruidas	<b>CS-SdF-Ext1</b>						
Crudas	<b>CS-SdF-Raw2</b>	68,75	5,00	20,00	1,25	5,00	100,00
Extruidas	<b>CS-SdF-Ext2</b>						
Crudas	<b>CS-SdF-Raw3</b>	68,75	20,00	5,00	1,25	5,00	100,00
Extruidas	<b>CS-SdF-Ext3</b>						
Crudas	<b>CS-SdF-Raw4</b>	53,75	20,00	20,00	1,25	5,00	100,00
Extruidas	<b>CS-SdF-Ext4</b>						
Incorporación de semilla de uva <i>Chardonnay</i> no fermentada							
Crudas	<b>Ch-Sd-Raw1</b>	83,75	5,00	5,00	1,25	5,00	100,00
Extruidas	<b>Ch-Sd-Ext1</b>						
Crudas	<b>Ch-Sd-Raw2</b>	68,75	5,00	20,00	1,25	5,00	100,00
Extruidas	<b>Ch-Sd-Ext2</b>						
Crudas	<b>Ch-Sd-Raw3</b>	68,75	20,00	5,00	1,25	5,00	100,00
Extruidas	<b>Ch-Sd-Ext3</b>						
Crudas	<b>Ch-Sd-Raw4</b>	53,75	20,00	20,00	1,25	5,00	100,00
Extruidas	<b>Ch-Sd-Ext4</b>						

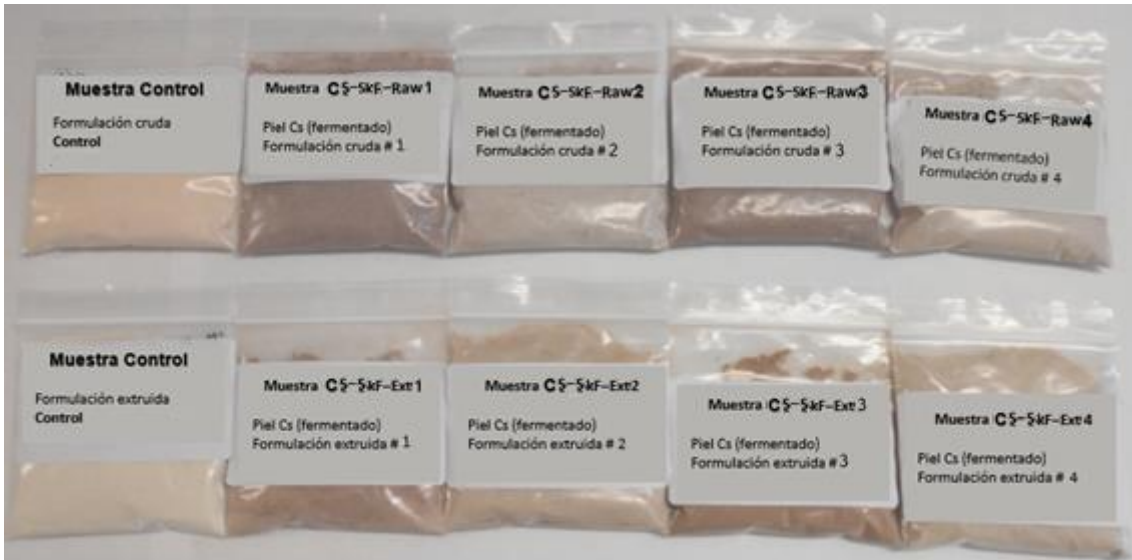


Foto 1. Harinas base (Maíz:Lenteja), con piel de uva fermentada de *Cabernet Sauvignon* (Foto: Mario Cotacallapa)



Foto 2. Harinas base (Maíz:Lenteja), con semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada (Foto: Mario Cotacallapa)



**Foto 3.** Harinas base (Maíz-Lenteja), con semilla de uva *Chadonnay* no fermentado  
(Foto: Mario Cotacallapa)

### 3.3. PROCESO DE EXTRUSIÓN APLICADO

Las condiciones de extrusión de las distintas formulaciones alimenticias se iniciaron con el acondicionamiento de la mezcla base (maíz y lentejas), previamente acondicionadas. Luego se incorporaron los subproductos de la vinificación (piel/semilla de uva fermentada o semilla de uva no fermentada), el almidón Hylon® V y el resto de los ingredientes (sal y azúcar). En seguida, las formulaciones se dividieron en crudas y las destinadas a la extrusión (figura 11). Las distintas formulaciones destinadas para el proceso de extrusión fueron acondicionadas previamente a una humedad de 17% para la alimentación del extrusor de doble tornillo CLEXTRAL EVOL HT32-H - relación L/D 24. Las condiciones operativas del extrusor para todas las formulaciones fueron las siguientes: velocidad de alimentación 50 kg/h, velocidad del tornillo 500 rpm, temperatura 160°C y diámetro de abertura de expansión de 3,5 mm.

Las harinas crudas y extruidas fueron elaboradas por el equipo del Dr. José de Berrios (USDA, California) y envasadas en bolsas de polietileno en cantidad de 50 g por cada muestra y enviadas al Laboratorio del grupo de investigación ALIMNOVA (Dpto. Nutrición y Ciencia de los Alimentos, Facultad de Farmacia, UCM) para su análisis. Una vez recibidas las muestras, se conservaron en desecador a temperatura ambiente sin incidencia directa de la luz solar.

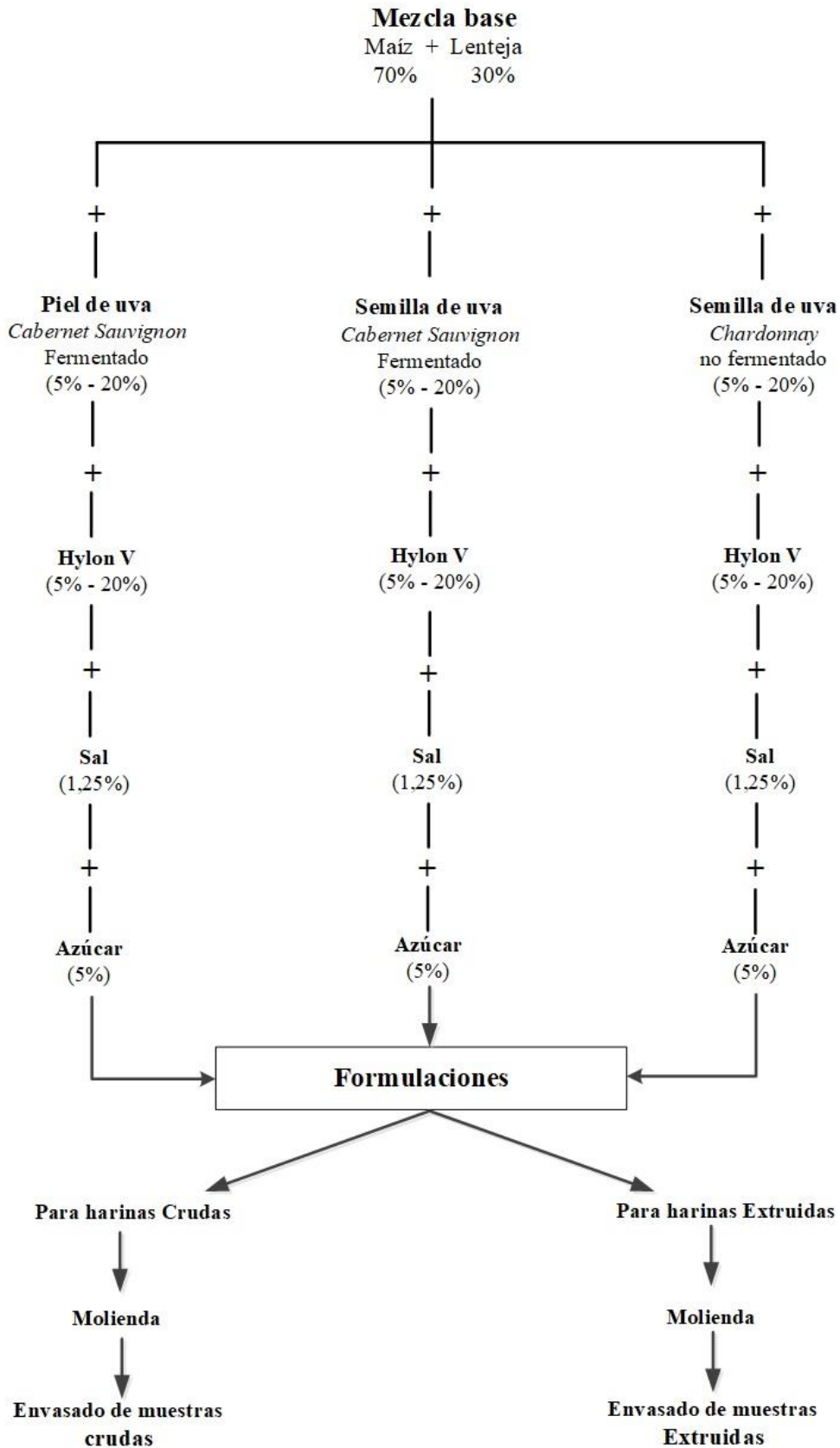


Figura 11. Formulación de harinas y proceso de extrusión

A graphic element consisting of a circle on the left containing the number '4', followed by a horizontal bar with rounded ends containing the text 'METODOLOGÍA ANALÍTICA'.

**4** **METODOLOGÍA ANALÍTICA**



En este apartado, se presentan los distintos análisis de laboratorio relacionado a la fracción hidrocarbonada y los compuestos fenólicos, según se muestra en la figura 12.

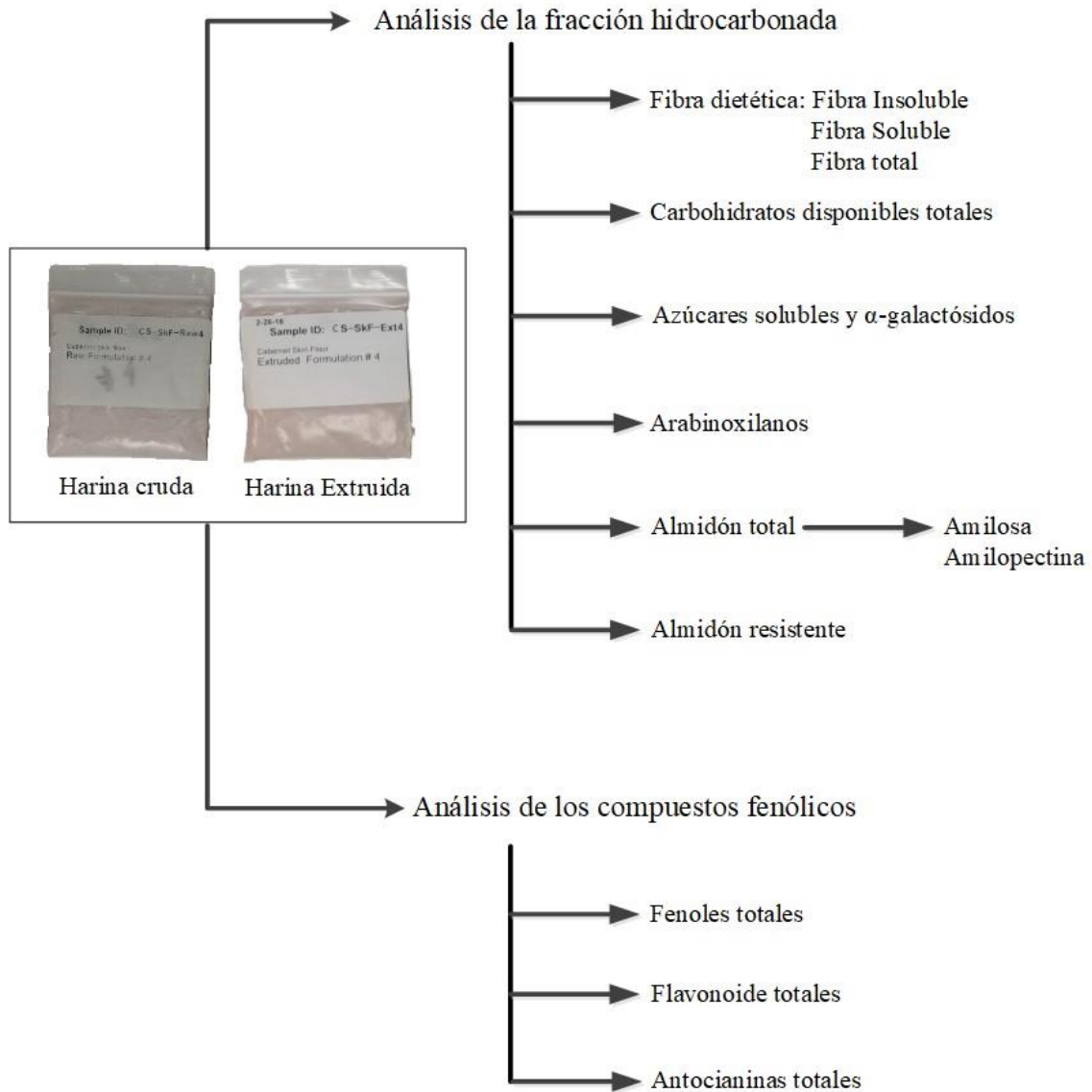
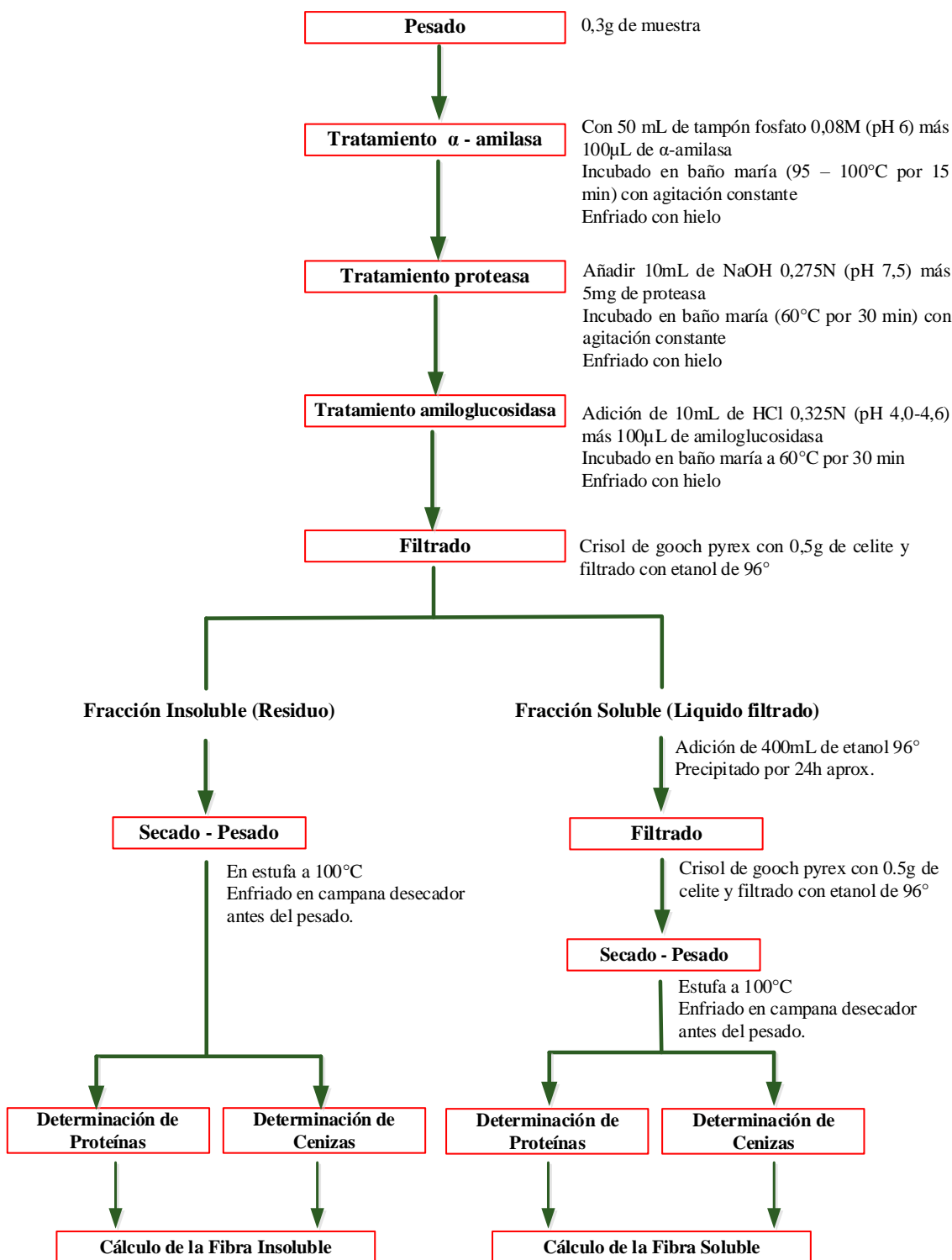


Figura 12. Esquema del Plan de trabajo

#### 4.1. DETERMINACIÓN DE LA FIBRA DIETÉTICA

La determinación de la fibra dietética insoluble, soluble y total, se realizó por el método enzimático gravimétrico de la AOAC 993.19 y 991.42 (Latimer, 2012). El método consiste en una digestión enzimática de las muestras con  $\alpha$ -amilasa, proteasa y amiloglucosidasa (Sigma-Aldrich) con el fin de eliminar la proteína y almidón presentes en las muestras. El método fue desarrollado como se muestra en el diagrama de flujo de la figura 13 que comprende cuatro etapas:

**Tratamiento con enzimas:** Se pesaron 0,3 g de muestra de harinas en balanza analítica BOECO-Germany, por cuadruplicado y se colocaron en matraces de 100 mL. Se añadieron 50 mL de tampón fosfato 0,08 M (pH 6) y 100  $\mu$ L (0,1 mL) de  $\alpha$ -amilasa termoestable. Los matraces se taparon con papel aluminio y se sometieron a calentamiento en baño maría Memmert a 100°C por 15 min en agitación constante. Se enfriaron en hielo hasta 60°C y se añadieron 10 mL de hidróxido de sodio 0,275 N (pH de 7,5) más 0,5 mg de enzima proteasa y se calentaron nuevamente en baño maría a 60°C en agitación constante durante 30 min. Tras concluir, se añadieron 10 mL de ácido clorhídrico a 0,325 N (pH 4,0 – 4,6) más 100  $\mu$ L (0,1 mL) de enzima amiloglucosidasa y se calentaron nuevamente en baño maría a 60°C en agitación constante durante 30 min.



**Figura 13.** Diagrama de flujo para determinación de la fibra dietética insoluble y soluble según método enzimático gravimétrico de la AOAC 993.19 y 991.42.

**Obtención de la fibra insoluble:** Para la obtención de la fibra insoluble, se procedieron al filtrado del líquido obtenido sobre crisoles con placa filtrante Gooch Pyrex, que fueron previamente acondicionadas con 0,5 g de celite y pesados (crisol + celite®). Para lo cual, se empleó un sistema de filtración de vacío con una bomba Fisherbrand FB 70155 y un matraz kitasato de 2 L provista de un tapón de goma abierta para el sellado entre el crisol y el matraz donde se recogió el líquido filtrado. Para finalizar el filtrado, se lavó con aproximadamente 10 mL agua destilada y 10 mL de etanol (96% v/v). El líquido filtrado de reservó para la determinación de la fibra soluble. Los crisoles se secaron en estufa Memmert a 100°C y se pesaron, previo a un enfriamiento a temperatura ambiente dentro de una campana de desecación. Después de la determinación de la proteína y cenizas de los residuos de fibra, se calculó el contenido correspondiente a la fibra insoluble.

**Obtención de la fibra soluble:** El líquido reservado de la fibra insoluble, se almacenó en matraz de 500 mL con adición de 400 mL de etanol 96% v/v y se dejó precipitar durante 24h. Seguidamente, se filtró en otros crisoles Gooch Pyrex en las mismas condiciones mencionadas en la obtención de la fibra insoluble. Los crisoles se desecaron en estufa Memmert a 100°C y se pesaron, previamente enfriados en campana de desecación. Después de la determinación de la proteína y cenizas, se calcularó el contenido correspondiente a la fibra soluble.

#### **Cálculos para la determinación de la fibra insoluble, soluble y total**

El cálculo de la fibra insoluble (FI), soluble (FS) y total (FT) se realizó con las siguientes ecuaciones:

$$FI \text{ (g/100g)} = \frac{RI-P-C}{M} \times 100 \quad \text{(Ecuación 1)}$$

$$FS \text{ (g/100g)} = \frac{RS-P-C}{M} \times 100 \quad \text{(Ecuación 2)}$$

$$FT \text{ (g/100g)} = FI + FS \quad \text{(Ecuación 3)}$$

Donde:

RI: Residuo de fibra insoluble (g)

RS: Residuo de fibra soluble (g)

P: Proteína (g en residuo)

C: cenizas (g en residuo)

M: Peso de muestra (g)

#### **4.2. DETERMINACIÓN DE CARBOHIDRATOS DISPONIBLES TOTALES**

La determinación de los carbohidratos disponibles totales se realizó según el método de la antrona (Osborne & Voogt, 1986). Es un método colorimétrico, donde el reactivo antrona (9,10-dihidro-9-oxoantraceno) tiene una coloración verdosa a la reacción con los productos que resultan de la hidrólisis de carbohidratos en presencia de ácido sulfúrico y calor. Según el diagrama de flujo de la figura 14, se pesaron 0,4 g de las harinas crudas y extruidas y se colocaron en un matraz aforado de 100 mL. Se añadieron 10 mL de agua destilada y 13 mL de ácido perclórico al 52% (operación realizada en campana extractora de gases). Luego se taparon los matraces con una cinta parafilm y se dejaron hidrolizar durante 24 h.

Tras la hidrólisis, se procedió a un filtrado utilizando pliegues de papel filtro en un matraz aforado de 250 mL, se enrasó con agua destilada, se tapó con cinta de parafilm y se homogenizó. Seguidamente se extrajo 10 mL de la solución anterior a un matraz de 100 mL, se enrasó con agua destilada, se tapó con cinta de parafilm y se homogenizó. Luego se extrajo 1 mL de la última solución disuelta y se colocaron en tubos de ensayo. Cabe mencionar, que también se prepararon tubos de ensayo conteniendo agua destilada que representan el blanco respectivo. A cada tubo se añadieron 5 mL del reactivo antrona en

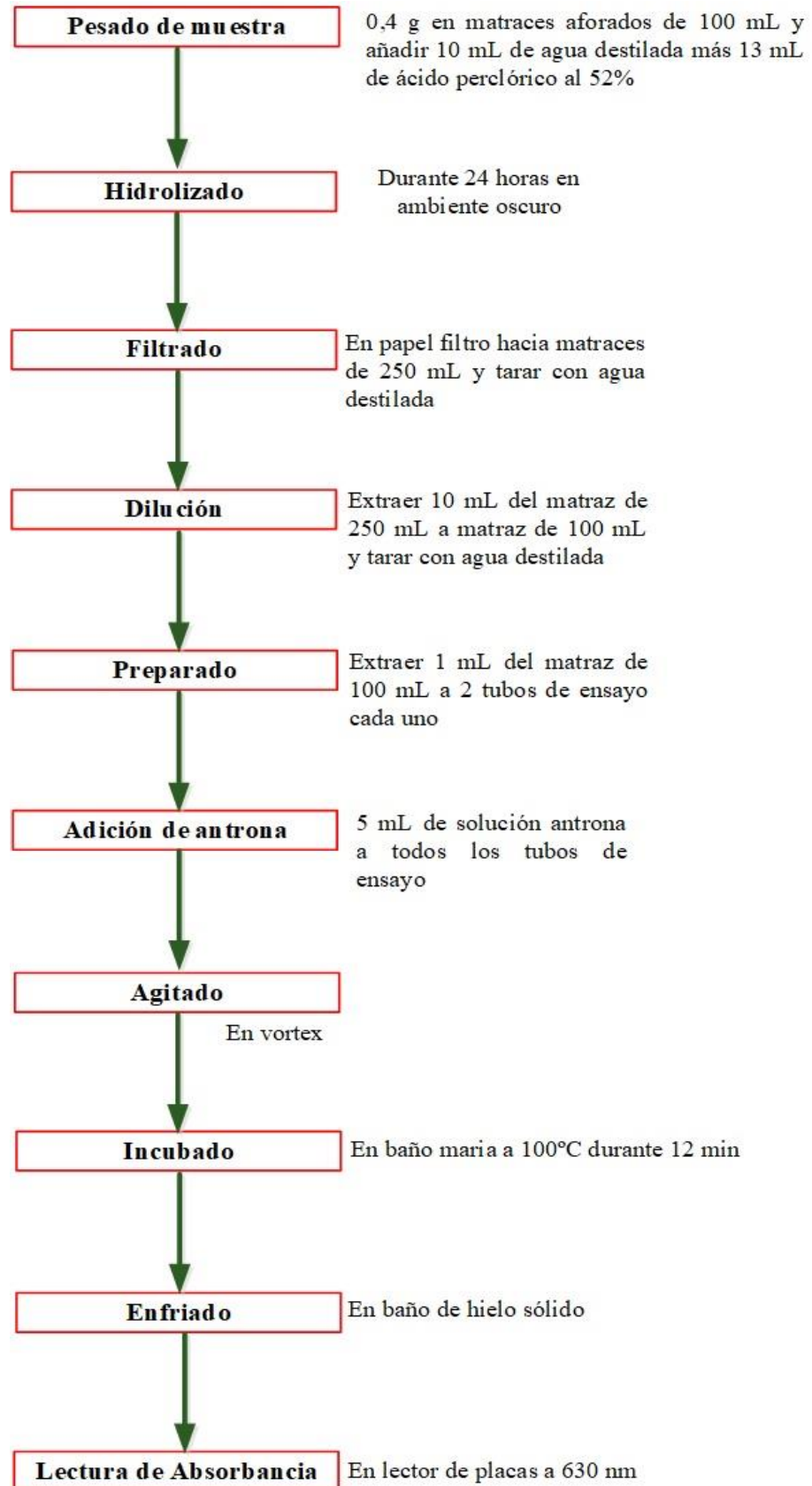
campana extractora de gases. Se taparon cada tubo de ensayo con cinta parafilm y se procedió agitar vortex hasta mezclarse homogéneamente.

Los tubos de ensayo fueron colocados en rejillas de metal y colocados en baño maría a 100 °C para la reacción correspondiente durante 12 min exactos. Concluido el tiempo de reacción, se enfriaron en un baño de hielo a fin de contener la reacción. Posteriormente, se tomaron 300 µL del contenido de cada tubo de ensayo y se añadieron a los pocillos de una microplaca, ubicándolas convenientemente para su identificación de muestras y los respectivos blancos, incluyéndose los tubos de ensayo pertenecientes a los puntos de la curva patrón de glucosa.

la curva patrón de glucosa se preparó a partir de una concentración conocida de 200 µg/mL, considerando los puntos para la curva, que se muestran en la tabla 4. Cada concentración se diluyó en los respectivos tubos de ensayo, rotulados convenientemente, a los mismos se añadieron el reactivo antrona, tapados con Parafilm, agitados en vortex y calentados a 100°C en baño maría por 12 min. Finalmente, se trasvasaron 300 µL en los pocillos de la microplaca. Todo este proceso fue realizado juntamente con los tubos de las muestras objeto de estudio.

**Tabla 4.** Concentraciones para la curva patrón de glucosa

Concentración (µg/mL)	Cantidades	
	Glucosa (µL)	Agua (d) (µL)
10	50	950
20	100	900
40	200	800
60	300	700
80	400	600
100	500	500
150	750	250
200	1000	0



**Figura 14.** Diagrama de flujo para determinación de carbohidratos disponibles totales según Osborne and Voogt (1986)

Una vez colocadas las muestras, el blanco y la curva patrón de glucosa (figura 16) en los respectivos pocillos de la microplaca, se procedió a realizar la lectura de la absorbancia a una longitud de onda de 630 nm, en un equipo lector de placas (Synergy HTX Multi-Mode Microplate Reader) (figura 15).

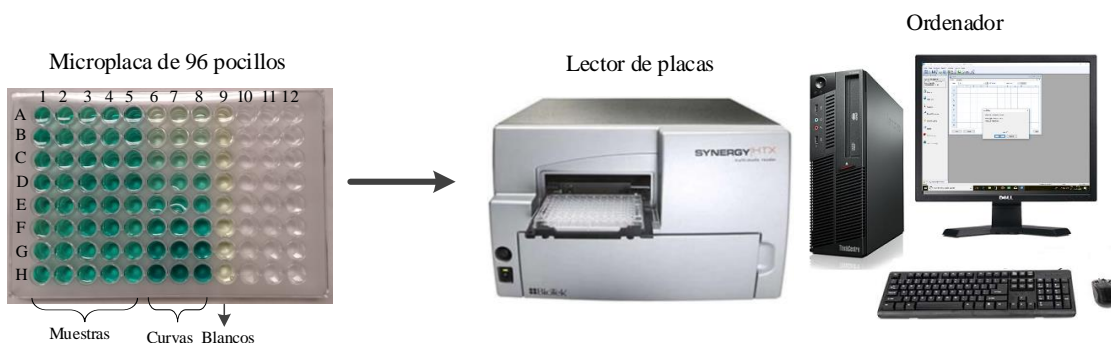


Figura 15. Lectura de absorbancias para carbohidratos disponibles en Lector de placas

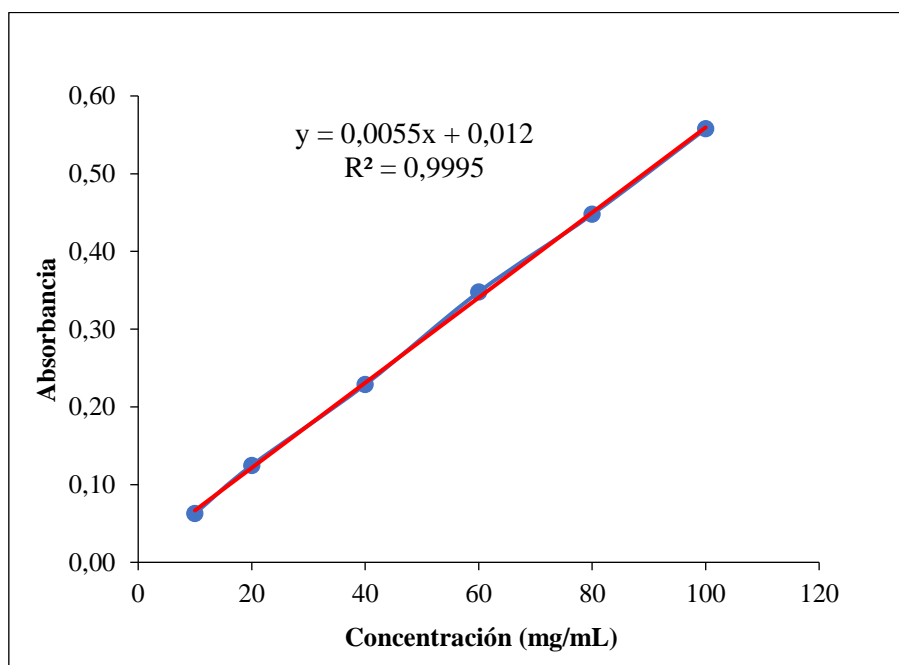


Figura 16. Curva de calibración de glucosa

### **Cálculo de los carbohidratos disponibles totales**

El cálculo de la concentración de los carbohidratos disponibles se realizó en función de una ecuación lineal (ecuación 4), para una curva patrón de glucosa con un coeficiente de correlación  $R^2$  de 0,9995.

$$Y = 0,0055X + 0,012 \quad (\text{Ecuación 4})$$

Donde:

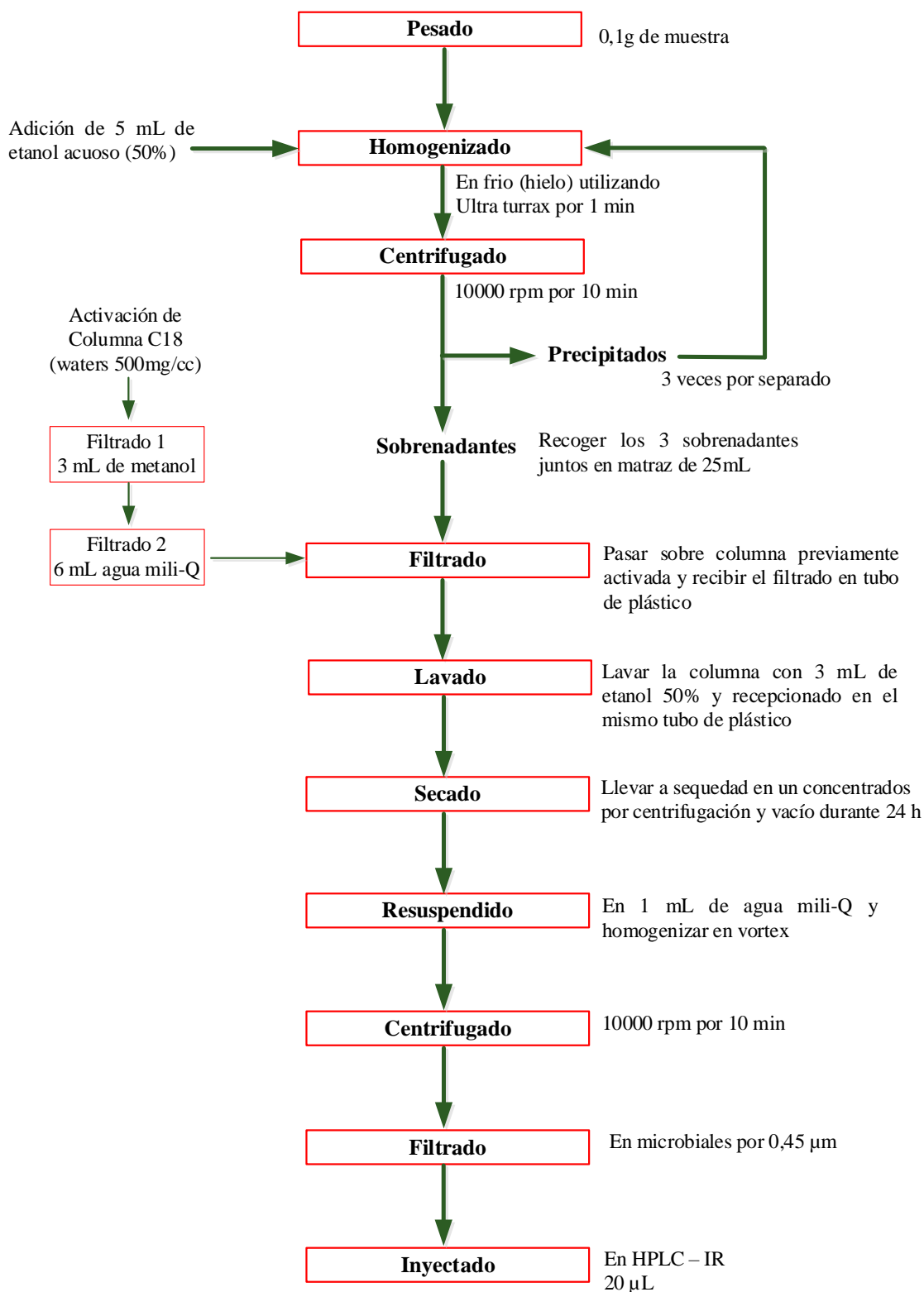
- Y : Absorbancia de la muestra
- 0,0055 : pendiente de la curva patrón de la glucosa
- 0,012 : Intersección en el eje de la curva patrón de la glucosa
- X : Concentración de glucosa en la muestra (mg glucosa/mL disolución)

La concentración final de glucosa en g/100 g de muestra, se calculó considerando las diluciones realizadas según la figura 16.

### **4.3. DETERMINACIÓN DE AZÚCARES SOLUBLES: CICERITO Y $\alpha$ -GALACTÓSIDOS**

La determinación de los azúcares solubles (ciceritol y  $\alpha$ -galactósidos) se realizó por cromatografía líquida HPLC-IR, de acuerdo con metodología de Pedrosa et al. (2012), siguiendo el esquema de la figura 17. La extracción de las harinas (100 mg) se realizó en etanol acuoso (50% v/v) durante 1 min usando homogeneizador Ultraturax®. La mezcla se centrifugó a 10.000 rpm durante 10 min. Se decantó el sobrenadante y se repitió el procedimiento dos veces más. Los sobrenadantes acumulados se filtraron a través de columnas Sep-Pak C18 (500 mg, Waters, Milford, MA, EE. UU.) y se lavó la columna con 3 mL de etanol acuoso (50% v/v). Los extractos y lavados se recogieron juntos y se

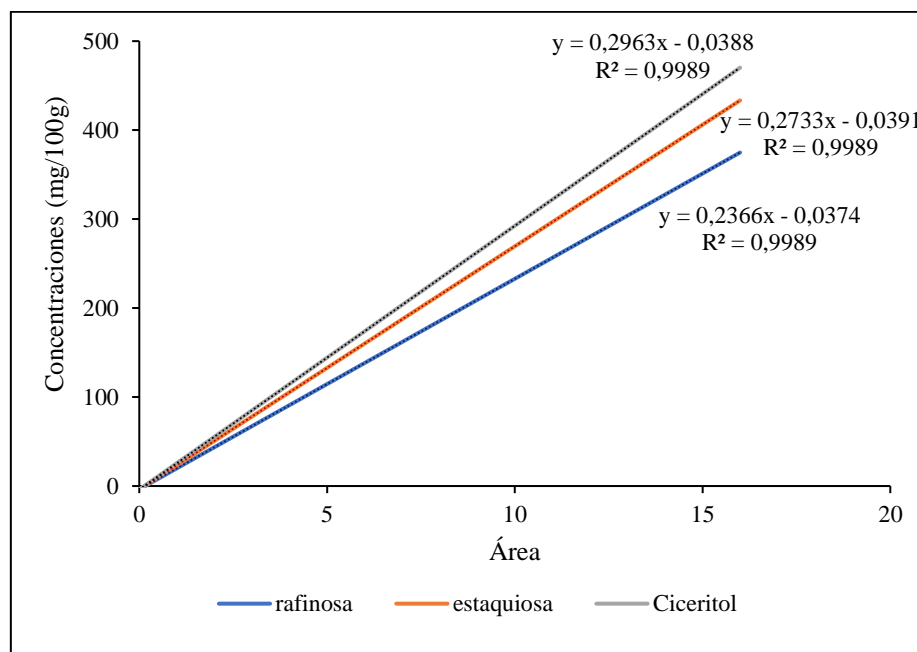
evaporaron hasta sequedad en evaporador UNIVAPO 100H. El residuo se redisolvió en 1 mL de agua doblemente desionizada (mili-Q) y se centrifugó a 10.000 rpm por 10 min. Los sobrenadantes se filtraron sobre microviales de vidrio con filtros en jeringa Puradisc de 25 mm. Finalmente se inyectaron alícuotas de 20  $\mu$ L en un sistema de HPLC (Beckman System Gold Instrument, Los Ángeles, CA, EE. UU.) equipado con detector de índice de refracción. Se utilizó una columna Spherisorb-5-NH<sub>2</sub> (250 4,6 mm di, Waters, Milford, MA, EE. UU.), equilibrada con acetonitrilo/agua 60:40 (v/v), con caudal de 1 mL/min. Los azúcares individuales se cuantificaron por comparación con patrones externos de ciceritol, rafinosa y estaquiosa (Sigma, St. Louis, MO, EE. UU.).



**Figura 17.** Diagrama de procedimiento para determinación de  $\alpha$ -galactósidos según el método de Pedrosa et al. (2012)

### Cálculos para la determinación de azúcares solubles (ciceritol y $\alpha$ -Galactósidos)

Para los cálculos de los azúcares solubles (ciceritol y  $\alpha$ -Galactósidos), se construyeron curvas de calibración (figura 18) para todas las soluciones estándar de azúcar. Se evidenció una respuesta lineal en el rango (0 - 500 mg/100 mL), con coeficiente de correlación de 0,9989.



**Figura 18.** Curvas de calibración para azúcares solubles (ciceritol y  $\alpha$ -galactósidos)

#### 4.4. DETERMINACIÓN DE ARABINOXILANOS

El contenido de los arabinosilanos se determinó según el método colorimétrico de Douglas (1981) con algunas modificaciones (figura 19). En el presente ensayo se pesaron por duplicado 0,1 g de muestra en tubos falcón de 50 mL y sobre el cual se añadió 25 mL de agua destilada y fue sometido a agitación magnética durante 30 min.

Se extrajo una alícuota de 0,5 mL de la suspensión en agitación constante para los arabinosilanos totales y 1 mL del sobrenadante tras una centrifugación a 2.500 rpm

durante 10 min para los arabinosilanos solubles, hacia tubos topacio de 60 mL con tapón hermético. Cada tubo falcón se realizó por duplicado, haciéndose un total de 4 tubos topacio para el análisis de arabinosilanos totales y 4 tubos topacio para el análisis de arabinosilanos solubles. Las alícuotas de 0,5 mL y 1 mL, se completaron para un volumen de 2 mL, siendo así, 1,5 mL y 1 mL de agua destilada respectivamente.

Seguidamente, se añadieron a cada tubo topacio 10 mL del reactivo de coloración y se sometieron a un baño de 100°C durante 25 min. Tras lo cual, los tubos topacio se sometieron a un baño de hielo para su enfriamiento inmediato. Finalmente, se tomaron 300 µL de cada tubo topacio por duplicado a los pocillos de una microplaca para la lectura de absorbancias a 448 y 508 nm en un equipo lector de placas (Synergy HTX Multi-Mode Microplate Reader) (figura 20).

La curva de calibración (figura 21) se preparó a partir de una solución de 50 mg de D (+)-xilosa en 50 mL de agua destilada, a partir del cual se prepararon las distintas concentraciones (0,005 hasta 1 mg/mL) (tabla 5). Los blancos y las concentraciones de la curva de calibración de xilosa también fueron sometidos en el mismo baño a 100°C de las muestras y en las mismas condiciones de reacción.

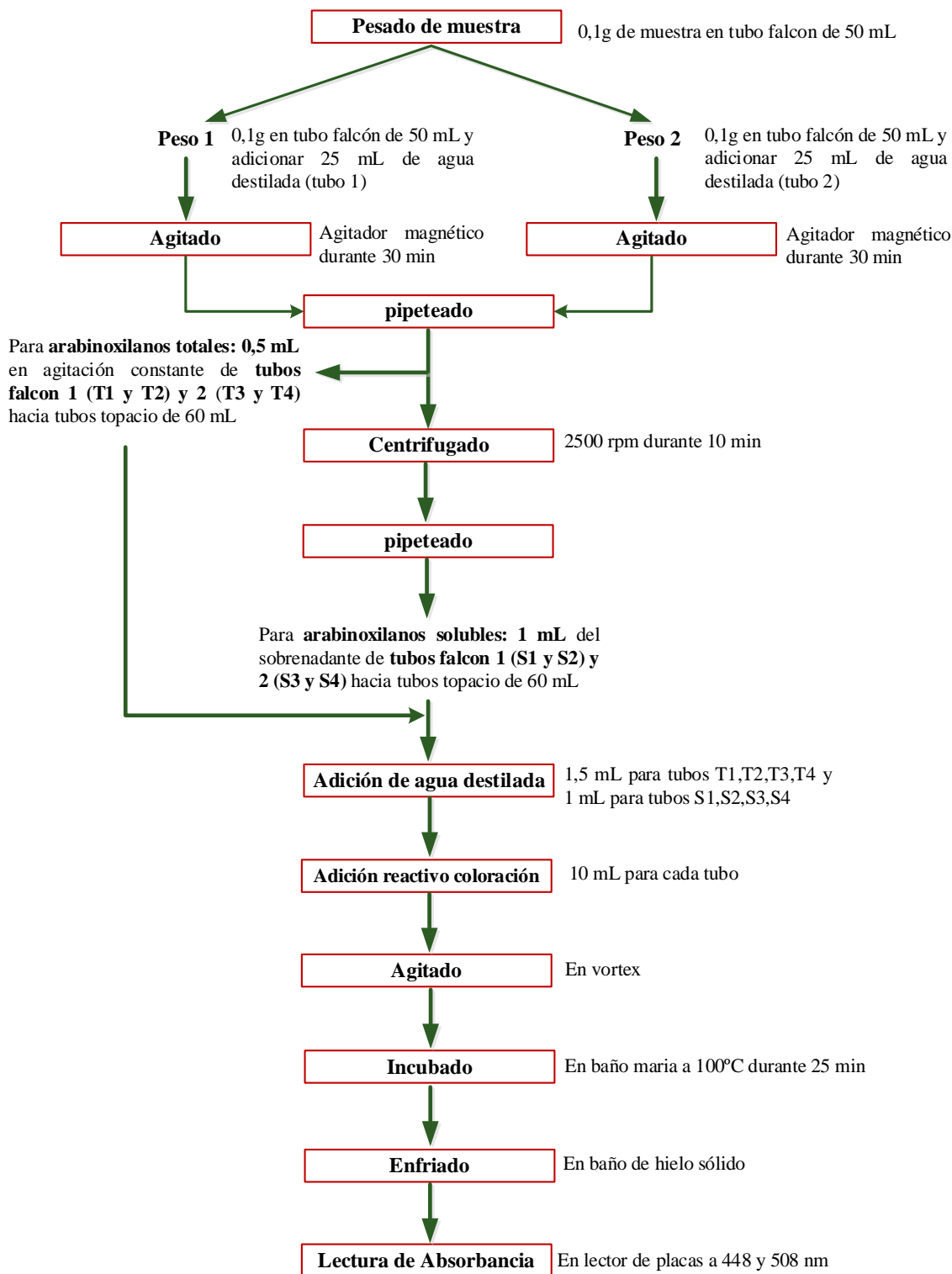
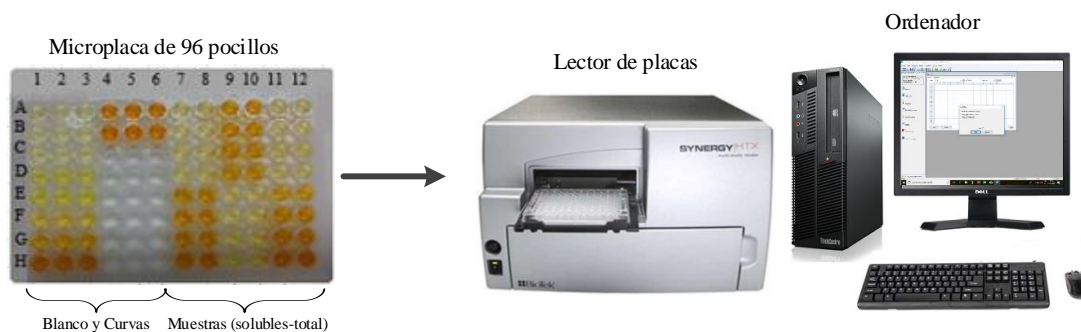


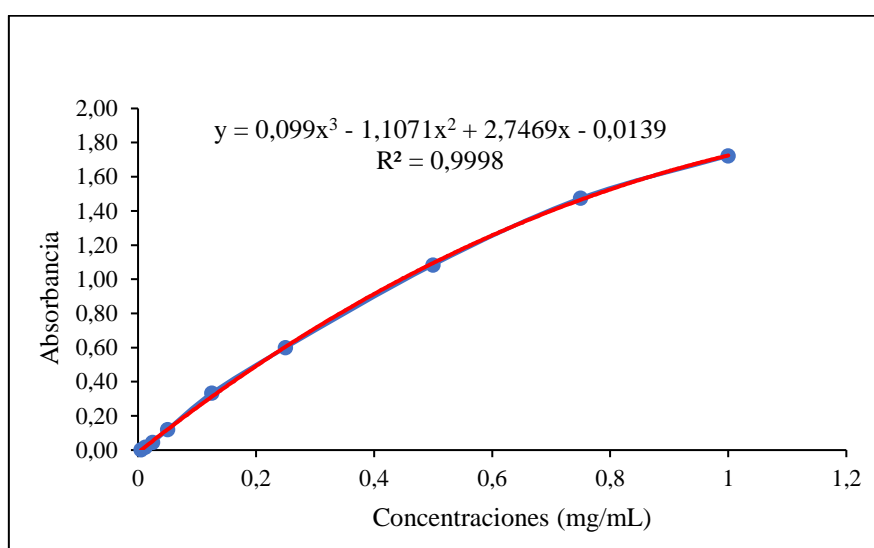
Figura 19. Diagrama de flujo Arabinosilanos por método colorimétrico según Douglas (1981)

**Tabla 5.** Concentraciones para la curva patrón de xilosa

Concentración (mg/mL)	Cantidades	
	Xilosa ( $\mu\text{L}$ )	Agua (d) ( $\mu\text{L}$ )
0,0050	10	1990
0,0125	25	1975
0,0250	50	1950
0,0500	100	1900
0,1250	250	1750
0,2500	500	1500
0,5000	1000	1000
0,7500	1500	500
1,0000	2000	0



**Figura 20.** Lectura de absorbancias para arabinoxilanos en Lector de placas



**Figura 21.** Curva patrón de D- (+)-xilosa

### Cálculo del contenido de arabinosilanos

El contenido de los arabinosilados en las muestras se calculó considerando las absorbancias de arabinosilanos totales y solubles, medidas a 448 nm (correspondientes al máximo de absorción de xilosa y 508 nm (correspondiente al máximo de absorción de glucosa) restado cada uno con sus correspondientes blancos y también restado de las absorbancias absolutas (448 nm menos 508 nm).

La curva patrón de xilosa (figura 21) se ajustó a una ecuación polinomial de tercer grado con  $R^2 = 0,9998$ . La concentración de las alícuotas de 0,5 y 1 mL para arabinosilanos totales y solubles respectivamente, fueron la variable “X” en la ecuación polinomial, la misma que fue resuelto utilizando programa de complemento Microsoft excel de nombre Solver.

Posteriormente, se realizaron los cálculos a través de la ecuación 5, en g de arabinosilanos por 100 g de muestra.

$$AX \text{ (g/100g)} = \frac{C \left(\frac{mg}{mL}\right) \times 2 \text{ (mL)} \times 25 \text{ (mL)} \times 100 \text{ (g)}}{0,5 \text{ ó } 1 \text{ (mL)} \times M \text{ (g)}} \quad \text{(Ecuación 5)}$$

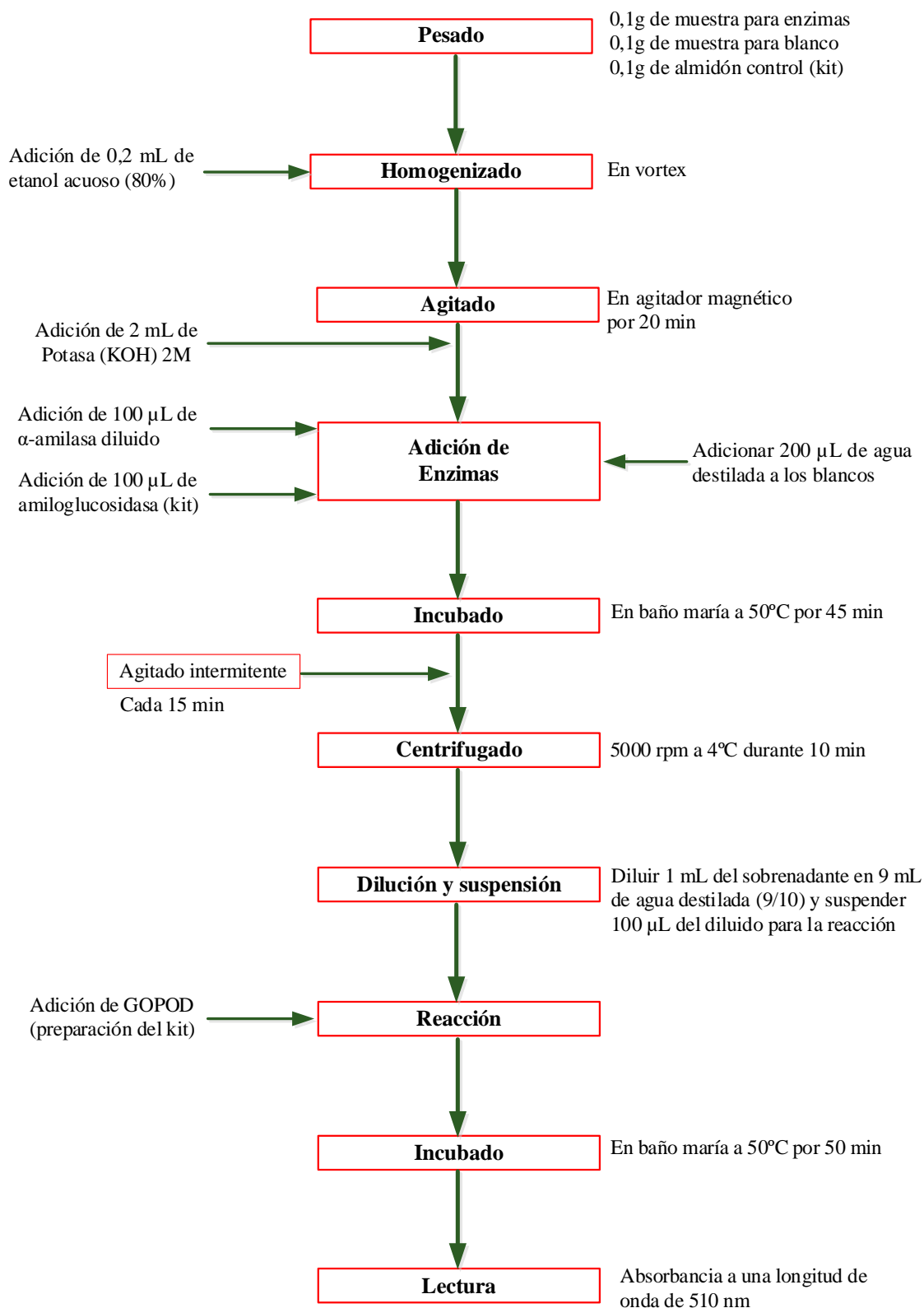
Donde:

- C : Concentración de arabinosilanos en la muestra (mg/mL), es el valor de “X” de la ecuación polinomial de la curva de xilosa encontrado, utilizando el complemento Microsoft Solver de Excel.
- 2 : Cantidad de solución para la reacción con reactivo
- 25 : Cantidad de agua para la extracción
- 100 : Cantidad de muestra pronosticada para el contenido de arabinosilanos (g)
- 0,5 : Volumen extraído durante la agitación para arabinosilanos totales
- 1 : Volumen extraído del sobrenadante para arabinosilanos solubles
- M : Peso de la muestra (g)

#### 4.5. DETERMINACIÓN DE ALMIDÓN TOTAL

El contenido de almidón total se realizó según Arribas et al. (2019a), utilizando un kit de Megazyme (Wicklów, Irlanda) basado en el método AOAC 996.11 y 76.13. La ejecución del método prosiguió el diagrama de flujo de la figura 22. Se pesaron con precisión  $100 \pm 5$  mg de muestra para enzimas, para blancos y  $100 \pm 5$  mg de almidón total control del kit (todos por duplicado) y se colocaron en tubos de plástico (9 x 2,4 cm). Luego se incorporaron 0,2 mL de etanol (80% v/v) y se agitaron en vortex. A continuación, se realizó una agitación magnética con 2 mL de KOH 2 M durante 20 min en baño de hielo. En seguida se agregaron 8 mL de tampón de acetato de sodio 1,2 M (pH 3,8) durante la agitación e inmediatamente después se añadieron 0,1 mL de  $\alpha$ -amilasa diluido y 0,1 mL de amilogucosidasa del kit. En los tubos designados como blancos se añaden 0,2 mL de agua destilada para equilibrar el volumen añadido con el resto de los tubos. Todos los tubos se incubaron en baño maría a 50 °C durante 45 min con agitados intermitentes en vortex a los 15 y 30 min. Posteriormente se centrifugaron a 5.000 rpm durante 10 min a 4 °C. Se transfirió 1 mL del sobrenadante (por duplicado) a tubos de ensayo de vidrio (16 x 100 mm) previamente con 9 mL de agua destilada para su dilución (relación 1/10) y se homogenizaron manualmente. En seguida, se transfirieron alícuotas de 0,1 mL a otros tubos de ensayo de vidrio para la reacción final, luego se añadieron 3 ml de reactivo glucosa oxidasa-peroxidasa, conocido como GOPOD (preparación del kit Megazyme) y se incubaron a 50°C durante 50 min. Finalmente, se midió la absorbancia de cada solución a 510 nm contra el blanco del reactivo, en un espectrofotómetro eppendorf BioSpectrometer basic.

## Metodología Analítica



**Figura 22.** Diagrama de flujo Almidón Total según el método AOAC 996.11 y 76.13

### Cálculo del contenido de almidón total

El cálculo de almidón total se determinó a través de la ecuación 6.

$$\text{Almidón Total (\%)} = \Delta A \times F \times EV \times \frac{D}{W} \times 0,90 \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

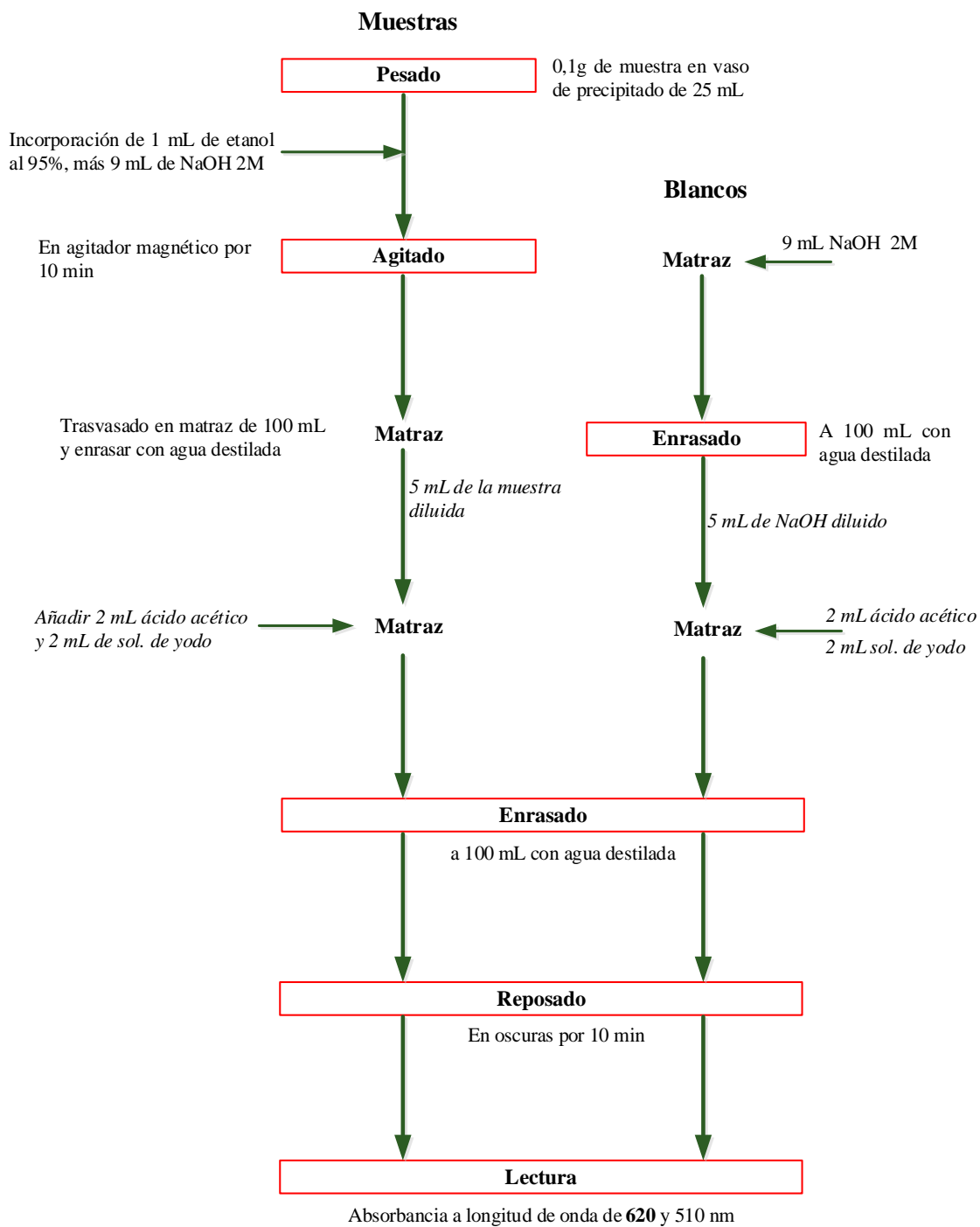
$\Delta A$	: Absorbancia de la solución de muestra
F	: Factor de conversión de los valores de absorbancia en $\mu\text{g}$
EV	: Volumen de extracción de la muestra
0,1	: Volumen de muestra analizada
D	: Dilución adicional de la solución de muestra
162/180	: Factor para convertir de glucosa libre

### 4.6. DETERMINACIÓN DE AMILOSA Y AMILOPECTINA

Los contenidos de amilosa y amilopectina se determinaron según Arribas et al. (2019a), utilizando un kit de Megazyme, basado en un procedimiento de precipitación con concanavalina A que permite la determinación de amilos obteniéndose el porcentaje de amilopectina por diferencia con el contenido total de almidón. Siguiendo el diagrama de flujo de la figura 23, se pesó 100 mg de muestra en un vaso de precipitado de 25 mL, sobre el cual se añadieron 1 mL de etanol al 95% v/v más 9 mL de NaOH 2 M y se sometió a una agitación magnética durante 10 min. Seguidamente se trasvasó y enrasó con agua destilada a matraz de 100 mL. A continuación, se extrajo 5 mL de la solución obtenida a un matraz de 100 mL topacio y se añadieron 2 mL de ácido acético más 2 mL de solución de yodo y se enrasó con agua destilada, luego del cual reposó durante 10 min.

Paralelamente, se preparó una solución para el blanco, la misma que consistió en enrasar 9 mL de NaOH 2 M en un matraz de 100 mL. Se extrajo 5 mL de la solución mencionada

en otro matraz aforado topacio de 100 mL y se mezclaron con 2 mL de ácido acético más 2 mL de solución de yodo y enrasado con agua destilada y reposó durante 10 min. Transcurrido el reposo, previamente agitado, se procedió a la lectura de las absorbancias a 620 y 510 nm en un espectrofotómetro eppendorf BioSpectrometer basic.



**Figura 23.** Diagrama de flujo determinación de Amilosa, tomado de Arribas et al. (2019a)

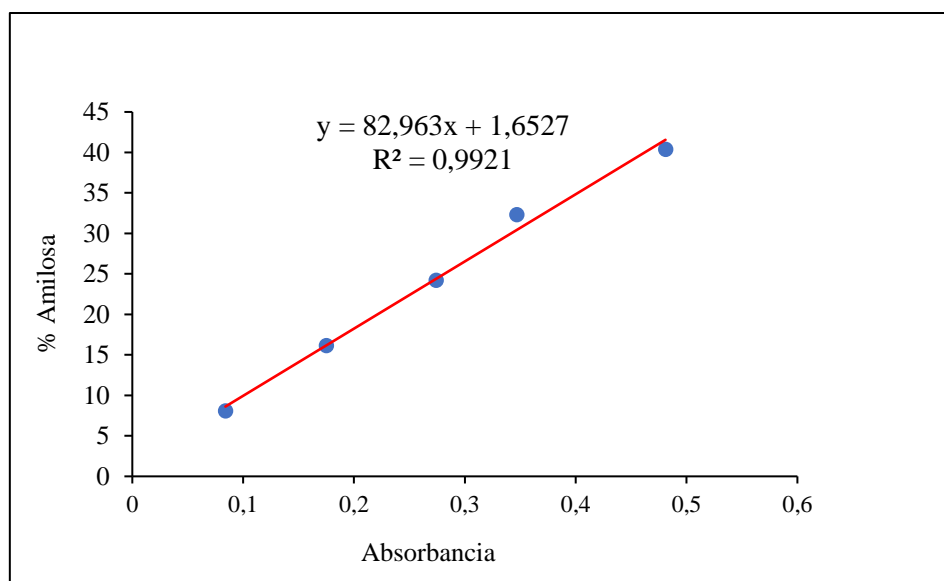
La curva de calibración (figura 24), se preparó a partir de 61 mg de un patrón del kit rico en amilosa 66% p/p en un vaso de precipitado de 25 mL, se añadió 1 mL de etanol al 95% v/v más 9 mL de NaOH 2 M y se sometió en agitación magnética durante 10 min. En seguida se trasvasó y enrasó con agua destilada en matraz topacio de 100 mL y se denominó “solución madre”. Se han establecido 5 puntos para la curva con concentración fija de solución de yodo y diferentes concentraciones de ácido acético y solución madre (**tabla 6**). El blanco para las lecturas de la absorbancia, se han preparado igual a la de las muestras. Posteriormente se reposó durante 10 min a partir de la adición de la solución de yodo, tras lo cual se hicieron las lecturas correspondientes en espectrofotómetro a 620 nm y 510 nm.

**Tabla 6.** Concentraciones para la curva de calibración de amilosa

Concentración (mg/100 mL)	Cantidades		
	Solución madre en 100 mL	Ácido acético	Solución de yodo
8,08	1	0,4	2
16,16	2	0,8	2
24,24	3	1,2	2
32,31	4	1,6	2
40,39	5	2,0	2

### **Cálculo del contenido de amilosa y amilopectina**

El cálculo del porcentaje de amilosa se realizó en función de una curva de calibración de amilosa (figura 24).



**Figura 24.** Curva de calibración de amilosa

El porcentaje de amilosa en las muestras se calculó considerando los puntos de concentraciones realizadas según la figura 24 y el valor específico se obtuvo resolviendo la variable dependiente “Y” en la ecuación lineal, considerando a la variable “X” como la absorbancia a 620 nm de la amilosa. El cálculo del porcentaje para la amilopectina fue la diferencia (100 – amilosa).

#### 4.7. DETERMINACIÓN DE ALMIDÓN RESISTENTE

La determinación del almidón resistente se realizó según Arribas et al. (2019a), utilizando kit Megazyme (© Megazyme 2019) basado en el método AOAC 2002.02/32-40.01. Para la ejecución del método, primero se han determinado la humedad por el método AOAC 925.10 (15). Según el diagrama de flujo de la figura 25, se pesaron con precisión  $100 \pm 5$  mg y se colocaron en tubos con tapón de rosca (tubo de cultivo de Corning; 16 x 125 mm). Se agregaron 4,0 mL de  $\alpha$ -amilasa pancreática (10 mg/mL) que contiene amiloglucosidasa (AMG) (3 U/mL) (Solución 2 del kit) a cada tubo. Luego se taparon

herméticamente y se agitaron en un mezclador vórtex. Seguidamente los tubos se fijaron horizontalmente en una estructura metálica y fueron sumergidos alineados en dirección del movimiento en un baño de agua a 37°C con agitación constante durante 16 h.

Tras la incubación de 16 h, se procedieron a incorporar 4,0 mL de etanol absoluto (99% v/v) en cada tubo y una agitación vigorosa en vortex. Luego, se transfirió el contenido a tubos de plástico (9 x 2,4 cm) y se centrifugaron a 5.000 rpm durante 10 min y 4°C. Los sobrenadantes se decantaron cuidadosamente y los sedimentos se volvieron a redissolver con 2 mL de etanol (50% v/v) con agitación vigorosa en vortex, luego, nuevamente se añadieron más 6 mL de etanol (50% v/v), se mezclaron y se centrifugaron a 5.000 rpm durante 10 min y 4°C. Se decantaron los sobrenadantes y se repitieron una vez más el proceso de suspensión y centrifugación. Finalmente se decantaron los sobrenadantes y los residuos se secaron con una corriente de aire comprimido para eliminar el exceso de líquido.

Los tubos con los sedimentos se colocaron una barra para agitación magnética (5 x 15 mm) y 2 mL de KOH 2 M y se volvió a suspender los gránulos (disolución del almidón resistente) agitando durante aprox. 20 min en baño de hielo sobre un agitador magnético. En seguida se agregaron 8 mL de tampón de acetato de sodio 1,2 M (pH 3,8) a cada tubo con agitación constante. Inmediatamente después se añadieron 0,1 mL de AMG (solución 1; 3300 U/mL), y se colocaron los tubos en baño maría a 50°C durante 30 min con agitado intermitente en vórtex. Posteriormente los tubos fueron sometidos en un centrifugador a 5.000 rpm durante 10 min y 4 °C. Se transfirió 1 mL (por duplicado) de los sobrenadantes a tubos de ensayo de vidrio (16 x 100 mm) previamente contenidos con 9 mL de agua destilada para su dilución (relación 1/10) y se mezclaron manualmente. Luego se transfirieron alícuotas de 0,1 mL a otros tubos de ensayo similares al anterior para la reacción final, para lo cual se añadieron 3,0 mL de reactivo GOPOD (preparación del kit

Megazyme) e incubó a 50°C durante 50 min. Finalmente, se midió la absorbancia de cada solución a 510 nm contra el blanco de reactivo en un espectrofotómetro eppendorf BioSpectrometer basic.

### **Cálculo del contenido del almidón resistente**

El cálculo del contenido de almidón resistente en las muestras, se consideró la ecuación 7 (ecuación para muestras con contenido menos del 10% de almidón resistente) en g/100 g de muestra.

$$AR (\%) = \Delta E \times \frac{F}{W} \times 92,7 \quad (\text{Ecuación 7})$$

Donde:

- $\Delta E$  : absorbancia leída frente al blanco de reactivo
- F : Conversión de absorbancia a mg
- 10,3/0,1 : Corrección de volumen
- 100/W : Factor para presentar almidón resistente como un porcentaje del peso de la muestra
- 162/180 : Factor para convertir de D-glucosa libre, según se determine, en anhidro-D-glucosa como ocurre en el almidón
- W : Peso seco de la muestra analizada.

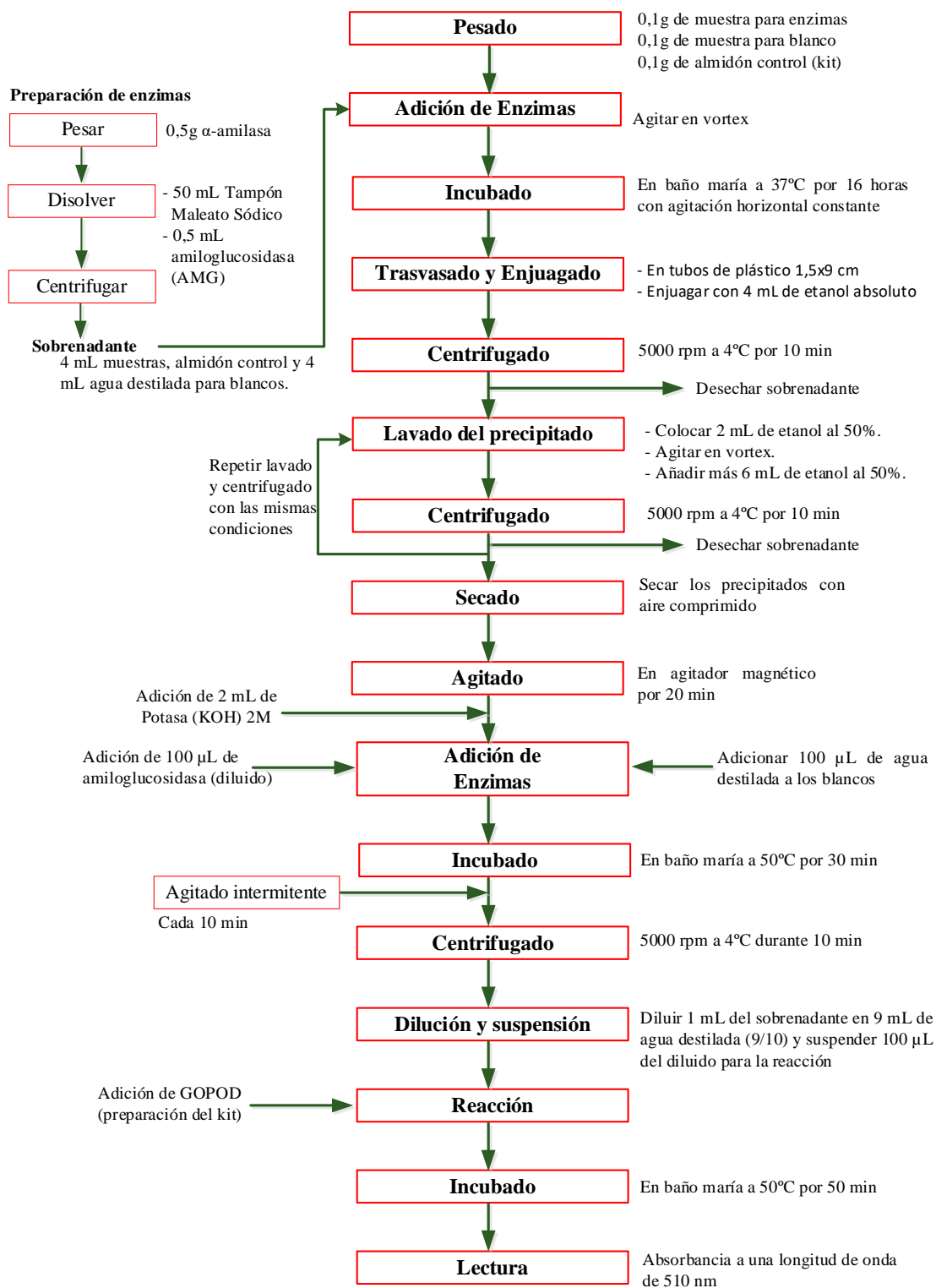
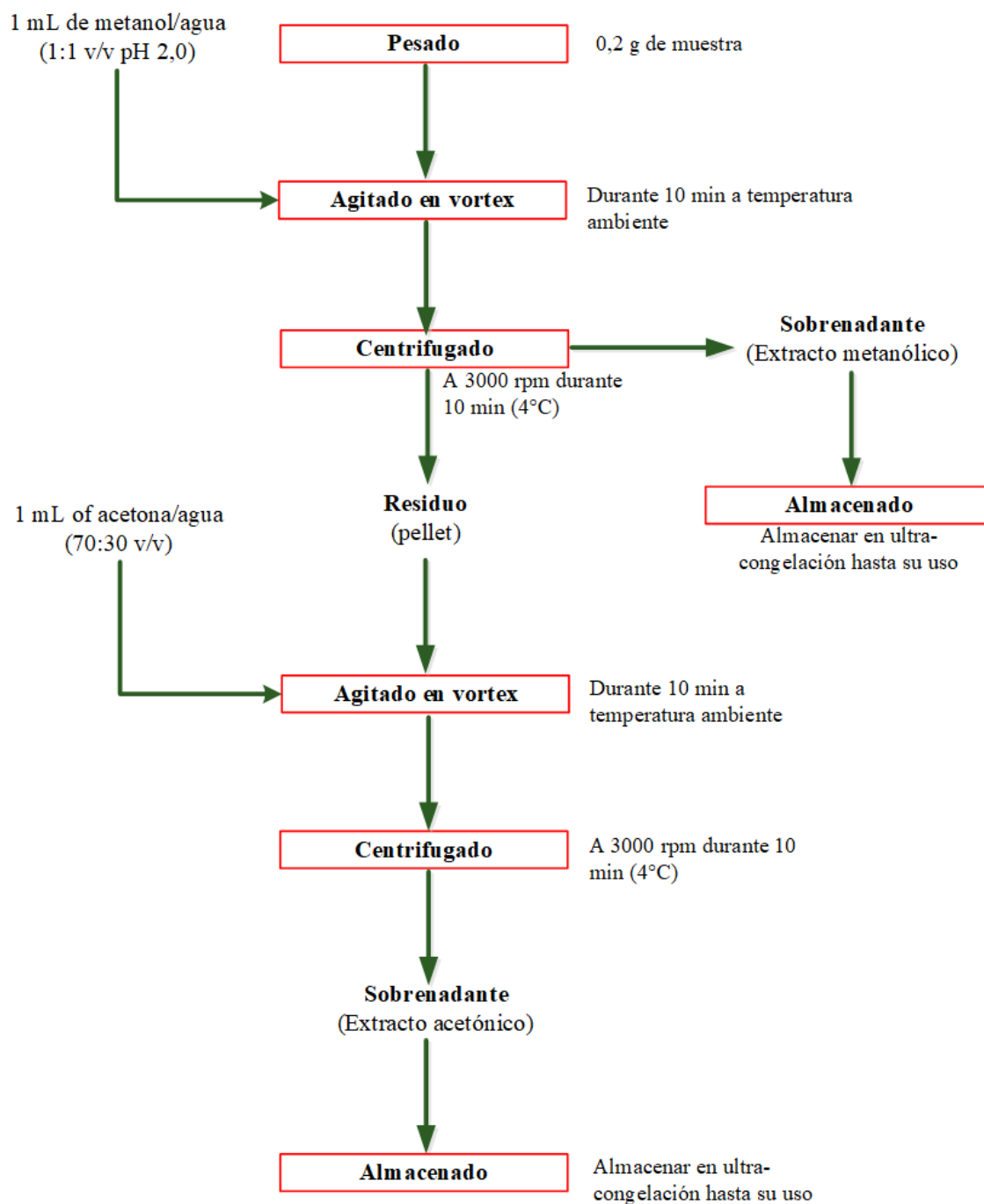


Figura 25. Diagrama de procedimiento para determinación de Almidón Resistente según método AOAC 2002.02/32-40.01

#### 4.8. DETERMINACIÓN DE FENOLES TOTALES

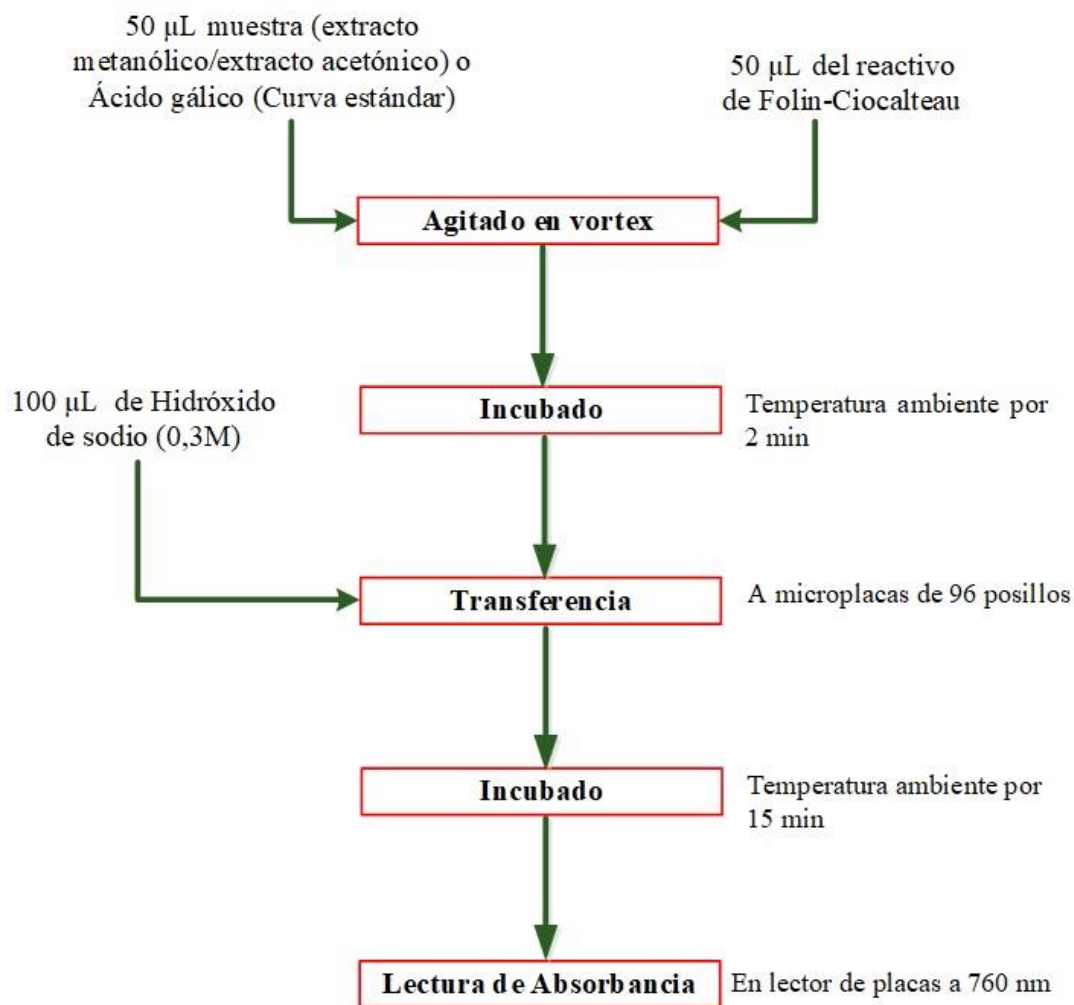
##### Extracción de polifenoles

La extracción se realizó por métodos de micro volúmenes (Arranz & Saura Calixto, 2010). Los extractos de polifenoles en metanol/acetona según (Drevelegka & Goula, 2020) se obtuvieron siguiendo condiciones previamente seleccionadas: Se pesaron 0,2 g de muestras (harinas de maíz y lentejas solas y harinas con incorporación de sub productos de uva) en tubos de centrífuga tapado. Se añadió 1 mL de metanol/agua (1:1, v/v; pH 2), se agitó en vortex a temperatura ambiente durante 10 min, se centrifugó a 3.000 rpm durante 10 min a 4°C y se separaron los sobrenadantes (extracto metanólico). Sobre el residuo de la extracción metanólica, se añadieron 1 mL de acetona/agua (70:30 v/v) y se repitieron los mismos procedimientos a la extracción anterior hasta conseguir el sobrenadante (extracción acetónica) (figura 26). Los extractos metanólico y acetónico se almacenaron de forma independiente en condiciones de ultracongelación (-40°C).



**Figura 26.** Diagrama de flujo Extracción de compuestos fenólicos (Arranz & Saura Calixto, 2010; Drevelegka & Goula, 2020)

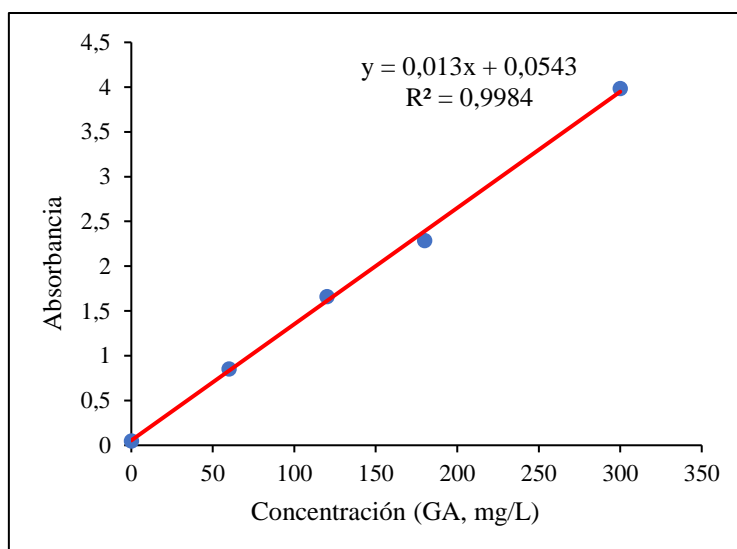
El contenido de fenoles totales se midió según el método descrito por Macavilca & Condezo-Hoyos (2020). De acuerdo con la figura 27, se pipetearon por triplicado en tubos crio-viales 50  $\mu$ L de los extractos metanólico, extracto acetónico o ácido gálico como patron estándar (curva: 0, 60, 120, 180, 240 y 300 mg/L). Se agregaron 50  $\mu$ L del reactivo Folin Ciocalteu a cada uno, se agitaron en vortex a temperatura ambiente durante 2 min. Toda la solución se transfirió (100  $\mu$ L) a microplaca de 96 pocillos y sobre ella se agregaron 100  $\mu$ L de hidróxido de sodio (0,3 M) para establecer las condiciones alcalinas, para posteriormente dejar reaccionar en reposo a temperatura ambiente durante 15 min. Finalmente, se midió la absorbancia a 760 nm en un lector de microplacas multimodal Synergy™ HTX de BioTek™. El contenido de fenoles totales en las muestras se expresó en mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) por 100g de muestra de harina en base húmeda.



**Figura 27.** Diagrama de flujo determinación de Fenoles Totales (Macavilca & Condezo-Hoyos, 2020)

### Cálculo del contenido de fenoles totales

Los cálculos se determinaron con las absorbancias leídas en los extractos de muestras en metanol como en acetona a través de la ecuación 8 correspondiente a una curva patrón de ácido gálico (figura 28) con un coeficiente de correlación  $R^2$  de 0,9984. Finalmente se sumaron el resultado con extracción metanólica con el resultado de la extracción acetónica para expresar los fenoles totales.



**Figura 28.** Curva patrón de ácido gálico

$$Y = 0,013X + 0,0543$$

(Ecuación 8)

Donde:

Y : Absorbancia de la muestra

0,013 : pendiente de la curva patrón del ácido gálico

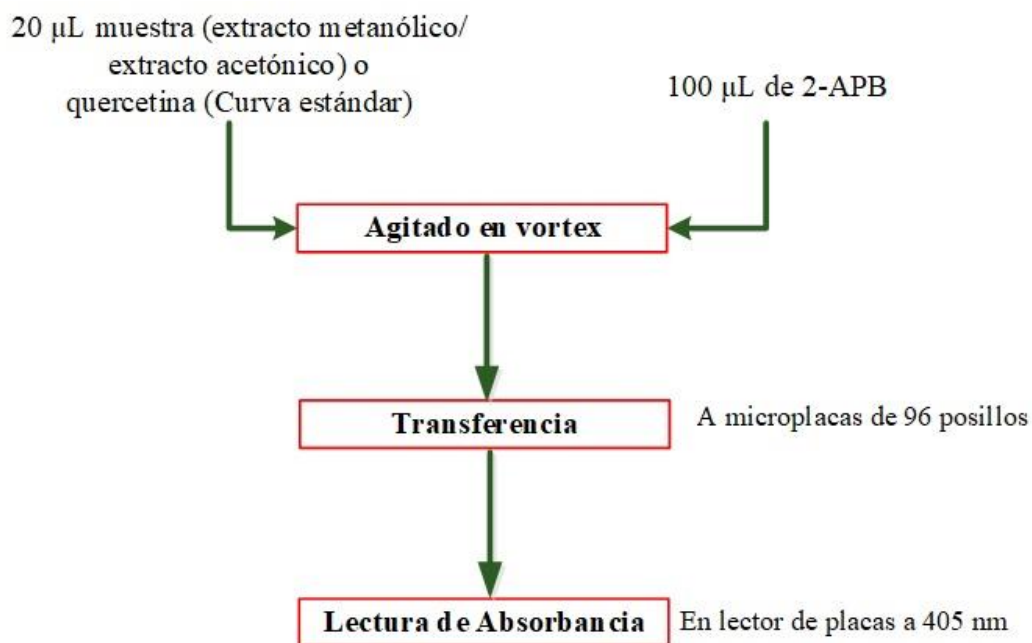
0,0543 : Intersección en el eje de la curva patrón del ácido gálico

X : Contenido de ácido gálico en la muestra (mg GAE/g)

#### 4.9. DETERMINACIÓN DE FLAVONOIDES TOTALES

La cuantificación de los flavonoides, se realizó a través de ensayos colorimétricos (Abderrahim et al., 2012; 2015) (figura 29). Se pipetearon por triplicado en tubos crioviales separados 20  $\mu$ L del extracto metanólico y del extracto acetónico de la muestra o quercetina como patrón estándar (curva: 0,0, 0,1, 0,2, 0,3 y 0,4 QE Mm/L). Se agregó 100  $\mu$ L de 2-Aminoetil-difenilborinato (2-APB) y se agitaron en un vortex. De forma inmediata, la solución se transfirió a una micro placa de 96 pocillos y se realizó la lectura de la absorbancia a 405 nm en un lector de microplacas multimodal Synergy™ HTX de

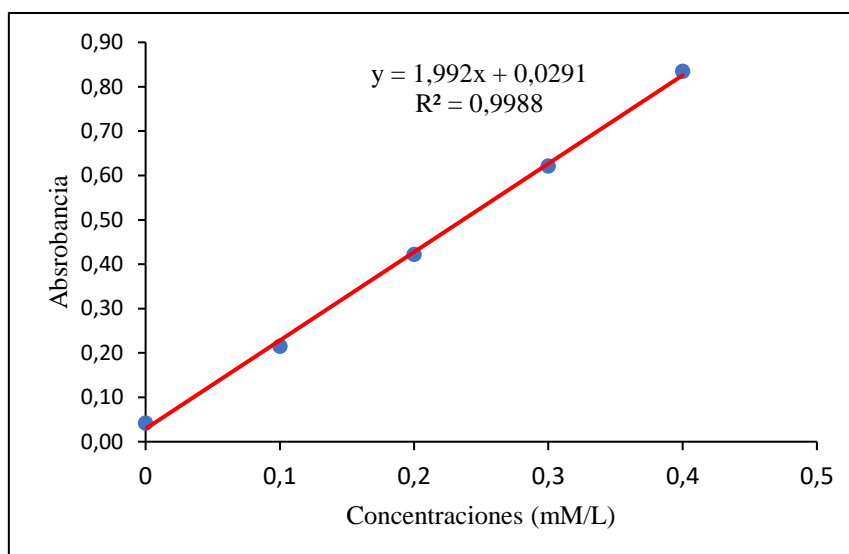
BioTek™. El contenido de flavonoides totales en las muestras se expresó como equivalente en quercetina por g (QE mg/100 g) en base húmeda.



**Figura 29.** Diagrama de flujo determinación de Flavonoides (Abderrahim et al., 2012)

### Cálculo del contenido de Flavonoides totales

El cálculo para el contenido de flavonoides totales se determinó con las absorbancias leídas en los extractos de muestras en metanol como también en acetona a través de la ecuación 9 de la curva patrón de quercetina con coeficiente de correlación  $R^2$  de 0,9988 (figura 30). Posteriormente se sumaron los dos resultados para la expresión de los flavonoides totales.



**Figura 30.** Curva patrón de quercetina

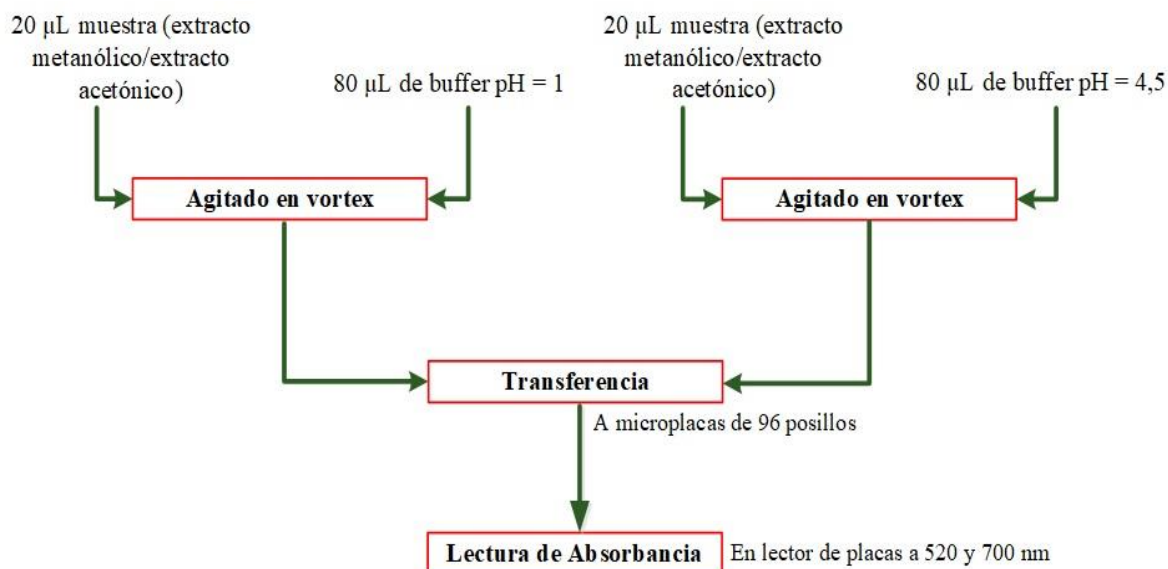
$$Y = 1,992X + 0,0291 \quad (\text{Ecuación 9})$$

Donde:

- Y : Absorbancia de la muestra
- 1,992 : pendiente de la curva patrón de quercetina
- 0,0291 : Intersección en el eje de la curva patrón de quercetina
- X : Contenido de quercetina en la muestra (mg GAE/g)

#### 4.10. DETERMINACIÓN DE ANTOCIANINAS

Las antocianinas se cuantificaron, siguiendo métodos de micro volúmenes (Lee et al., 2005). El procedimiento se siguió de acuerdo con la figura 31. Se pipetearon en tubos crio-viales 20  $\mu\text{L}$  del extracto de la muestra (extracto metanólico y extracto acetónico), más 80  $\mu\text{L}$  de tampón pH = 1. De la misma forma, se pipetearon a otros tubos 20  $\mu\text{L}$  de la muestra, más 80  $\mu\text{L}$  de tampón pH = 4,5. En ambos casos se mezclaron en vortex y se transfirieron a microplacas de 96 pozillos. Finalmente se realizaron las lecturas de la absorbancia a 520 y 700 nm.



**Figura 31.** Diagrama de flujo determinación de Antocianinas (Lee et al., 2005)

### Cálculo del contenido de antocianinas

Para determinar las antocianinas totales, se determinaron con las absorbancias de muestras en extracto de metanol como acetona a través de la ecuación 10. El resultado final para una expresión de antocianinas totales se determinó con la sumatoria de ambos resultados (extracto metanol y extracto acetona).

$$\text{Antocianinas (mg/L)} = \frac{(A1 - A2) \times 449,2 \times \text{FD} \times 1000}{26900} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Donde:

A1 : Es pH 1 = A520nm – A700nm

A2 : Es pH 4,5 = A520nm – A700nm

449,2 : Peso molecular para antocianinas

FD : factor de dilución

26900 : Masa molecular para la cianidina-3-glucosido

A graphic element consisting of a circle on the left containing the number '5', followed by a horizontal bar with rounded ends containing the text 'RESULTADOS Y DISCUSIÓN'.

**5** RESULTADOS Y DISCUSIÓN



Los resultados obtenidos en la presente tesis doctoral, para su discusión se han dividido en tres bloques:

- Efecto del **proceso de extrusión** en las muestras de **harina (maíz y lenteja) control**.
- Efecto de **la formulación, y posterior extrusión, de las mezclas de harina (maíz y lenteja)** con la incorporación de distintos **subproductos de la uva y Hylon®**  
**V:**
  - **Piel de uva (*Cabernet Sauvignon*) fermentada.**
  - **Semilla de uva (*Cabernet Sauvignon*) fermentada.**
  - **Semilla de uva (*Chardonnay*) no fermentada.**
- **Comparativa** de los distintos **alimentos extruidas** con el fin de seleccionar aquella formulación con mejor calidad nutricional y funcional.

Como se indica en el apartado de Metodología, en todas las muestras se han realizado las siguientes determinaciones analíticas:

- **Fracción hidrocarbonada:** Fibra dietética (total, insoluble y soluble), Carbohidratos disponibles totales, polisacáridos (ciceritol, incluyendo los  $\alpha$ -galactósidos rafinosa y estaquiosa), Arabinoxilanos (extractables y totales), Almidón total, fracción de Amilosa y amilopectina y Almidón resistente.
- **Compuestos fenólicos:** polifenoles, flavonoides y antocianinas totales.

## 5.1. HARINAS DE MAÍZ Y LENTEJA, MUESTRAS CONTROL CRUDAS Y EXTRUIDAS: INFLUENCIA DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN

La mezcla de harinas maíz y lenteja control, están conformadas por una mezcla de maíz (70%) y lenteja (30%), a partir de la cual se realizaron todas las formulaciones. En el caso de la harina control, para elaborar 100 g de harina, se partió de un 93,75 g de mezcla maíz y lenteja a la que se adicionó 1,25 g de sal y 5 g de azúcar (tabla 7).

**Tabla 7.** Formulación de harinas de maíz y lenteja (70:30) (g/100g)

Harina	Maíz y Lenteja %	Piel de uva Fermentada %	Almidón Hylon® V %	Sal %	Azúcar %	Total (%)
Control cruda Control extruida	93,75	0,00	0,00	1,25	5,00	100,00

### 5.1.1. Fracción hidrocarbonada

En la **tabla 8** se presentan los distintos parámetros analizados referentes a la fracción hidrocarbonada de las muestras control, tanto crudas como extruidas.

**Tabla 8.** Resultados de la fracción hidrocarbonada correspondiente a las muestras control crudas y extruidas de harina maíz y lenteja (70:30)

Parámetros	Control cruda	Control extruida
<b>Fibra dietética</b>		
Fibra Total (FT) (g/100g)	14,86 ± 0,57 <sup>B</sup>	13,25 ± 0,64 <sup>A</sup>
Fibra Insoluble (FI) (g/100g)	13,37 ± 0,54 <sup>B</sup>	10,76 ± 0,56 <sup>A</sup>
Fibra Soluble (FS) (g/100g)	1,52 ± 0,08 <sup>A</sup>	2,44 ± 0,29 <sup>B</sup>
<b>Carbohidratos disponibles totales (CDT)</b>		
CDT (g glucosa/100g)	67,10 ± 2,82 <sup>A</sup>	71,46 ± 3,73 <sup>B</sup>
<b>Oligosacáridos</b>		
Ciceritol (mg/100g)	489,47 ± 12,01 <sup>A</sup>	580,64 ± 26,65 <sup>B</sup>
Rafinosa (mg/100g)	102,13 ± 11,46 <sup>A</sup>	117,55 ± 10,73 <sup>B</sup>
Estaquiosa (mg/100g)	924,70 ± 32,42 <sup>A</sup>	1059,22 ± 99,03 <sup>B</sup>
<b>Arabinosilanos (Bastida Cañada)</b>		
AX Extractables (g/100g)	0,93 ± 0,05 <sup>A</sup>	1,60 ± 0,21 <sup>B</sup>
AX Totales (g/100g)	5,14 ± 0,25 <sup>A</sup>	6,64 ± 0,43 <sup>B</sup>
<b>Almidones</b>		
Almidón total (g/100g)	54,36 ± 2,55 <sup>A</sup>	54,65 ± 2,72 <sup>A</sup>
Amilosa (%)	22,42 ± 2,17 <sup>A</sup>	20,32 ± 1,39 <sup>A</sup>
Amilopectina (%) <sup>a</sup>	77,58 ± 2,17 <sup>A</sup>	79,68 ± 1,39 <sup>A</sup>
Almidón Resistente (g/100g)	3,18 ± 0,17 <sup>B</sup>	0,48 ± 0,06 <sup>A</sup>

Las letras mayúsculas diferentes en superíndice significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

<sup>a</sup> El porcentaje de amilopectina se calculó por diferencia (100 - % de amilosa).

La harina control cruda presentó un contenido de fibra total (FT) de 14,86 g/100g con una proporción de FI:FS igual a 90:10. Y una vez sometida al proceso de extrusión el contenido de fibra total descendió a 13,25 g/100g, con una distribución final de FI:FS igual a 81:18 (FI:FS) (tabla 8). La disminución de la FI y aumento de la FS, se deben a la degradación macromolecular promovida por la hidrólisis y solubilización efectuada por las condiciones de extrusión (velocidad del tornillo, velocidad de alimentación, humedad y temperatura) para la transformación de FI a FS (Berrios et al., 2010; Qiao et al., 2021), donde se rompen los enlaces glucosídicos generando moléculas más pequeñas indetectables (Wang, Li, Wang, & Zheng, 2022), degradando sustancias pécticas de un

lado y formando complejos de polisacáridos-proteína que se miden como FS Arribas et al. (2019b). En ese sentido, la disminución de la FI y el aumento de la FS confirma que el procesamiento de la extrusión provoca la redistribución de las fracciones de la FI a FS (Berrios, Cámara, Torija, & Alonso, 2002; Zhong, Fang, Wahlqvist, Hodgson, & Johnson, 2021). Sin embargo, la tendencia para la estimación exacta de los cambios de fibra dietética durante la extrusión son un desafío, porque las moléculas de fibra dietética interactúan con otros componentes de los alimentos (Camire, 2012).

Por otro lado, en relación con los carbohidratos disponibles totales (CDT), la muestra de harina control cruda presentó un contenido de 67,10 g glucosa/100g. Y después de someterse al proceso de extrusión, se observó un aumento significativo ( $p < 0,05$ ) de un 6,5%, hasta 71,46 g glucosa/100g (tabla 8). Estos resultados son coherentes a las afirmaciones de otros estudios, realizados con frijol negro extruido a una temperatura máxima de 160°C y velocidad de tornillo de 200 rpm, donde la composición de carbohidratos en muestras no extruidas presentó concentraciones más bajas de carbohidratos totales que las extruidas (Berrios et al., 2002). Así mismo, en otros estudios con lentejas rojas observaron incrementos entre 5 a 17% de carbohidratos disponibles totales después de la extrusión, probablemente debido a la ruptura celular y a un incremento de la porosidad de la pared celular, lo que aumenta el área de superficie específica, mejorando la difusión del solvente dentro de los extruidos y aumentando por lo tanto la disponibilidad de los carbohidratos (Morales, Cebadera-Miranda, et al., 2015).

La cantidad de oligosacáridos analizados en las muestras de harinas control crudas y extruidas mostró el siguiente patrón: estaquiosa > ciceritol > rafinosa. La muestra de harina control cruda presentó los siguientes contenidos de los azúcares solubles: ciceritol (489,47 mg/100g), rafinosa (102,13 mg/100g) y estaquiosa (924,70 mg/100g). Tras el proceso de extrusión, la muestra control extruida presentó un incremento estadísticamente

significativo ( $p < 0,05$ ) en el contenido de azúcares solubles de hasta 18,6% en ciceritol (580,64 mg/100g), 15,1% en rafinosa (117,55 mg/100g) y 14,5% en estaquiosa (1059,22 mg/100g) (tabla 8). Estas variaciones son debidas probablemente a las condiciones de extrusión, el estrés mecánico que provoca la ruptura de enlaces glucosídicos de los polisacáridos que conducen a la liberación de oligosacáridos (Pedrosa, Guillamón, & Arribas, 2021; Stojceska, Ainsworth, Plunkett, & İbanoğlu, 2009), así como otros tratamientos térmicos de alta presión, que observaron un aumento del contenido de todos los azúcares, probablemente por la liberación de oligosacáridos ligados a otras macromoléculas y/o por una modificación de la estructura mecánica de la matriz alimentaria que mejora la difusión del solvente, lo que aumenta la extracción de los oligosacáridos (Arribas et al., 2019a).

En cuanto al contenido de los arabinosilanos extractables y totales, en la muestra de harina control cruda, alcanzaron valores de 0,93 g/100g y 4,78 g/100g, respectivamente (tabla 8). Y después del proceso de extrusión, su contenido se incrementó en ambas fracciones (extractables y totales), con valores de 1,60 g/100g y 7,06 g/100g, respectivamente. Estos datos, demostraron un incremento de 72,0% y 47,7%, respectivamente. Estos resultados se justifican, ya que otros autores refirieron que el proceso de extrusión en el caso del trigo, aumentaron la capacidad de extracción de los arabinosilanos en agua, pero que estaba condicionada por la velocidad del tornillo (Fadel et al., 2018). Los incrementos se deben también a la mayor porosidad celular, el aumento de la solubilidad, producido por efecto de la actividad termo-mecánico de la extrusión a través de una mayor entrada de energía mecánica y mayor esfuerzo de corte, lo que resulta en una reducción del peso molecular y una estructura fina de arabinosilanos más heterogéneas, de modo que la extrusión puede producir mayores rendimientos de extracción de arabinosilanos (Demuth, Betschart, & Nyström, 2020; Fadel et al., 2018).

Por su parte, la cantidad de almidón total en la muestra de harina control cruda, presentó un contenido de almidón total de 54,36 g/100g, con una distribución de amilosa 12,19 g/100g que representa el 22,42% y amilopectina de 42,17 g/100g que representa el 77,58%, del total del almidón. Los cambios tras el proceso de extrusión refirieron un contenido de almidón total de 54,65 g/100g, con una distribución de amilosa de 11,10 g/100g que representa el 20,32% y amilopectina de 43,54 g/100g que representa el 79,68%. Por lo tanto, la cantidad de almidón total no fue estadísticamente significativo por efecto de la extrusión, en tanto las fracciones de amilosa disminuyó hasta en 8,9% y la amilopectina incrementó hasta 3,2%.

El contenido de almidón resistente en harinas crudas alcanzó valores de 3,18 g/100g, y tras el proceso de extrusión varió en 0,48 g/100g. Se ha observado, una disminución estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) en el contenido de almidón resistente por efecto de la extrusión de hasta un 84,9%. En otros estudios refirieron que la disminución del contenido de almidón resistente alcanzaría entre 89,17 a 96,33% por efecto de la extrusión en cereales y leguminosas (Limsangouan et al., 2010), probablemente debido a la gelatinización, por considerarse como un factor negativo para la formación de almidón resistente, aunque la gelatinización acompañada de un proceso de enfriamiento, pueden ser métodos que sirven para mejorar la formación de almidón resistente (Tacer-Caba & Nilufer-Erdil, 2019).

### **5.1.2. Compuestos fenólicos**

#### **Compuestos fenólicos en harina (maíz y lenteja) control**

En la tabla 9 se presentan los distintos parámetros de análisis referente a la fracción de los compuestos fenólicos, desarrollado en la harina control, tanto cruda como extruida las cuales se discuten a continuación.

**Tabla 9.** Resultados correspondientes al análisis de los compuestos fenólicos sobre muestras control crudas y extruidas de harina maíz y lenteja (70:30)

Parámetros	Control cruda	Control extruida
<b>Compuestos fenólicos</b>		
Fenoles totales (mg GAE/100g)	307,30 ± 11,60 <sup>A</sup>	290,13 ± 13,50 <sup>A</sup>
Flavonoides totales (mg EQ/100g)	49,28 ± 2,08 <sup>B</sup>	40,43 ± 2,88 <sup>A</sup>
Antocianinas totales (mg cianidina-3-glucósido/100g)	0,16 ± 0,01 <sup>B</sup>	0,06 ± 0,01 <sup>A</sup>

Las letras mayúsculas en superíndice significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

La harina control cruda presentó un contenido de fenoles totales 307,30 mg GAE/100g, 49,28 mg EQ/100g de flavonoides y 0,16 mg cianidina-3-glucósido/100g de antocianinas (procedentes de la lenteja roja empleada en la formulación de las harinas), siendo la lenteja un alimento con un interesante perfil de compuestos fenólicos (Ciudad-Mulero et al., 2018), pudiéndose ver condicionada su contenido por factores genéticos, ambientales y del tipo de legumbre (Xu & Chang, 2007). La harina control extruida respecto a la harina control cruda presentó una disminución en el contenido de flavonoides (18,0%) y antocianinas (62,5%) totales más no en los fenoles totales (tabla 9), debido a que probablemente a la alta temperatura aplicada que conduce a la polimerización de algunos compuestos fenólicos (Altan et al., 2009) sumado al bajo contenido de humedad que también tiene efecto perjudicial sobre los fenoles de los extruidos (Yağcı & Göğüş, 2009). Sobre estos resultados, otros autores (Arribas et al., 2019a) también mencionaron que la extrusión no afecta a los compuestos fenólicos en la misma medida, donde también reportaron una disminución de las antocianinas (hasta en 50%) tras el proceso de extrusión en una mezcla a base de algarroba, guisante y arroz.

Estudios previos realizados en maíz amarillo, experimentaron una reducción significativa de 28 a 35% en fenoles totales y de 30 a 37% en flavonoides tras el proceso de extrusión,

debido a la sensibilidad térmica de los compuestos fenólicos, sobre todo debido a los flavonoides (Hossain & Jayadeep, 2022). Mahungu et al. (1999) publicaron que las condiciones de alta temperatura utilizadas en la cocción por extrusión promovieron una disminución en el contenido y la estabilidad de los compuestos fenólicos. De modo que la extrusión, puede interrumpir/romper enlaces covalentes en un complejo polifenólico de alto peso molecular, generando otros compuestos fenólicos, así como liberando fenoles combinados unidos a fibra dietética y/o proteínas (Awika, Dykes, Gu, Rooney, & Prior, 2003; T. Wang, He, & Chen, 2014).

**5.2. HARINAS (Maíz y Lenteja) CON INCORPORACIÓN DE PIEL DE UVA (Cabernet Sauvignon) FERMENTADA Y HYLON® V: FRACCIÓN HIDROCARBONADA Y COMPUESTOS FENÓLICOS**

Los distintos ingredientes de las harinas formuladas con piel de uva tinta, variedad *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V, tanto crudas como extruidas, se presentan en la tabla 10.

**Tabla 10.** Formulación de harinas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V (g/100g)

	Codificación	Maíz y Lenteja %	Piel de uva Fermentada %	Almidón Hylon® V %	Sal %	Azúcar %	Total (%)
Cruda	<b>CS-SkF-Raw1</b>	83,75	5,00	5,00	1,25	5,00	100,00
Extruida	<b>CS-SkF-Ext1</b>						
Cruda	<b>CS-SkF-Raw2</b>	68,75	5,00	20,00	1,25	5,00	100,00
Extruida	<b>CS-SkF-Ext2</b>						
Cruda	<b>CS-SkF-Raw3</b>	68,75	20,00	5,00	1,25	5,00	100,00
Extruida	<b>CS-SkF-Ext3</b>						
Cruda	<b>CS-SkF-Raw4</b>	53,75	20,00	20,00	1,25	5,00	100,00
Extruida	<b>CS-SkF-Ext4</b>						

A continuación, se muestran y discuten los resultados obtenidos del análisis de distintos componentes en las formulaciones descritas anteriormente.

**5.2.1. Fibra dietética**

Los datos correspondientes al contenido de fibra dietética (total, insoluble y soluble) de las muestras de harinas crudas y extruidas con incorporación de piel de uva fermentada se recogen en la tabla 11.

**Tabla 11.** Contenido de Fibra Insoluble (FI), Soluble (FS) y Total (FT) en harinas de maíz y lenteja (70:30) incorporada con piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

Muestras	FI g/100g	FS g/100g	FT g/100g
<b>Formulaciones crudas</b>			
Control cruda	13,37 ± 0,54 <sup>ab</sup>	1,52 ± 0,08 <sup>aA</sup>	14,86 ± 0,57 <sup>aB</sup>
CS-SkF-Raw1	13,72 ± 0,49 <sup>ab</sup>	1,62 ± 0,08 <sup>aA</sup>	15,23 ± 0,66 <sup>aB</sup>
CS-SkF-Raw2	15,80 ± 0,46 <sup>bb</sup>	1,56 ± 0,09 <sup>aA</sup>	17,26 ± 0,31 <sup>bA</sup>
CS-SkF-Raw3	20,94 ± 0,50 <sup>cA</sup>	1,85 ± 0,08 <sup>bA</sup>	22,60 ± 0,30 <sup>cA</sup>
CS-SkF-Raw4	21,02 ± 0,57 <sup>cA</sup>	1,93 ± 0,09 <sup>bA</sup>	22,69 ± 0,26 <sup>cA</sup>
<b>Formulaciones extruidas</b>			
Control extruida	10,76 ± 0,56 <sup>aA</sup>	2,44 ± 0,29 <sup>bb</sup>	13,25 ± 0,64 <sup>aA</sup>
CS-SkF-Ext1	11,36 ± 0,52 <sup>aA</sup>	1,97 ± 0,13 <sup>aB</sup>	13,31 ± 0,60 <sup>aA</sup>
CS-SkF-Ext2	14,39 ± 0,13 <sup>bA</sup>	2,93 ± 0,18 <sup>cb</sup>	17,32 ± 0,06 <sup>bA</sup>
CS-SkF-Ext3	23,91 ± 0,14 <sup>dB</sup>	1,88 ± 0,12 <sup>aA</sup>	25,79 ± 0,84 <sup>dB</sup>
CS-SkF-Ext4	22,39 ± 0,35 <sup>cB</sup>	2,03 ± 0,16 <sup>aA</sup>	24,44 ± 0,77 <sup>cB</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar (n = 4). Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes (p<0,05); las letras minúsculas en superíndice significan diferencias entre todas las muestras de cada grupo analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras mayúsculas en superíndice significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

### Efecto de la formulación

Como se observa en la **tabla 11**, las harinas crudas formuladas con piel de uva fermentada y Hylon® V presentaron un contenido de FT entre 15,23 y 22,69 g FT/100g, correspondientes a las muestras, CS-SkF-Raw1 y CS-SkF-Raw4, respectivamente, donde la fracción mayoritaria es la FI con valores entre 13,72 y 21,02 g FI/100g pertenecientes a las muestras CS-SkF-Raw1 y CS-SkF-Raw4, respectivamente. Estas diferencias serian debidas a la cantidad de incorporación de piel de uva fermentada (5 o 20%) en las distintas formulaciones. La FS es la fracción minoritaria, con valores entre 1,56 y 1,93 g FS/100g, correspondientes a las muestras CS-SkF-Raw2 y CS-SkF-Raw4, respectivamente.

Según el análisis estadístico, se establece que la cantidad de la FT de la harina control cruda es significativamente diferente al de las diferentes formulaciones, a excepción de la muestra CS-SkF-Raw1. Las formulaciones con 20% de piel de uva fermentada (CS-

SkF-Raw3 y CS-SkF-Raw4), fueron estadísticamente similares en la FI y FS, pero diferentes con las otras dos formulaciones. Este comportamiento se refleja en el contenido de la FT, debido a que la FI por ser una fracción mayoritaria se impone en la cantidad de la fibra dietética analizada. Estudios previos ya pusieron de manifiesto que la FI es la fracción mayoritaria en harinas de legumbres, como, por ejemplo, Berrios et al. (2002) en frijoles negros, Morales, Cebadera-Miranda, et al. (2015) y Ciudad-Mulero et al. (2018) en harina a base de lentejas, Arribas et al. (2019b) en harinas formuladas con arroz, frijol y algarroba, Ciudad-Mulero et al. (2022) en harinas formuladas con arroz y garbanzo, entre otros. Así mismo, la piel de uva, al igual que otros subproducto de la vinificación destacan por su contenido en fibra, especialmente fibra insoluble, con valores de hasta 73% de fibra dietética (Martínez-Meza et al., 2021), lo que justifica los valores considerablemente superiores, encontrados en las harinas formuladas con 20% de piel de uva fermentada, correspondientes a las muestras CS-SkF-Raw3 y CS-SkF-Raw4 (22,60 y 22,69 g FT/100g, respectivamente), respecto al resto de formulaciones con menor proporción de este subproducto de la uva.

En la tabla 12, se muestran los resultados correspondientes a la contribución de cada uno de los ingredientes de la formulación, al contenido de cada una de las fracciones de fibra (insoluble y soluble) y fibra total de las muestras de harinas crudas analizadas.

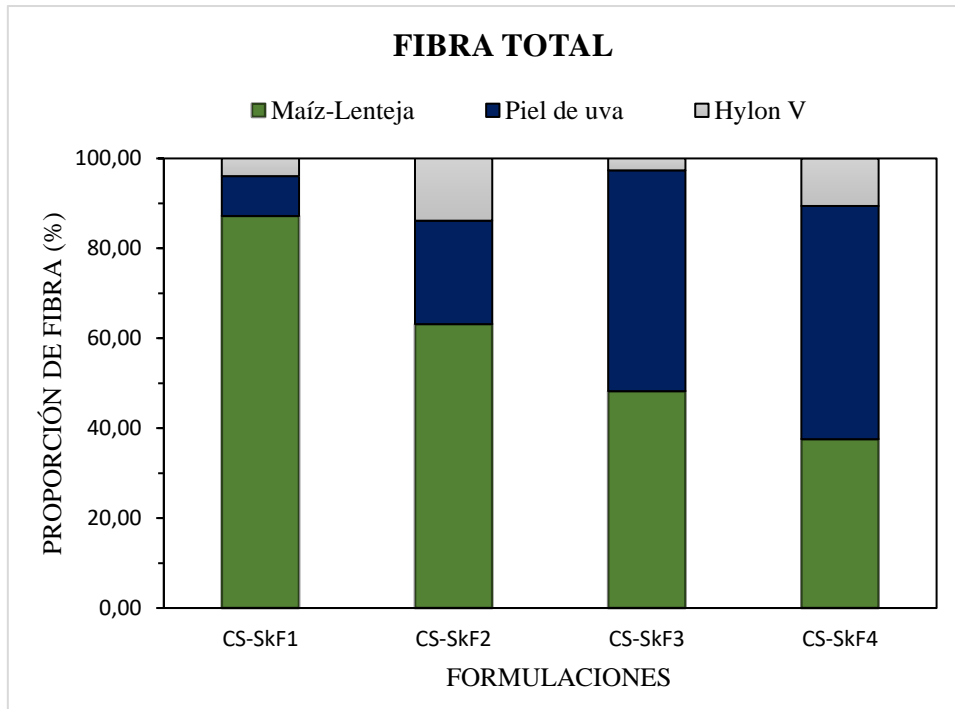
## Resultados y discusión

**Tabla 12.** Contribución (g/100g) de cada ingrediente al contenido de fibra dietética en harinas crudas de maíz-lenteja (70:30), incorporadas con piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

Código	Fibra analizada (valor medio)	Aporte Fibra de maíz y lenteja	Aporte Fibra de piel de uva *	Aporte Fibra de Hylon® V
<b>Fibra Total</b>				
Control cruda	14,86	14,86	0,00	0,00
CS-SkF-Raw1	15,23	13,28	1,35	0,60
CS-SkF-Raw2	17,26	10,90	3,97	2,39
CS-SkF-Raw3	22,60	10,90	11,10	0,60
CS-SkF-Raw4	22,69	8,52	11,77	2,39
<b>Fibra Insoluble</b>				
Control cruda	13,37	13,37	0,00	0,00
CS-SkF-Raw1	13,72	11,94	1,24	0,53
CS-SkF-Raw2	15,80	9,80	3,87	2,13
CS-SkF-Raw3	20,94	9,80	10,60	0,53
CS-SkF-Raw4	21,02	7,67	11,22	2,13
<b>Fibra Soluble</b>				
Control cruda	1,52	1,52	0,00	0,00
CS-SkF-Raw1	1,62	1,36	0,21	0,06
CS-SkF-Raw2	1,56	1,11	0,22	0,23
CS-SkF-Raw3	1,85	1,11	0,68	0,06
CS-SkF-Raw4	1,93	0,87	0,83	0,23

\*valores obtenidos por diferencia

El aporte de la fibra dietética de parte de los ingredientes en las distintas formulaciones crudas procedentes de maíz y lenteja fue proporcional al porcentaje de formulación (tabla 12). Así mismo se ha valorado la contribución porcentual de cada uno de los ingredientes en la fibra total (FT) tal como se observa en la figura 32.



**Figura 32.** Contribución porcentual de fibra total procedente de maíz y lenteja, piel de uva fermentada *Cabernet Sauvignon* y Hylon® V en harinas crudas

La contribución porcentual de la fibra dietética por parte de la mezcla maíz y lenteja en las formulaciones fue escalonada. La piel de uva fermentada contribuyó en mayor porcentaje en las formulaciones con 20% de piel de uva fermentada y la contribución porcentual por parte del Hylon® V es menor que los ingredientes mencionados según la proporción incorporada (5 y 20%) (figura 32). En consecuencia, la piel de uva fermentada *Cabernet Sauvignon* es el principal ingrediente responsable en el contenido de la fibra dietética en las muestras estudiadas (tabla 12).

### Efecto de la extrusión

Respecto al efecto de la extrusión en la FT, evidenció una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) entre las harinas crudas y sus pares extruidas, excepto en las muestras CS-SkF-Raw2/CS-SkF-Ext2 (formuladas con 5% de piel de uva fermentada y

20% de Hylon® V), en las cuales no se observó variación alguna, pero sí, se produjo un efecto en la distribución de las fracciones con una disminución de la fracción insoluble y aumento de la soluble, lo que también se observó en la muestra control. Esto significa que, las diferencias son debidas al proceso de extrusión y no a la formulación de las muestras. La disminución del contenido en FI mencionado, puede atribuirse a la fractura de enlaces glucosídicos por efecto del tratamiento térmico-mecánico, generando moléculas más pequeñas no cuantificables como fibra (Wang et al., 2022).

Las muestras extruidas CS-SkF-Ext3 y CS-SkF-Ext4, fueron las formulaciones de harinas extruidas con mayores cantidades de FT (25,79 g/100g y 24,44 g/100g, respectivamente), distribuida mayormente en FI (23,91 g/100g y 22,39 g/100g, respectivamente), que demuestra una vez más, el aporte significativo de la piel de uva fermentada (20% en ambos casos) en el contenido de FT.

Podemos concluir que las distintas formulaciones tienen un efecto significativo en el contenido de la Fibra dietética, siendo la piel de uva fermentada *Cabernet Sauvignon* el ingrediente con mayor contribución que tuvo al contenido en FT y de ambas fracciones (soluble e insoluble) respecto a sus pares crudos, probablemente debido a la evaporación instantánea del agua dentro de la harina, inducida por la exposición del material a alta presión de vapor saturado por corto periodo, conocido como “caída de presión instantánea controlada”, con la que otros estudios justificaron el incremento de la fibra soluble tras el proceso de extrusión (Martínez-Meza et al., 2021) y también por el predominio de 20% de piel de uva en la harina, que otros autores refirieron entre 52,4 y 53,2 g FI/100 g para la uva *Cabernet Sauvignon* (Deng, Penner, & Zhao, 2011; Venkitasamy, Zhao, Zhang, & Pan, 2019). Así mismo, el incremento de la FS podría atribuirse a la formación de otros compuestos durante la extrusión (p. ej., complejo polisacárido-proteína), que se miden como fibra soluble, así mismo, algunos autores, manifestaron que el calor y la humedad

utilizados durante la extrusión pueden solubilizar y degradar las sustancias pécticas, lo que conduce a la disminución de la FI y aumentando la fracción soluble (Arribas et al., 2019b).

### 5.2.2. Carbohidratos Disponibles Totales

Los resultados correspondientes al análisis de Carbohidratos disponibles totales (CDT), cuantificados por espectrofotometría como glucosa, en las muestras de harinas crudas y extruidas con incorporación de piel de uva fermentada, se presentan en la tabla 13.

**Tabla 13.** Carbohidratos disponibles totales (CDT) en harinas de maíz-lenteja (70:30), incorporadas con piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

Muestras	Carbohidratos Totales Disponibles g glucosa/100g
<b>Formulaciones crudas</b>	
Control cruda	$67,10 \pm 2,82^{cA}$
CS-SkF-Raw1	$60,69 \pm 5,55^{cA}$
CS-SkF-Raw2	$66,83 \pm 1,18^{cA}$
CS-SkF-Raw3	$50,53 \pm 2,14^{aA}$
CS-SkF-Raw4	$56,54 \pm 2,19^{bA}$
<b>Formulaciones extruidas</b>	
Control extruida	$71,46 \pm 3,73^{bB}$
CS-SkF-Ext1	$61,89 \pm 1,93^{aA}$
CS-SkF-Ext2	$68,89 \pm 1,16^{bB}$
CS-SkF-Ext3	$57,65 \pm 5,45^{aA}$
CS-SkF-Ext4	$61,50 \pm 5,64^{aA}$

Los valores son la media  $\pm$  desviación estándar. Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ); las letras minúsculas en superíndice significan diferencias entre todas las muestras de cada grupo analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras mayúsculas en superíndice significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

### Efecto de la formulación

Tal como se observa en la tabla 13, hay diferencias estadísticamente significativas entre las muestras formuladas con 20% de piel de uva fermentada (CS-SkF-Raw3 y CS-SkF-

## Resultados y discusión

Raw4) respecto al control y las muestras formuladas con 5% de piel de uva fermentada (CS-SkF-Raw1 y CS-SkF-Raw2).

En la tabla 14, se muestran los resultados correspondientes a la contribución de carbohidratos disponibles totales de cada uno de los ingredientes que forman parte las distintas formulaciones de las harinas objeto de estudio.

**Tabla 14.** Contribución (g/100g) de cada ingrediente al contenido de Carbohidratos disponibles totales (CDT) en harinas crudas de maíz y lenteja (70:30), incorporadas con piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentado y Hylon® V

Código	CDT (valor medio)	Aporte de CDT maíz y lenteja *	Aporte CDT Hylon® V
Control cruda	67,10	67,10	0,00
CS-SkF-Raw1	60,69	56,33	4,36
CS-SkF-Raw2	66,83	49,38	17,45
CS-SkF-Raw3	50,53	46,17	4,36
CS-SkF-Raw4	56,54	39,09	17,45

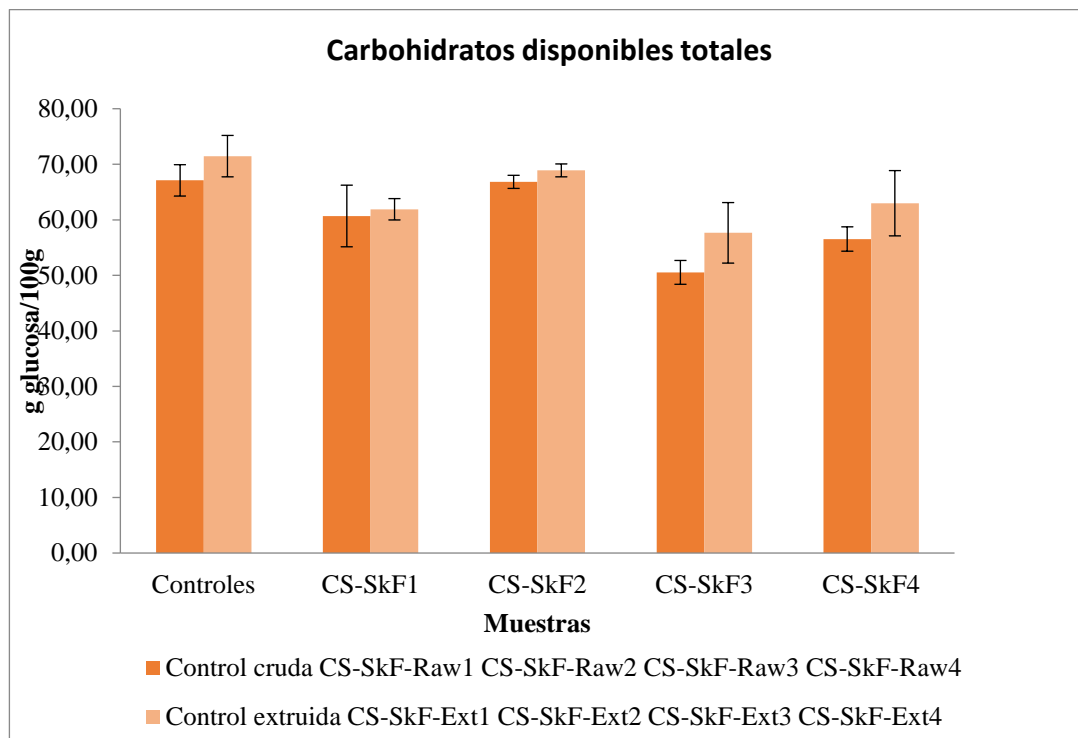
\*valores obtenidos por diferencia

Se ha observado (tabla 14), que la contribución de CDT por parte de la harina cruda de maíz y lenteja mantuvo una tendencia general a disminuir el contenido de CDT (50,53 a 66,83 g glucosa/100g, correspondientes a las formulaciones CS-SkF-Raw3 y CS-SkF-Raw2, respectivamente). En relación a los demás ingredientes, el Hylon® V, tratándose de un ingrediente formulado por almidón resistente procedente del maíz, que contiene hasta un 87 % de carbohidratos totales (INGREDION, 2020), cabría esperar que las muestras formuladas con mayores porcentajes de Hylon® V (20 %; CS-SkF-Raw2 y CS-SkF-Raw4), fueran las que presentaran los valores más elevados de CDT, sin embargo, y tal como se comentará más adelante, los carbohidratos presentes en el Hylon® V que son principalmente del tipo de “almidón resistente” rico en amilosa, y por lo tanto no disponibles (no son cuantificables mediante el método de la antrona ya que no son

hidrolizados por el ácido perclórico). Por su parte la piel de uva fermentada no contribuye al incremento de CDT (tabla 13), debido a que durante el proceso de vinificación tuvo lugar la fermentación alcohólica de los azúcares solubles presentes en la uva en etanol (Canalejo, Guadalupe, Martínez-Lapiente, Ayestarán, & Pérez-Magariño, 2021). Esto significa que el aporte de CDT proviene principalmente de la harina de maíz y lenteja, de manera que al disminuir su porcentaje en las distintas formulaciones el contenido de CDT no es compensado con la incorporación de la piel de uva fermentada ni con el Hylon® V.

### Efecto de la extrusión

En la siguiente figura se muestra la comparación de la cantidad de CDT debido al efecto de la extrusión entre las formulaciones crudas y sus pares extruidas (figura 33).



**Figura 33.** Comparación de Carbohidatos disponibles totales en harinas crudas y extruidas incorporadas con piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

Las cantidades de CDT en las harinas extruidas fluctuaron entre 57,65 y 68,89 g glucosa/100g, correspondientes a las formulaciones CS-SkF-Ext3 (formuladas con 20 % piel de uva más 5% Hylon® V) y CS-SkF-Ext2 (formuladas con 5% piel de uva más 20% Hylon® V), respectivamente. Como era de esperar la incorporación de Hylon® V afecta en mayor medida al contenido de CDT que la incorporación de piel de uva. Sin embargo, como se puede observar, el proceso de extrusión entre las harinas formuladas con piel de uva y Hylon® V no supuso una variación estadística comparados con sus pares crudas a excepción de la muestra control, lo que supone que tanto la piel de uva fermentada como el Hylon® V no incrementaron significativamente la cantidad de CDT tras la extrusión, debido a que como se ha comentado, la piel de uva no dispone de estos carbohidratos por haberse fermentado durante el proceso de la elaboración del vino.

### 5.2.3. Oligosacáridos: Ciceritol y $\alpha$ -Galactósidos

El análisis de la fracción de azúcares solubles por cromatografía líquida HPLC-IR, permitió la identificación y cuantificación, en las muestras de maíz y lenteja crudas y extruidas incorporadas con piel de uva fermentada y Hylon® V, de: ciceritol y los  $\alpha$ -galactósidos rafinosa y estaquiosa, cuyos resultados se presentan en la tabla 15.

**Tabla 15.** Ciceritol y  $\alpha$ -galactósidos en harinas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

Código	Ciceritol mg/100g	Rafinosa mg/100g	Estaquirosa mg/100g
<b>Formulaciones Crudas</b>			
Control cruda	489,47 ± 12,01 <sup>dA</sup>	102,13 ± 11,46 <sup>cA</sup>	924,70 ± 32,42 <sup>dA</sup>
CS-SkF-Raw1	427,95 ± 15,15 <sup>cA</sup>	96,00 ± 1,80 <sup>cA</sup>	868,43 ± 9,77 <sup>cB</sup>
CS-SkF-Raw2	345,20 ± 9,30 <sup>bA</sup>	71,10 ± 2,20 <sup>bA</sup>	676,90 ± 10,90 <sup>bA</sup>
CS-SkF-Raw3	330,60 ± 1,10 <sup>bA</sup>	74,05 ± 1,87 <sup>bA</sup>	673,70 ± 31,60 <sup>bA</sup>
CS-SkF-Raw4	190,30 ± 6, 80 <sup>aA</sup>	45,80 ± 4, 85 <sup>aA</sup>	549,80 ± 16, 28 <sup>aA</sup>
<b>Formulaciones Extruidas</b>			
Control extruida	580,64 ± 26,65 <sup>cB</sup>	117,55 ± 10,73 <sup>cB</sup>	1059,22 ± 99,03 <sup>dB</sup>
CS-SkF-Ext1	558,17 ± 18,35 <sup>cB</sup>	144,70 ± 20,49 <sup>cB</sup>	750,45 ± 6,71 <sup>cA</sup>
CS-SkF-Ext2	431,97 ± 5,27 <sup>bB</sup>	87,30 ± 7,02 <sup>bB</sup>	706,67 ± 17,52 <sup>bB</sup>
CS-SkF-Ext3	436,80 ± 23,52 <sup>bB</sup>	93,33 ± 5,17 <sup>bB</sup>	722,17 ± 11,72 <sup>bB</sup>
CS-SkF-Ext4	330,10 ± 12,19 <sup>aB</sup>	58,43 ± 3,40 <sup>aB</sup>	674,33 ± 1,75 <sup>aB</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar (n = 3). Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes (p<0,05); Las letras en superíndice significan diferencias entre todas las muestras analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras en superíndice en mayúsculas significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

### Efecto de formulación

La cantidad de oligosacáridos analizados en las distintas formulaciones de harinas crudas con incorporación de piel de uva fermentada y Hylon® V, mostró el siguiente patrón: estaquirosa > ciceritol > rafinosa. De acuerdo con la literatura (Ciudad-Mulero et al., 2020; Morales, Berrios, et al., 2015; Sánchez-Mata et al., 1998), tanto la rafinosa, la estaquirosa y el ciceritol, son oligosacáridos frecuentes en harina de lenteja, de modo que a mayor porcentaje de maíz-lenteja, se observa una mayor concentración de estos compuestos (tabla 15). Arribas et al. (2019a) también constataron que a mayor cantidad de leguminosas incluidas en las formulaciones (antes de la extrusión), mayor cantidad de  $\alpha$ -galactósidos.

El contenido de los tres oligosacáridos en harinas crudas varió de la siguiente manera: ciceritol entre 190,30 a 427,95 mg/100g, la rafinosa entre 45,80 a 96,00 mg/100g y la

estaquiosa entre 549,80 a 868,43 mg/100g, los tres casos les corresponden a las muestras CS-SkF-Raw4 (formuladas con 53,75% de maíz y lenteja, 20% de piel de uva fermentada más 20% de Hylon® V) y CS-SkF-Raw1, (formuladas con 83,75% de maíz y lenteja, 5% de piel de uva fermentada más 5% de Hylon® V) respectivamente. Estos resultados ponen en evidencia que la mezcla maíz y lenteja aporta significativamente estos oligosacáridos a las distintas formulaciones de acuerdo con la proporción añadida, algo ya mencionado por otros autores (Ciudad-Mulero et al., 2020; Sánchez-Mata et al., 1998; Thirunathan & Manickavasagan, 2019) quienes también resaltaron la presencia de estos oligosacáridos en harinas formuladas principalmente con lentejas.

Al momento del presente estudio no se encontraron evidencia científica definida sobre el contenido de estos oligosacáridos en el Hylon® V elaborados a base maíz. Además, la piel de uva fermentada empleada en estas formulaciones había sufrido un proceso de fermentación previo, no siendo fuente de azúcares en las muestras objeto de estudio tal y como ha quedado reflejado en el apartado anterior. Pudiéndose constatar que la presencia tanto del ciceritol, rafinosa y estaquiosa provienen exclusivamente de la lenteja.

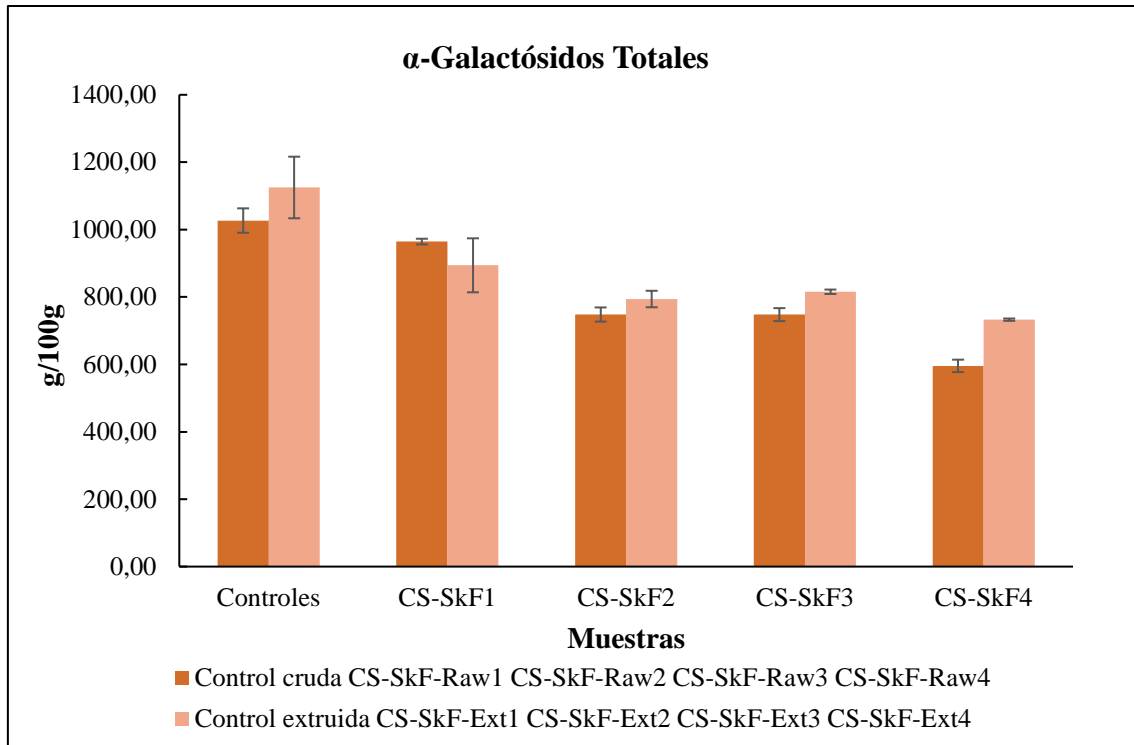
En relación con el contenido de  $\alpha$ -galactósidos totales (rafinosa + estaquiosa; figura 34) se observó la misma tendencia para la estaquiosa, por ser el principal  $\alpha$ -galactósido en todas las muestras. Cabe destacar, que las diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) observadas en el contenido total de  $\alpha$ -galactósidos coinciden con la variación de la cantidad de maíz y lenteja. Las harinas elaboradas con 68,75% de maíz y lenteja (CS-SkF-Raw2 y CS-SkF-Raw3) con diferentes cantidades de piel de uva y Hylon® V no presentaron una variación significativa.

### Efecto de la extrusión

Al igual que para el resto de las determinaciones analíticas llevadas a cabo, las muestras crudas se usaron como controles para evaluar el efecto de la extrusión sobre el contenido de oligosacáridos de las distintas formulaciones. En ese sentido, para las muestras extruidas, el contenido de estos compuestos siguió el siguiente patrón: estaquiosa > ciceritol > rafinosa (tabla 15). La extrusión provoca la ruptura de las células dando lugar a una mayor porosidad de la pared celular, lo que aumentaría el área de superficie específica, mejorando la difusión del solvente dentro de los extruidos y aumentando la disponibilidad y por lo tanto la extractabilidad de los oligosacáridos (Pedrosa et al., 2012), tal y como se observa en la tabla 15.

El contenido de ciceritol en las muestras extruidas, observándose diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre las muestras crudas y extruidas, tal y como observaron otras investigaciones previamente (Berrios et al., 2010; Arribas et al., 2019). El contenido de rafinosa y estaquiosa también sufrió modificaciones debidas al proceso de extrusión. Al igual que en las muestras sin procesar, la estaquiosa fue el principal  $\alpha$ -galactósido encontrado en las muestras extruidas, con un rango de 706,67 a 750,45 g/100g (CS-SkF-Ext2 y CS-SkF-Ext1, respectivamente). Todas las muestras con piel de uva fermentada extruidas (excepto la muestra CS-SkF-Ext1) mostraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en su contenido de estaquiosa en comparación con sus correspondientes harinas crudas.

En la figura 34 se muestran las comparaciones del efecto de la extrusión de los  $\alpha$ -galactósidos totales entre las formulaciones crudas y extruidas.



**Figura 34.** Comparación  $\alpha$ -Galactósidos Totales en harinas crudas y extruidas de maíz y lentejas con incorporación de piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentado

Según la figura 34, el contenido  $\alpha$ -galactósidos totales después de la extrusión, se observó una reducción de 13,6% (CS-SkF-Ext1), mientras se incrementaron en 4,4% (CS-SkF-Ext2), 7,2% (CS-SkF-Ext3) y 22,7% (CS-SkF-Ext4). La disminución observada de la muestra CS-SkF-Ext1, puede ser debido al procesamiento hidrotérmico, donde resulta la formación de disacáridos simples y monosacáridos mientras que la diferencia en la disociación individual podría atribuirse a la variación en su capacidad de hidratación y velocidad de difusión (Vashishth, Semwal, Naika, Sharma, & Kumar, 2021). Aunque sería de esperar que el contenido de azúcares solubles disminuyera debido a la reacción de Maillard por efecto de la descomposición del almidón y otros polisacáridos durante el proceso de extrusión en componentes de menor peso molecular como la glucosa y fructosa (Berrios et al., 2010).

**5.2.4. Arabinosilanos**

Los resultados correspondientes al contenido de arabinosilanos (extractables y totales) cuantificados por el método espectrofotométrico, sobre muestras de harinas crudas y extruidas con incorporación de piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V, se presentan en la tabla 16.

**Tabla 16.** Arabinosilanos extractables y totales en harinas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

<b>Muestras</b>	<b>Extractables g/100g</b>	<b>Totales g/100g</b>
<b>Formulaciones crudas</b>		
Control cruda	0,93 ± 0,05 <sup>ca</sup>	5,14 ± 0,25 <sup>ba</sup>
CS-SkF-Raw1	0,84 ± 0,07 <sup>ca</sup>	5,20 ± 0,46 <sup>ba</sup>
CS-SkF-Raw2	0,68 ± 0,07 <sup>ba</sup>	7,44 ± 0,17 <sup>da</sup>
CS-SkF-Raw3	0,68 ± 0,01 <sup>ba</sup>	4,48 ± 0,22 <sup>aa</sup>
CS-SkF-Raw4	0,53 ± 0,07 <sup>aa</sup>	6,63 ± 0,41 <sup>ca</sup>
<b>Formulaciones extruidas</b>		
Control extruida	1,60 ± 0,21 <sup>cb</sup>	6,64 ± 0,43 <sup>ab</sup>
CS-SkF-Ext1	1,33 ± 0,07 <sup>bcB</sup>	6,93 ± 0,57 <sup>ab</sup>
CS-SkF-Ext2	1,22 ± 0,05 <sup>bb</sup>	9,85 ± 0,58 <sup>cb</sup>
CS-SkF-Ext3	1,21 ± 0,04 <sup>bb</sup>	5,89 ± 0,23 <sup>ab</sup>
CS-SkF-Ext4	0,88 ± 0,04 <sup>ab</sup>	8,77 ± 0,50 <sup>bb</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar (n = 4). Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes (p<0,05); las letras minúsculas en superíndice significan diferencias entre todas las muestras de cada grupo analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras mayúsculas en superíndice significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

**Efecto de la formulación**

En la tabla 17, se muestran los resultados correspondientes a la contribución de cada uno de los ingredientes de la formulación en el contenido de cada una de las fracciones de arabinosilanos (extractables y totales) de las muestras de harinas crudas analizadas.

## Resultados y discusión

**Tabla 17.** Contribución (g/100g) de cada ingrediente al contenido de Arabinosilanos en harinas crudas de maíz y lenteja (70:30), incorporadas con piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon®V

Código	AX (valor medio)	Aporte de AX maíz y lenteja*	Aporte de AX Hylon® V
<b>Arabinosilanos Totales</b>			
Control crudas	5,14	5,14	0,00
CS-SkF-Raw1	5,20	4,22	0,98
CS-SkF-Raw2	7,44	3,51	3,93
CS-SkF-Raw3	4,48	3,50	0,98
CS-SkF-Raw4	6,63	2,70	3,93
<b>Arabinosilanos Extractables</b>			
Control crudas	0,93	0,930	0,00
CS-SkF-Raw1	0,84	0,834	0,002
CS-SkF-Raw2	0,68	0,672	0,008
CS-SkF-Raw3	0,68	0,678	0,002
CS-SkF-Raw4	0,53	0,522	0,008

\*valores obtenidos por diferencia

Según, diferentes autores (Camara et al., 2017; Ciudad-Mulero et al., 2018) los arabinosilanos, como parte de la fibra dietética soluble, se clasifican según las propiedades físicas de la solubilidad en agua, en extractables y no extractables. Los arabinosilanos no extractables permanecen en la pared celular unido a otros arabinosilanos y otros constituyentes celulares mediante interacciones no covalentes (enlace de hidrógeno) e interacciones covalentes (enlace éster). En cambio, los arabinosilanos extractables se unen débilmente a la superficie de la pared celular debido a un entrecruzamiento incompleto con otros componentes o por haber sufrido una degradación enzimática inicial en el grano, motivo por el cual es visiblemente cuantificable. En ese sentido, el contenido de los arabinosilanos extractables osciló entre 0,53 a 0,84 g/100g, correspondientes a las harinas crudas CS-SkF-Raw4 y CS-SkF-Raw1, respectivamente (tabla 16). Donde la menor cantidad fue observada en la formulación con 53,75% de maíz-lenteja más 20% de piel de uva fermentada y 20% de Hylon® V (CS-SkF-Raw4), en tanto, la mayor cantidad fue cuantificada en la formulación con 83,75%

de maíz-lenteja más 5% de piel de uva fermentada y 5% de Hylon® V (CS-SkF-Raw1). Estas dos formulaciones, evidencian la contribución de arabinosilanos extractables en agua de parte de la harina a base de maíz y lenteja, de forma similar a lo que observaron (Ciudad-Mulero et al., 2018) en harinas de lenteja.

El contenido de arabinosilanos totales (tabla 16) en las muestras crudas osciló entre 4,48 a 7,44 g/100g, correspondientes a las harinas CS-SkF-Raw3 y CS-SkF-Raw2, respectivamente, siendo mayor la muestra formulada con 68,75% de la mezcla maíz y lenteja enriquecida con 5% de piel de uva fermentada y 20% de Hylon® V (CS-SkF-Raw2), este resultado es coherente dado el aporte de arabinosilanos totales a la formulación debida al Hylon® V (que contiene 19,66 g arabinosilanos totales/100g de harina). Por ejemplo, la harina (CS-SkF-Raw4) con una base de maíz-lenteja de 53,75% más 20% de piel de uva fermentada y 20% de Hylon® V ocupa el segundo lugar en contenido de arabinosilanos totales (6,63 g/100g), respecto al resto de harinas analizadas. En cambio, en las harinas con menor proporción de Hylon® V, independientemente del contenido de piel de uva fermentada, el contenido en arabinosilanos totales es considerablemente menor.

### **Efecto de la extrusión**

El efecto de la extrusión sobre los arabinosilanos totales y extractables, ha demostrado un incremento significativo ( $p < 0,05$ ) en la mayoría de las muestras extruidas respecto a sus pares crudas. Se puede observar un incremento de arabinosilanos totales en todas las formulaciones de harinas, siendo la muestra CS-SkF-Ext2 y CS-SkF-Ext4 las que alcanzaron los máximos valores comprendidos en 32,4% y 32,3%, respectivamente (tabla 16), debido al elevado porcentaje de Hylon® V (20%) presente en sus formulaciones. Las muestras CS-SkF-Ext1 y CS-SkF-Ext2, alcanzaron los valores máximos en arabinosilanos extractables comprendidos en 58,3% y 79,4%, respectivamente,

probablemente debido a los máximos porcentajes de la mezcla maíz y lenteja (83,75% y 68,75% respectivamente). Otros investigadores también han resuelto que, el efecto de la extrusión en muestras con lentejas incrementó significativamente los arabinosilanos totales hasta en 57,8% (Ciudad-Mulero et al., 2018) y también en formulaciones de garbanzo y arroz con fruta de la pasión en 39,2%, probablemente debido al incremento de la porosidad celular promovida por la alta temperatura y cizallamiento mecánico que provoca la extractabilidad de los arabinosilanos (Fadel, et al., 2018) de forma similar a lo observado en los oligosacáridos. En otros estudios, realizados con trigo y centeno también observaron el incremento en los arabinosilanos debido al efecto de la extrusión (Demuth et al., 2020). En suma, los parámetros de extrusión, como las altas velocidades del tornillo aumentan el rendimiento de extracción de los arabinosilanos de bajo peso molecular (Demuth et al., 2020; Fadel et al., 2018).

### **5.2.5. Almidón Total (fracción de Amilosa y Amilopectina) y Almidón Resistente**

Los datos obtenidos en el contenido de almidón total (fracción de amilosa y amilopectina) y almidón resistente cuantificados por espectrofotometría en las muestras de harinas crudas y extruidas de maíz y lenteja con incorporación de piel de uva y Hylon® V se presentan en la tabla 18.

**Tabla 18.** Almidón Total y Almidón Resistente en harinas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

Muestra	Almidón Total g/100g	Almidón Resistente g/100g
<b>Formulaciones crudas</b>		
Control cruda	54,36 ± 2,55 <sup>cA</sup>	3,18 ± 0,17 <sup>bB</sup>
CS-SkF-Raw1	54,31 ± 1,23 <sup>cA</sup>	2,47 ± 0,56 <sup>abB</sup>
CS-SkF-Raw2	58,41 ± 0,71 <sup>dA</sup>	5,85 ± 0,14 <sup>cB</sup>
CS-SkF-Raw3	42,74 ± 1,45 <sup>aA</sup>	2,07 ± 0,07 <sup>aB</sup>
CS-SkF-Raw4	47,52 ± 1,15 <sup>bB</sup>	5,42 ± 0,71 <sup>cB</sup>
<b>Formulaciones extruidas</b>		
Control extruida	54,65 ± 2,72 <sup>bA</sup>	0,48 ± 0,06 <sup>aA</sup>
CS-SkF-Ext1	52,35 ± 1,90 <sup>bA</sup>	0,58 ± 0,01 <sup>aA</sup>
CS-SkF-Ext2	59,31 ± 1,19 <sup>cA</sup>	1,38 ± 0,18 <sup>bA</sup>
CS-SkF-Ext3	43,81 ± 2,07 <sup>aA</sup>	0,46 ± 0,07 <sup>aA</sup>
CS-SkF-Ext4	45,34 ± 0,65 <sup>aA</sup>	1,19 ± 0,14 <sup>bA</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar (n = 4). Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes (p<0,05); las letras minúsculas en superíndice significan diferencias entre todas las muestras de cada grupo analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras mayúsculas en superíndice significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

En la tabla 19 se presentan las proporciones porcentuales de amilosa y amilopectina, constituyentes del almidón, para lo cual se han determinado la amilosa por espectrofotometría, posteriormente la cantidad de la amilopectina se determinó por diferencia (tal y como queda reflejado en el apartado de metodología).

## Resultados y discusión

**Tabla 19.** Proporción (%) de Amilosa y Amilopectina en la fracción de almidón total de harinas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

Muestra	Amilosa %	Amilopectina <sup>a</sup> %
<b>Formulaciones crudas</b>		
Control cruda	22,42 ± 2,17 <sup>bA</sup>	77,58 ± 2,17 <sup>cA</sup>
CS-SkF-Raw1	27,16 ± 1,23 <sup>cB</sup>	72,84 ± 1,23 <sup>aA</sup>
CS-SkF-Raw2	27,95 ± 0,35 <sup>cA</sup>	72,05 ± 0,35 <sup>aA</sup>
CS-SkF-Raw3	20,03 ± 0,18 <sup>aA</sup>	79,97 ± 0,27 <sup>dB</sup>
CS-SkF-Raw4	24,11 ± 2,36 <sup>bA</sup>	75,89 ± 2,36 <sup>bA</sup>
<b>Formulaciones extruidas</b>		
Control extruida	20,32 ± 1,39 <sup>aA</sup>	79,68 ± 1,39 <sup>dA</sup>
CS-SkF-Ext1	22,34 ± 0,89 <sup>aA</sup>	77,66 ± 0,89 <sup>cB</sup>
CS-SkF-Ext2	26,38 ± 2,08 <sup>cA</sup>	73,62 ± 2,08 <sup>aA</sup>
CS-SkF-Ext3	22,37 ± 1,78 <sup>aA</sup>	77,63 ± 1,78 <sup>cA</sup>
CS-SkF-Ext4	24,25 ± 1,20 <sup>bA</sup>	75,75 ± 1,20 <sup>bA</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar (n = 3). Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes (p<0,05); las letras minúsculas en superíndice significan diferencias entre todas las muestras de cada grupo analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras mayúsculas en superíndice significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

<sup>a</sup> El porcentaje de amilopectina se calculó por diferencia (100 - % de amilosa).

### Efecto de la formulación

En la tabla 20, se muestran los resultados correspondientes a la contribución de cada uno de los ingredientes de la formulación al contenido de almidón total, amilosa, amilopectina y almidón resistente de las muestras de harinas crudas analizadas.

## Resultados y discusión

**Tabla 20.** Contribución de cada ingrediente al contenido de Almidón total y Almidón resistente en harinas crudas de maíz y lenteja (70:30), incorporadas con piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

Código	Valor medio	Aporte maíz y lenteja g/100g *	Aporte Hylon® V g/100g
<b>Almidón Total</b>			
Control crudas	54,36	54,36	0,00
CS-SkF-Raw1	54,31	50,02	4,29
CS-SkF-Raw2	58,41	41,26	17,15
CS-SkF-Raw3	42,74	38,45	4,29
CS-SkF-Raw4	47,52	30,37	17,15
<b>Almidón Resistente</b>			
Control crudas	3,18	3,18	0,00
CS-SkF-Raw1	2,47	1,14	1,33
CS-SkF-Raw2	5,85	0,55	5,30
CS-SkF-Raw3	2,07	0,74	1,33
CS-SkF-Raw4	5,42	0,12	5,30

\*valores obtenidos por diferencia

La cantidad de almidón total en las muestras crudas fluctuó entre 42,74 y 58,41 g/100g, siendo la muestra CS-SkF-Raw2, formulada con 68,75% de maíz y lenteja más 5% de piel de uva fermentada y 20% de Hylon® V, la que presentó el mayor contenido de almidón total, en contraste con la muestra CS-SkF-Raw3, formulada con 68,75% de maíz y lenteja, más 20% de piel de uva fermentada y 5% de Hylon® V, que fue la muestra que presentó el menor contenido de este compuesto, por lo que se puede afirmar que la piel de uva fermentada no contribuye en la cantidad de almidón total, en las muestras objeto de estudio. En cambio, el Hylon® V utilizado en la formulación de las muestras, contiene hasta un 85,75 g/100g de almidón total, de modo que, junto con la harina de maíz y lenteja, contribuyen enormemente a la cantidad de almidón total de las muestras analizadas. La distribución de la amilosa en cantidades porcentuales (tabla 19) para las muestras crudas varió entre 20,03 y 27,95% (CS-SkF-Raw3 y CS-SkF-Raw2, respectivamente) y la cantidad porcentual de amilopectina vario entre 72,05 y 79,97%

(CS-SkF-Raw2 y CS-SkF-Raw3, respectivamente). Todas las muestras analizadas destacaron por presentar mayor concentración de amilopectina que amilosa, en una proporción 3:1. Las muestras CS-SkF-Raw3 y CS-SkF-Raw4 fueron las que mejor contenido en amilopectina (79,97 y 75,89%, respectivamente) presentaron, mientras que las muestras CS-SkF-Raw1 y CS-SkF-Raw2 presentaron las mejores concentraciones de amilosa (27,16 y 27,95 %, respectivamente). Se ha observado, que la disminución progresiva de la proporción maíz y lenteja en las formulaciones, disminuyen la relación amilosa/amilopectina. Una de las razones de la incorporación de Hylon® V (5 y 20%) en estas muestras, fue para compensar dicha relación, debido a que las cantidades de amilosa alcanzaron valores por encima del 20% en todas las formulaciones crudas (tabla 19), previstas para someterse a un proceso de extrusión.

Las cantidades de almidón resistente son considerablemente inferiores en comparación con los otros componentes analizados (almidón total y dentro de ella la amilosa y amilopectina por diferencia). En las muestras crudas, el contenido de almidón resistente varió entre 2,07 y 5,85 g/100g (CS-SkF-Raw3 y CS-SkF-Raw2, respectivamente). Siendo las muestras formuladas con el 20% de Hylon® V las que consiguen mayor cantidad de almidón resistente (tabla 18) en comparación con las formuladas con el 5% de Hylon® V, lo que supone una contribución interesante de almidón resistente proveniente del Hylon® V (hasta 26,51 g/100g). Al igual que en el almidón total, la incorporación de piel de uva fermentada no contribuye en el contenido de almidón resistente presente en las formulaciones analizadas.

### **Efecto del proceso de extrusión**

En muestras extruidas no se observan diferencias estadísticamente significativas en cuanto al contenido de almidón total tras el proceso de extrusión. Estos valores fluctuaron

desde 43,81 a 59,31 g/100g de almidón total (CS-SkF-Ext3 y CS-SkF-Ext2, respectivamente), donde al igual que las muestras sin procesar, la cantidad de almidón total disminuyó en las formulaciones con el 20% de piel de uva fermentada. Sin embargo, con el fin de sostener el equilibrio básico de la formulación de harinas para un proceso de extrusión, diversos autores han mencionado que es conveniente que las formulaciones cuenten con el almidón adecuado (porcentaje de amilosa y amilopectina y su proporción en el material procesado), a fin de conseguir una textura crujiente y buenos atributos sensoriales (Ek, Gu, Saunders, Huber, & Ganjyal, 2021; Moscicki, Mitrus, Oniszcuk, Rejak, & Wójtowicz, 2013). La cantidad porcentual de amilosa en las harinas extruidas formuladas con piel de uva fermentada y Hylon® V fueron superiores a la muestra control extruida (20,32%) que varió entre 22,34 a 26,38% (CS-SkF-Ext1 y CS-SkF-Ext2, respectivamente), en cambio la cantidad de amilopectina varió entre 73,62 y 77,66% (CS-SkF-Ext2 y CS-SkF-Ext1, respectivamente), observándose una menor influencia en comparación con la muestra control extruida (79,68%), debido a que el Hylon® V tiene una contribución importante de amilosa (56,93%) y como contraparte la amilopectina disminuye (43,07%), este efecto también ha sido observado por otros autores respecto al Hylon® V, lo cual podría ser debido a su alto contenido de amilosa (hasta 50%) (Błaszczak et al., 2007; Khachatryan et al., 2014).

Además, si comparamos las muestras que presentaron una mayor proporción de piel de uva fermentada, el contenido en amilosa fue considerablemente menor que en la muestra que presentaron una mayor proporción de Hylon® V. Por otro lado, se ha informado, que una relación amilosa: amilopectina de 1:3 ó 1:4 es deseable para obtener productos extruidos con propiedades adecuadas de expansión y textura (Arribas et al., 2019b). Además, se ha observado que al extruir matrices alimentarias con una relación de amilosa: amilopectina de 1:3,3, se obtienen buenos resultados de expansión (Ek et al., 2021).

Teniendo en cuenta estas consideraciones y a la vista de los resultados obtenidos, se puede afirmar que las formulaciones analizadas poseen propiedades adecuadas desde el punto de vista tecnológico, ya que tienen una relación amilosa: amilopectina de 1:3,1, debido a que la amilosa principalmente, condiciona las propiedades mecánicas, solubilidad, tiempo de cocción, permeabilidad al oxígeno, capacidad de retención de agua, gelatinización, viscosidad, además la forma y volumen de los poros que están predeterminados por la capacidad natural de las cadenas de polímeros de amilosa y amilopectina dentro de los gránulos de almidón para ensamblarse en una estructura laminar supramolecular a nano-escala organizada, que consiste en regiones cristalinas y amorfas (Arribas et al., 2019b; Khlestkin et al., 2018; Zhu et al., 2017). Por lo tanto, podría sugerir que la amilosa por su capacidad de interacción con moléculas hidrofóbicas forman complejos de inclusión, haciéndolos resistentes a la hidrólisis enzimática que permite actuar como fibra dietética (Di Marco, Ixtaina, & Tomás, 2022).

La cantidad de almidón resistente en las muestras extruidas varió entre 0,46 y 1,38 g/100g (CS-SkF-Ext3 y CS-SkF-Ext2, respectivamente). Por lo tanto, existen diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre las formulaciones crudas y sus pares extruidas (tabla 18), disminuyendo la cantidad de almidón resistente en las formulaciones entre 76,4% (CS-SkF-Ext2) y 78,0% (CS-SkF-Ext4). Estos resultados, concuerdan con otros estudios en muestras con lentejas (Blandino et al., 2023) donde, la extrusión-cocción provoca una desintegración total de la estructura del almidón, debido a las altas fuerzas de cizallamiento y altas temperaturas, promoviendo así la gelatinización casi completa del almidón, lo que es perjudicial para la estabilidad del almidón resistente. Así mismo, otros autores, han observado inclusive la ausencia del almidón resistente tras el proceso de extrusión en una mezcla de arroz, algarrobo y frijol (Arribas et al., 2019b). Por otro lado, la extrusión puede destruir el almidón resistente tipo 1 y 2 (almidón inaccesible

atrapado físicamente y almidón nativo, respectivamente) y puede formar almidón resistente tipo 3 (almidón retrogradado), lo que podría suponerse la presencia de almidón resistente tipo 3 sobre todo en las muestras con la mayor cantidad de Hylon® V (20%) (Masatcioglu et al., 2017).

### 5.2.6. Compuestos Fenólicos (Fenoles totales, flavonoides y antocianinas totales)

Los resultados de los compuestos fenólicos (fenoles totales, flavonoides y antocianinas totales), obtenidos por espectrofotometría en las muestras de harinas crudas y extruidas objeto de estudio, se presentan en la tabla 21.

**Tabla 21.** Fenoles totales, Flavonoides totales y Antocianinas totales en harinas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

Muestras	Fenoles Totales (mg GAE/100g)	Flavonoides totales (mg EQ /100g)	Antocianinas Totales (mg cianidina-3- glucósido/100 g)
<b>Formulaciones crudas</b>			
Control cruda	307,30 ± 11,60 <sup>aA</sup>	49,28 ± 2,08 <sup>aB</sup>	0,16 ± 0,01 <sup>aB</sup>
CS-SkF-Raw1	417,77 ± 21,31 <sup>cB</sup>	57,08 ± 1,34 <sup>bB</sup>	1,69 ± 0,06 <sup>bB</sup>
CS-SkF-Raw2	359,39 ± 26,25 <sup>bA</sup>	46,12 ± 2,11 <sup>aB</sup>	1,61 ± 0,08 <sup>bB</sup>
CS-SkF-Raw3	836,77 ± 4,21 <sup>eB</sup>	79,08 ± 1,79 <sup>dB</sup>	5,42 ± 0,29 <sup>cB</sup>
CS-SkF-Raw4	786,73 ± 5,01 <sup>dA</sup>	69,05 ± 1,17 <sup>cB</sup>	5,75 ± 0,14 <sup>dB</sup>
<b>Formulaciones extruidas</b>			
Control extruida	290,13 ± 13,50 <sup>aA</sup>	40,43 ± 2,88 <sup>bA</sup>	0,06 ± 0,01 <sup>aA</sup>
CS-SkF-Ext1	368,04 ± 12,42 <sup>bA</sup>	40,14 ± 2,50 <sup>bA</sup>	0,20 ± 0,03 <sup>bA</sup>
CS-SkF-Ext2	387,53 ± 2,95 <sup>bA</sup>	34,07 ± 0,36 <sup>aA</sup>	0,17 ± 0,00 <sup>bA</sup>
CS-SkF-Ext3	735,21 ± 28,42 <sup>cA</sup>	45,70 ± 2,50 <sup>bA</sup>	0,64 ± 0,04 <sup>dA</sup>
CS-SkF-Ext4	767,72 ± 19,42 <sup>dA</sup>	57,59 ± 2,15 <sup>cA</sup>	0,53 ± 0,04 <sup>cA</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar (n = 3). Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes (p<0,05); las letras minúsculas en superíndice significan diferencias entre todas las muestras de cada grupo analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras mayúsculas en superíndice significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

**Efecto de la formulación**

Así mismo, en la tabla 22, se muestran los resultados correspondientes a la contribución de cada uno de los ingredientes, que forman parte de las formulaciones de las muestras crudas, al contenido de fenoles, flavonoides y antocianinas totales en cada una de las muestras.

**Tabla 22.** Contribución de los ingredientes al contenido de los fenoles totales, flavonoides totales y antocianinas totales en harinas crudas formuladas con piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

Código	Valor medio unidades	Aporte teórico maíz y Lenteja	Aporte piel uva fermentada *
<b>Fenólicos totales (mg GAE/100g)</b>			
Control cruda	307,30	307,30	0,00
CS-SkF-Raw1	417,77	274,52	143,25
CS-SkF-Raw2	359,39	225,35	134,04
CS-SkF-Raw3	836,77	225,35	611,42
CS-SkF-Raw4	786,73	176,19	610,54
<b>Flavonoides totales (mg EQ/100g)</b>			
Control cruda	49,28	49,28	0,00
CS-SkF-Raw1	57,08	44,02	13,06
CS-SkF-Raw2	46,12	36,14	9,98
CS-SkF-Raw3	79,08	36,14	42,94
CS-SkF-Raw4	69,05	28,25	40,80
<b>Antocianinas totales (mg cianidina-3-glucósido/100g)</b>			
Control cruda	0,16	0,16	0,00
CS-SkF-Raw1	1,69	0,14	1,55
CS-SkF-Raw2	1,61	0,12	1,49
CS-SkF-Raw3	5,42	0,12	5,30
CS-SkF-Raw4	5,75	0,09	5,66

\*valores obtenidos por diferencia

La cantidad de fenoles totales en harinas crudas varió de 359,39 a 836,77 mg GAE/100g, siendo el mínimo valor para la muestra CS-SkF-Raw2 (compuesto por 68,75% de maíz y lenteja más 5% de piel de uva fermentada y 20% Hylon® V) y el máximo valor para la muestra CS-SkF-Raw3 (compuesto por 68,75% de maíz y lenteja más 20% de piel de uva

fermentada y 5% Hylon® V). Se demuestra que existe diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) en el contenido de fenoles totales en función del porcentaje de subproducto de uva incorporado. Es decir, la cantidad de fenoles totales se incrementa en las harinas crudas, a medida que aumenta la proporción de piel de uva fermentada (5 y 20%) y disminuye la proporción maíz y lenteja (93,75 a 53,75%) (tabla 10 y 21). En ese sentido, el incremento de fenoles totales en las harinas crudas, se debe a la presencia significativa de la piel de uva fermentada (tabla 22), la misma que ha trascendido según algunos autores que la piel de uva, además de la semilla, es donde se localiza mayoritariamente los compuestos fenólicos (Obreque-Slier, Herrera-Bustamante, & López-Solís, 2021) y como tal, contiene desde 28 a 35% de polifenoles, que se encontrarían unidas de formas insolubles y esterificadas a los componentes de la pared celular, las mismas que ejercerían propiedades antioxidantes (Meini, Cabezudo, Galetto, & Romanini, 2021; Venkitasamy et al., 2019).

La cuantificación de los flavonoides en harinas crudas, tuvieron una variación de 46,12 a 79,08 mg QE /100g correspondientes a las muestras CS-SkF-Raw2 (formulada con 68,75% de maíz y lenteja más 5% de piel de uva fermentada y 20% Hylon® V) y CS-SkF-Raw3 (formulada con 68,75 % de maíz y lenteja más 20% de piel de uva fermentada más 5% Hylon® V), respectivamente. Como era de esperar y al igual que ocurre con los fenoles totales, se observa una tendencia a incrementarse el contenido de flavonoides, cuando la proporción de maíz y lenteja disminuye y aumenta la proporción de la piel de uva fermentada. Es decir, existe diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) entre las formulaciones con 5% (bajo flavonoides) y 20% (alto flavonoides) de piel de uva fermentada. Por lo tanto, se evidencia una contribución significativa por parte de la piel de uva fermentada en el contenido de los flavonoides totales en las harinas analizadas. Los flavanoles y flavonoles se encuentran principalmente en la piel de uva (Moro et al., 2021), así como

las uvas de coloración oscura que es propia de la variedad *Cabernet Sauvignon* son las más ricas en flavonoides que las blancas, aunque su concentración dependerá en gran medida del cultivo, prácticas del viñedo, el suelo y el clima donde fueron producidos (Brillante et al., 2015), así como del proceso de fermentación, ya que una prolongada fermentación podría reducir la disponibilidad de los flavonoides (Adetuyi & Ibrahim, 2014).

Las antocianinas totales en harinas crudas fluctuaron entre 1,61 a 5,75 mg cianidina-3-glucósido/100 g (CS-SkF-Raw2 y CS-SkF-Raw4, respectivamente). La tendencia del contenido de antocianinas fue igual a los polifenoles totales, verificándose la contribución por parte de la piel de uva fermentada según las proporciones definidas en las formulaciones (tabla 10). Es decir, que al incrementarse el contenido en piel de uva, se incrementa el contenido en antocianinas totales en las harinas analizadas, de modo que las harinas con el 5% de piel de uva fermentada presentaron concentraciones de 1,61 y 1,69 mg cianidina-3-glucósido/100 g, mientras que las harinas formuladas con el 20% de piel de uva fermentada incrementaron su contenido proporcionalmente (5,42 y 5,75 mg cianidina-3-glucósido/100 g), ya que la piel de uva por su naturaleza esta provista por antocianinas, visibles por su coloración, muy esenciales en los atributos sensoriales del vino y diversas propiedades biológicas (Costa et al., 2014).

### **Efecto de la extrusión**

En relación con el efecto de la extrusión sobre estos compuestos. Las cantidades de fenoles totales en las harinas extruidas fluctuaron entre 368,04 a 767,72 mg GAE/100g, para CS-SkF-Ext1 y CS-SkF-Ext4, respectivamente. El proceso de extrusión disminuyó significativamente el contenido de fenoles totales en la mayoría de las formulaciones CS-SkF-Ext1 (12%), CS-SkF-Ext3 (12,1%) y CS-SkF-Ext4 (2,4%) con respecto a sus pares crudas, en tanto en la formulación CS-SkF-Ext2 (formulada con 5% de piel de uva

fermentada y 20% de Hylon® V) y la muestra control no presentaron variación significativa por efecto de la extrusión. Las disminuciones observadas pueden estar asociadas a las altas temperaturas alcanzadas durante la extrusión (160°C) y la velocidad de corte durante el proceso, acelerando la degradación y los cambios estructurales de los ácidos fenólicos (Leonard, Zhang, Ying, Xiong, & Fang, 2021). La disminución de los fenoles totales por efecto de la extrusión, también han sido verificado por otros estudios realizados en harinas de legumbres, donde las altas temperaturas de cocción por extrusión promovieron la disminución en el contenido y la estabilidad de estos compuestos (Blandino et al., 2023; Ciudad-Mulero et al., 2018). Por el contrario, otros autores publicaron un mayor contenido de fenoles totales en extruidos de cereales enriquecidos con pulpa de manzana, debido a la liberación en condiciones de alta temperatura y baja humedad de los polifenoles que están unidos a la matriz de fibra (Leonard et al., 2021), al igual que otro estudio de una mezcla de subproductos de arándanos y almidón en el que su contenido de fenoles no se vio afectado significativamente por la extrusión (Schmid et al., 2022). En consecuencia, el efecto de la extrusión sobre el contenido de fenoles totales no sigue una tendencia constante, puesto que existen muchas variables en consideración, como el tipo de compuestos fenólicos, la diferencia de la naturaleza intrínseca de las materias primas y las condiciones del proceso de extrusión junto a las características de la matriz alimentaria (Brennan, Brennan, Derbyshire, & Tiwari, 2011; Leonard et al., 2021).

El contenido de flavonoides totales tras el proceso de extrusión varió de 34,07 a 57,59 mg EQ/100g (CS-SkExt2 y CS-SkExt4, respectivamente), connotándose una disminución significativa de 16,6 y 29,7% respecto a sus pares crudas. Existe diferencia significativa en el contenido de flavonoides totales entre todas las formulaciones crudas y extruidas. Otros estudios relativos al efecto del proceso de extrusión sobre los flavonoides en harinas

de lentejas, sostuvieron una disminución de hasta un 87%, aunque también se han mencionado que el caso de subproductos de manzana variedad Pink lady incrementaron desde 24 a 33 % (Šárka, Sluková, & Henke, 2021).

El efecto de la extrusión sobre las antocianinas totales indujo una importante pérdida (88,2 a 90,8%) en el contenido total de estos compuestos, tal y como también observaron otros autores, donde mencionaron que las antocianinas se degradaban aproximadamente en un 75% en extruidos de subproductos de arándanos con almidón (Schmid et al., 2022). A pesar de ello, las muestras con mayor contenido en antocianinas totales fueron las formuladas con 5 y 20% de piel de uva. No observándose diferencias estadísticamente significativas entre ambas. La disminución en el contenido en antocianinas puede asociarse, al igual que ocurría para los polifenoles totales, a las altas temperaturas aplicadas durante la extrusión y a las altas presiones por las tensiones de cizallamiento, que pueden acelerar las reacciones químicas y las pérdidas de ingredientes funcionales (Hirth, Leiter, Beck, & Schuchmann, 2014). Por lo que se puede afirmar que una mayor proporción de subproductos de la uva podría incrementar la cantidad de antocianinas en el producto, tal como mencionan otros investigadores (Neder-Suárez et al., 2021).

**5.3. HARINAS (Maíz y Lenteja) CON INCORPORACIÓN DE SEMILLA DE UVA  
(Cabernet Sauvignon) FERMENTADA Y HYLON® V: FRACCIÓN  
HIDROCARBONADA Y COMPUESTOS FENÓLICOS**

Una vez discutido los resultados correspondientes a las harinas de partida (maíz y lenteja), tanto crudas como extruidas, el presente apartado se refiere a los resultados de las harinas formuladas con semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V, tanto crudas como extruidas, según se muestra en la tabla 23.

**Tabla 23.** Formulación de harinas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V (g/100g)

	<b>Codificación</b>	<b>Maíz y Lenteja %</b>	<b>Piel de uva Fermentada %</b>	<b>Almidón Hylon® V %</b>	<b>Sal %</b>	<b>Azúcar %</b>	<b>Total (%)</b>
Cruda	<b>CS-SdF-Raw1</b>	83,75	5,00	5,00	1,25	5,00	100,00
Extruida	<b>CS-SdF-Ext1</b>						
Cruda	<b>CS-SdF-Raw2</b>	68,75	5,00	20,00	1,25	5,00	100,00
Extruida	<b>CS-SdF-Ext2</b>						
Cruda	<b>CS-SdF-Raw3</b>	68,75	20,00	5,00	1,25	5,00	100,00
Extruida	<b>CS-SdF-Ext3</b>						
Cruda	<b>CS-SdF-Raw4</b>	53,75	20,00	20,00	1,25	5,00	100,00
Extruida	<b>CS-SdF-Ext4</b>						

A continuación, se muestran y discuten los resultados obtenidos del análisis de distintos componentes en las formulaciones descritas anteriormente. Para todos los parámetros primero se discute el efecto de la formulación comparando las muestras control y las distintas formulaciones (resultados del estudio estadístico en letra minúscula) y posteriormente el efecto de la extrusión para lo que se compara cada formulación cruda y extruida (resultados del estudio estadístico en letra mayúscula).

5.3.1. Fibra dietética

El contenido de la fibra dietética (total, insoluble y soluble) de las muestras de harinas crudas y extruidas con incorporación de semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada se muestra en la tabla 24.

**Tabla 24.** Contenido de Fibra Insoluble (FI), Soluble (FS) y Total (FT) en harinas de maíz y lenteja (70:30) incorporada con semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

Muestras	FI g/100g	FS g/100g	FT g/100g
<b>Formulaciones crudas</b>			
Control cruda	13,37 ± 0,54 <sup>aB</sup>	1,52 ± 0,08 <sup>aA</sup>	14,86 ± 0,57 <sup>aB</sup>
CS-SdF-Raw1	16,23 ± 1,07 <sup>bA</sup>	1,84 ± 0,16 <sup>aA</sup>	17,99 ± 1,53 <sup>bA</sup>
CS-SdF-Raw2	15,33 ± 1,05 <sup>bA</sup>	1,79 ± 0,29 <sup>aA</sup>	17,06 ± 1,54 <sup>bA</sup>
CS-SdF-Raw3	28,64 ± 1,48 <sup>cA</sup>	3,21 ± 0,24 <sup>bA</sup>	31,80 ± 1,31 <sup>cA</sup>
CS-SdF-Raw4	28,07 ± 0,57 <sup>cA</sup>	3,14 ± 0,19 <sup>bA</sup>	31,20 ± 0,84 <sup>cA</sup>
<b>Formulaciones extruidas</b>			
Control extruida	10,76 ± 0,56 <sup>aA</sup>	2,44 ± 0,29 <sup>aB</sup>	13,25 ± 0,64 <sup>aA</sup>
CS-SdF-Ext1	14,90 ± 0,60 <sup>cA</sup>	2,58 ± 0,18 <sup>aB</sup>	17,25 ± 0,51 <sup>bA</sup>
CS-SdF-Ext2	13,98 ± 0,40 <sup>bA</sup>	2,60 ± 0,17 <sup>aB</sup>	16,59 ± 0,30 <sup>bA</sup>
CS-SdF-Ext3	27,85 ± 0,23 <sup>dA</sup>	3,38 ± 0,22 <sup>bA</sup>	31,31 ± 0,03 <sup>cA</sup>
CS-SdF-Ext4	27,37 ± 0,45 <sup>dA</sup>	3,98 ± 0,36 <sup>cB</sup>	31,44 ± 0,24 <sup>cA</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar (n = 4). Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes (p<0,05); las letras minúsculas en superíndice significan diferencias entre todas las muestras de cada grupo analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras mayúsculas en superíndice significan diferencias debido al proceso de extrusión para la misma formulación.

**Efecto formulación.**

Las harinas crudas formuladas con semillas de uva fermentada y Hylon® V presentaron un contenido de FT entre 17,06 y 31,80 g/100g, correspondientes a las muestras, CS-SdF-Raw2 y CS-SkF-Raw3, respectivamente, siendo, la fracción mayoritaria la FI, con valores entre 15,33 a 28,64 g FI/100g en las muestras CS-SdF-Raw2 y CS-SdF-Raw3, respectivamente. Estas diferencias pueden ser debidas a los porcentajes de incorporación de semillas de uva (5 o 20%). La FS fue la fracción minoritaria, que alcanzaron valores de 1,79 a 3,21 g FS/100g en las muestras CS-SdF-Raw2 y CS-SdF-Raw3,

respectivamente. Si bien los contenidos de FS son inferiores a los de FI, los resultados siguen el mismo patrón mencionado anteriormente y justificado por el porcentaje de semilla de uva adicionada (tabla 24). Algunos autores mencionaron que las semillas de uvas contienen alrededor de 35,15 g FT/100g (Costa et al., 2019; Ma & Zhang, 2017), principalmente lignina y hemicelulosa (Prado et al., 2014).

El estudio estadístico aplicado permite establecer que el contenido de FT es diferente estadísticamente entre la harina control y las diferentes formulaciones, así mismo, hay diferencia estadística entre las harinas formuladas con el 5% (CS-SdF-Raw1 y CS-SdF-Raw2) y aquellas con un 20% de semilla de uva fermentada (CS-SdF-Raw3 y CS-SdF-Raw4) lo que deriva en mayor contenido de FT. Estas diferencias se ven reflejadas en la cantidad de la FI como fracción mayoritaria, dado que en la FS solo hay diferencia estadística entre la muestra control y formulaciones con 20% de semilla de uva fermentada, pero no, entre formulaciones con 5 % de semilla de uva fermentada.

En la tabla 25, se presentan la contribución de cada uno de los ingredientes que forman parte de las formulaciones al contenido de cada una de las fracciones de fibra (insoluble y soluble) y fibra total de las muestras de harinas crudas analizadas.

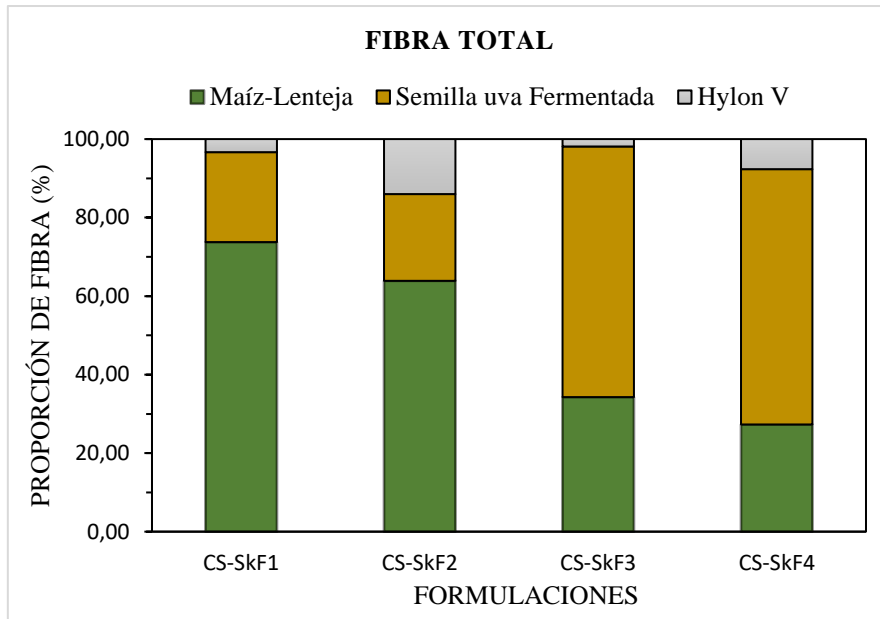
## Resultados y discusión

**Tabla 25.** Contribución (g/100g) de cada ingrediente al contenido de fibra dietética en harinas crudas de maíz y lenteja (70:30), incorporadas con semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

Código	Fibra analizada (valor medio)	Aporte Fibra de maíz y lenteja	Aporte Fibra de Semilla de uva *	Aporte Fibra de Hylon® V
<b>Fibra Total</b>				
Control cruda	14,86	14,86	0,00	0,00
CS-SdF-Raw1	17,99	13,27	4,12	0,60
CS-SdF-Raw2	17,06	10,90	3,77	2,39
CS-SdF-Raw3	31,80	10,90	20,30	0,60
CS-SdF-Raw4	31,20	8,52	20,29	2,39
<b>Fibra Insoluble</b>				
Control cruda	13,37	13,37	0,00	0,00
CS-SdF-Raw1	16,23	11,94	3,76	0,53
CS-SdF-Raw2	15,33	9,80	3,40	2,13
CS-SdF-Raw3	28,64	9,80	18,31	0,53
CS-SdF-Raw4	28,07	7,67	18,27	2,13
<b>Fibra Soluble</b>				
Control cruda	1,52	1,52	0,00	0,00
CS-SdF-Raw1	1,84	1,35	0,43	0,06
CS-SdF-Raw2	1,79	1,11	0,45	0,23
CS-SdF-Raw3	3,21	1,11	2,04	0,06
CS-SdF-Raw4	3,14	0,87	2,04	0,23

\*valores obtenidos por diferencia

El aporte de la fibra dietética de parte de los ingredientes en las distintas formulaciones crudas procedentes de maíz y lenteja fue proporcional al porcentaje de formulación de los distintos ingredientes (tabla 23). En la siguiente figura se muestra la contribución porcentual de cada uno de los ingredientes en la fibra total (FT) de las distintas formulaciones (figura 35).



**Figura 35.** Contribución porcentual de fibra total procedente de maíz y lenteja, semilla de uva fermentada y Hylon® V en harinas crudas

Como se observa, la contribución porcentual de la fibra dietética por parte de la mezcla maíz y lenteja en las formulaciones fue escalonada. La semilla de uva fermentada contribuyó en mayor porcentaje en las formulaciones con 20% de semilla de uva fermentada y la contribución porcentual por parte del Hylon® V es menor que los ingredientes mencionados según la proporción incorporada (5 y 20%). Por lo tanto, la cantidad de harina de partida y el porcentaje de semilla de uva fermentada adicionada, son los principales ingredientes responsables en el contenido de la fibra dietética en las muestras estudiadas (tabla 25).

### Efecto de la extrusión

No se observa un efecto significativo del proceso de extrusión (misma letra mayúscula) en el contenido de Fibra Total y Fibra Insoluble de las distintas formulaciones salvo en el caso de las muestras control comentadas en el capítulo anterior. La cantidad de la FT se encontró entre 16,59 y 31,44 g FT/100g correspondientes a las muestras CS-SdF-Ext2 y

CS-SdF-Ext4, respectivamente, y respecto a la FI como la fracción mayoritaria con un rango entre 13,98 y 27,85 g FI/100g correspondientes a las muestras CS-SdF-Ext2 y CS-SdF-Ext3, respectivamente. Por el contrario, el contenido de FS fue significativamente diferente entre la muestra control extruida, y las formulaciones extruidas, encontrándose valores entre 2,58 y 3,98 g FS/100g correspondientes a las muestras CS-SdF-Ext1 y CS-SdF-Ext4, respectivamente, presentó diferencia estadística con la mayoría de las formulaciones excepto en la comparativa de la formulación 3 (CS-SdF-Raw3/CS-SdF-Ext3).

### 5.3.2. Carbohidratos Disponibles Totales

Los resultados correspondientes al análisis de Carbohidratos Disponibles Totales (CDT), cuantificados por espectrofotometría como g de glucosa en 100g de muestra, en las muestras de harinas crudas y extruidas enriquecidas con semilla de uva fermentada (*Cabernet Sauvignon*), se presentan en la tabla 26.

**Tabla 26.** Carbohidratos disponibles totales (CDT) en harinas de maíz y lenteja (70:30), incorporadas con semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

Muestras	Carbohidratos Totales Disponibles g glucosa/100g
<b>Muestras crudas</b>	
Control cruda	67,10 ± 2,82 <sup>cA</sup>
CS-SdF-Raw1	62,20 ± 2,02 <sup>bA</sup>
CS-SdF-Raw2	63,47 ± 0,59 <sup>bA</sup>
CS-SdF-Raw3	52,57 ± 1,17 <sup>aA</sup>
CS-SdF-Raw4	55,40 ± 1,72 <sup>aA</sup>
<b>Muestras extruidas</b>	
Control extruida	71,46 ± 3,73 <sup>dB</sup>
CS-SdF-Ext1	63,36 ± 1,95 <sup>cA</sup>
CS-SdF-Ext2	68,18 ± 2,33 <sup>dB</sup>
CS-SdF-Ext3	52,91 ± 0,97 <sup>aA</sup>
CS-SdF-Ext4	57,54 ± 2,05 <sup>bA</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar. Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ); las letras minúsculas en superíndice significan diferencias entre todas las muestras de cada grupo analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras mayúsculas en superíndice significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

### **Efecto de la formulación**

La cuantificación de los CDT en harinas crudas fluctuó de 52,57 a 63,47 g glucosa/100g, correspondientes a las muestras CS-SdF-Raw3 y CS-SdF-Raw2, respectivamente. El contenido de los CDT es significativamente diferente entre la harina control y las distintas formulaciones. Por otro lado, se ha observado que las formulaciones CS-SdF-Raw1 y CS-SdF-Raw2 son significativamente diferentes que las formulaciones CS-SdF-Raw3 y CS-SdF-Raw4, debido a que las formulaciones con porcentajes cercanos de maíz y lenteja son equiparadas por una proporción del Hylon® V, ya que este cuenta con hasta 87,23 g glucosa/100g de carbohidratos totales. Por lo tanto, el aporte de CDT proviene principalmente de maíz y lenteja de manera que al disminuir su porcentaje en las distintas formulaciones el contenido de CDT no es compensado con la incorporación de la semilla de uva fermentada. Sin embargo, como se ha comentado en el apartado anterior, gran parte de los carbohidratos del Hylon® V, son del tipo de “almidón resistente”, rico en

amilosa, pero no son disponibles. Así mismo, la semilla de uva fermentada no contribuye en el incremento de CDT, probablemente, debido a que los polisacáridos ricos en arabinosa y galactosa, que se originan en las paredes celulares pectocelulósicas, ramnogalacturonanos y glucanos, son transformados por la levadura durante la fermentación alcohólica de los azúcares solubles en etanol (Canalejo et al., 2021).

En la tabla 27, se presentan los resultados correspondientes a la contribución de carbohidratos disponibles totales de cada uno de los ingredientes que forman parte de las distintas formulaciones de harinas formuladas con semilla de uva fermentada.

**Tabla 27.** Contribución (g/100g) de cada ingrediente al contenido de Carbohidratos disponibles totales (CDT) en harinas crudas de maíz y lenteja (70:30), incorporadas con semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentado y Hylon® V

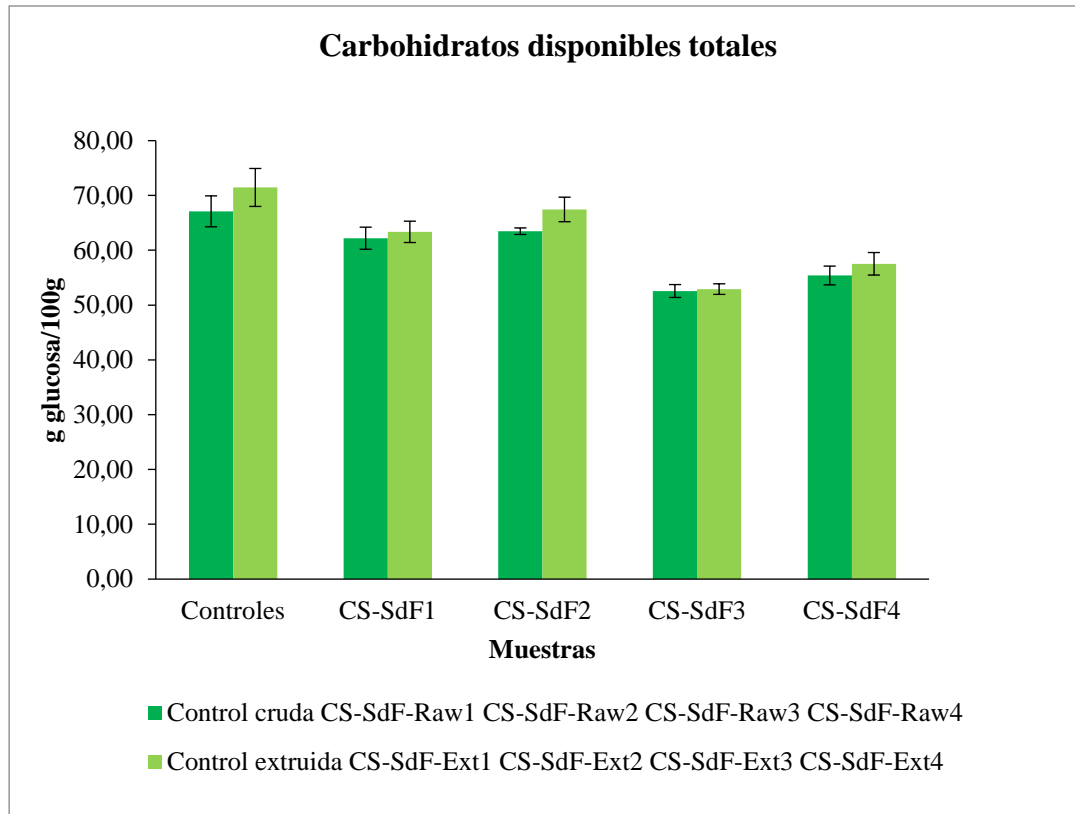
<b>Código</b>	<b>CDT (valor medio)</b>	<b>Aporte de CDT maíz y lenteja *</b>	<b>Aporte de CDT Hylon® V</b>
<b>Control cruda</b>	67,10	67,10	0,00
CS-SdF-Raw-1	62,20	57,84	4,36
CS-SdF-Raw-2	63,47	46,02	17,45
CS-SdF-Raw-3	52,57	48,21	4,36
CS-SdF-Raw-4	55,40	37,95	17,45

\*valores obtenidos por diferencia

El aporte de los CDT de parte de los ingredientes en las distintas formulaciones crudas fue principalmente procedente de maíz y lenteja y la variación en las formulaciones CS-SdF-Raw2 y CS-SdF-Raw4 estuvieron influenciadas por la cantidad del Hylon® V incorporado (tabla 27).

### **Efecto de la extrusión**

En la figura 36 se muestran las comparaciones del efecto de la extrusión de los  $\alpha$ -galactósidos totales entre las formulaciones crudas y extruidas.



**Figura 36.** Comparación de Carbohidratos disponibles totales en harinas crudas y extruidas incorporadas con semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

El efecto de la extrusión no desarrolló cambios estadísticamente significativos en la mayoría de las harinas extruidas respecto de sus pares crudas con excepción de la muestra CS-SdF-Ext2 (tabla 26) que incrementó hasta en 7,4% la cantidad de CDT. La cantidad de los CDT fluctuaron entre 52,91 y 68,18 g glucosa/100g, correspondientes a las muestras CS-SdF-Ext3 y CS-SdF-Ext2, respectivamente. Algunos autores (Prado et al., 2014) mencionaron que las semillas de uva aguardarían mínimas cantidades (0,7 g/100g) de sacáridos totales, las que se habrían reflejado levemente en las harinas extruidas por efecto de una hidrólisis a alta temperatura y presión durante el proceso de extrusión, por lo cual la contribución en CDT de parte de la semilla de uva no sería significativo. Siendo estas harinas enriquecidas con diferentes fuentes de fibra (semilla de uva fermentada y

Hylon® V) en decrecimiento de la harina maíz y lenteja (rica en almidón y por lo tanto en CDT).

### 5.3.3. Azúcares Solubles: Ciceritol y $\alpha$ -Galactósidos

El análisis de la fracción de azúcares solubles por cromatografía líquida HPLC-IR, permitió la identificación y cuantificación, en muestras de maíz y lenteja crudas y extruidas incorporadas con semilla de uva fermentada y Hylon® V, de: ciceritol y los  $\alpha$ -galactósidos rafinosa y estaquiosa cuyos resultados se presentan en la tabla 28.

**Tabla 28.** Ciceritol y  $\alpha$ -galactósidos en harinas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

Código	Ciceritol mg/100g	Rafinosa mg/100g	Estaquiosa mg/100g
<b>Formulaciones crudas</b>			
Control crudas	489,47 ± 12,01 <sup>dA</sup>	102,13 ± 11,45 <sup>cA</sup>	924,70 ± 32,42 <sup>dA</sup>
CS-SdF-Raw1	423,75 ± 2,05 <sup>cB</sup>	94,37 ± 3,26 <sup>cB</sup>	811,07 ± 4,79 <sup>cA</sup>
CS-SdF-Raw2	361,90 ± 3,25 <sup>bA</sup>	73,10 ± 1,70 <sup>bB</sup>	671,65 ± 5,96 <sup>bA</sup>
CS-SdF-Raw3	364,27 ± 8,03 <sup>bA</sup>	73,50 ± 14,14 <sup>bA</sup>	671,60 ± 6,11 <sup>bA</sup>
CS-SdF-Raw4	268,33 ± 7,82 <sup>aA</sup>	52,70 ± 2,03 <sup>aA</sup>	550,33 ± 2,46 <sup>aA</sup>
<b>Formulaciones extruidas</b>			
Control extruidas	547,60 ± 31,21 <sup>eB</sup>	117,55 ± 10,73 <sup>cA</sup>	1059,22 ± 99,03 <sup>dB</sup>
CS-SdF-Ext1	397,60 ± 4,73 <sup>cA</sup>	84,77 ± 1,07 <sup>bA</sup>	960,37 ± 9,17 <sup>cB</sup>
CS-SdF-Ext2	359,37 ± 13,12 <sup>bA</sup>	61,83 ± 2,50 <sup>aA</sup>	839,80 ± 5,70 <sup>bB</sup>
CS-SdF-Ext3	453,80 ± 1,92 <sup>dB</sup>	62,00 ± 2,86 <sup>aA</sup>	825,93 ± 13,01 <sup>bB</sup>
CS-SdF-Ext4	293,20 ± 7,77 <sup>aB</sup>	60,00 ± 1,41 <sup>aB</sup>	599,47 ± 7,78 <sup>aB</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar (n = 3). Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes (p<0,05); Las letras en superíndice significan diferencias entre todas las muestras analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras en superíndice en mayúsculas significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

### Efecto de la formulación

La cantidad de oligosacáridos en todas las formulaciones de harinas crudas como extruidas mostró el siguiente patrón: estaquiosa > ciceritol > rafinosa (tabla 28). El contenido de ciceritol osciló entre 268,33 mg/100g y 423,75 mg/100g (CS-SdF-Raw4 y CS-SdF-Raw1, respectivamente). En tanto la mayor concentración entre los componentes

de los  $\alpha$ -galactósidos como la rafinosa es de 94,37 g/100g y la estaquiosa de 811,07 mg/100g. Se puede observar que, en todos estos azúcares solubles detectados, la mayor concentración de cada uno de ellos corresponde a la muestra CS-SdF-Raw1 (formulada con 83,75% maíz y lenteja, 5% semilla de uva fermentada y 5% Hylon® V), lo que evidencia una contribución mayoritaria generada por la mezcla maíz y lenteja, donde el comportamiento de los  $\alpha$ -galactósidos totales referidas en la figura 37 ratifican esta afirmación. Por otro lado, estos resultados se reflejan a lo señalado por otros autores (Ciudad-Mulero et al., 2020; Morales et al., 2015), donde refirieron que el ciceritol, la rafinosa y la estaquiosa son oligosacáridos frecuentes en formulaciones con lenteja, por lo que se puede predecir que, a mayor proporción de maíz y lenteja en las formulaciones, mayor concentración de estos oligosacáridos.

Según el análisis estadístico, se ha establecido que el contenido de la muestra control fue significativamente diferente del resto de formulaciones tanto con el contenido de ciceritol y estaquiosa, en cambio con la rafinosa, esta diferencia estadística se observó en todas las formulaciones excepto con la muestra CS-SdF-Raw1. Por otro lado, se ha observado tanto en el ciceritol, como para los  $\alpha$ -galactósidos, que las formulaciones con 68,75% de maíz y lenteja (CS-SdF-Raw2 y CS-SdF-Raw3) independientemente de los otros ingredientes conformantes, los resultados fueron estadísticamente similares y significativamente diferentes con las otras dos formulaciones (CS-SdF-Raw1 y CS-SdF-Raw4). Estos comportamientos condicen que el aporte de los oligosacáridos es exclusivamente de la lenteja.

### **Efecto de la extrusión**

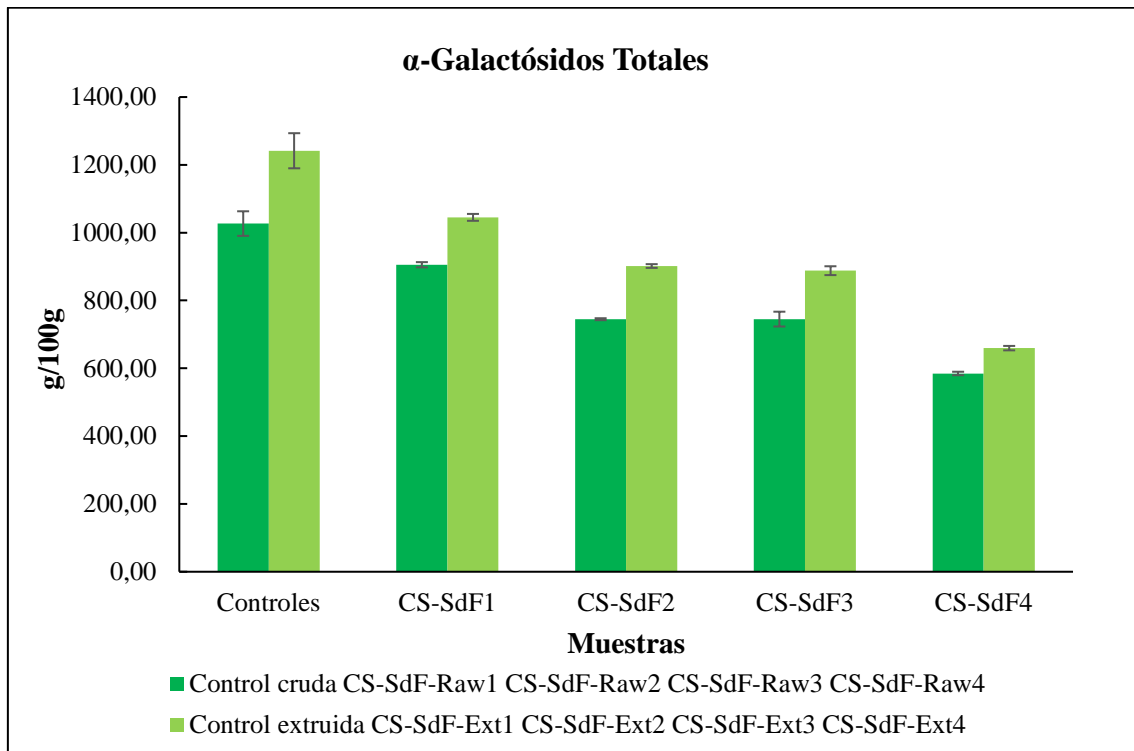
Podemos mencionar que el efecto de la extrusión no afectó de igual manera el ciceritol y los  $\alpha$ -galactósidos, se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) respecto al ciceritol en la mayoría de las muestras extruidas, comparados con sus pares crudas, donde las

muestras CS-SdExt3 y CS-SdExt4 mostraron un incremento significativo respecto a sus pares crudas. En cambio, las harinas CS-SdExt1 y CS-SdExt2 se observó una ligera disminución en la cantidad del ciceritol (tabla 28). Probablemente se debe a un efecto, donde el proceso de extrusión al someter la muestra a estrés térmico y mecánico, producen reacciones de hidrólisis que conducirían a un incremento en el contenido de algunos azúcares (Morales, Berrios, et al., 2015; Pedrosa et al., 2021) y la disminución puede ser debido al procesamiento hidrotérmico, donde resulta la formación de disacáridos simples y monosacáridos mientras que la diferencia en la disociación individual podría atribuirse a la variación en su capacidad de hidratación y velocidad de difusión (Vashishth et al., 2021).

Entre tanto, los  $\alpha$ -galactósidos representados por la rafinosa y estaquiosa, también tuvieron modificaciones debidas al proceso de extrusión, donde la rafinosa disminuyó por efecto de la extrusión en la mayoría de las formulaciones de 10,2 a 16,6% (CS-SdF-Raw1/CS-SdF-Ext1 y CS-SdF-Raw3/CS-SdF-Ext3), con excepción de la muestra CS-SdF-Ext4 que incrementó la cantidad de rafinosa en 13,9%. Por su parte la estaquiosa, incrementó significativamente ( $p < 0,05$ ) su contenido en todas las formulaciones, con incrementos desde 8,9 a 25,0% correspondientes a las muestras CS-SdF-Ext4 y CS-SdF-Ext2, respectivamente. La disminución o el incremento variable de los oligosacáridos por efecto de la extrusión es controvertido, sin embargo, podría deberse a varios factores, como la limitada fluidez de la biomasa que se produciría la presencia de material lignocelulósico de la semilla de uva fermentada (Imperio et al., 2021), en el que el material gelificante aportado por el Hylon® V (con el fin de mejorar la elasticidad de la suspensión de la biomasa) podría finalmente reducir el esfuerzo cortante efectivo transmitido al material y consecuentemente una reducción en la obtención de azúcares (Duque, Manzanares, & Ballesteros, 2017). Por otro lado también, los polímeros de

almidón sufren degradación durante la extrusión (Ye et al., 2018), lo que promovería el fenómeno de reaglomeración durante la extrusión para el pretratamiento de la biomasa lignocelulósica a altas temperaturas que reducen los rendimientos de azúcar (Gu, Wolcott, & Ganjyal, 2020).

En la figura 37 se muestran las comparaciones del efecto de la extrusión de los  $\alpha$ -galactósidos totales entre las formulaciones crudas y extruidas.



**Figura 37.** Comparación  $\alpha$ -Galactósidos Totales en harinas crudas y extruidas con incorporación de semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

El contenido  $\alpha$ -galactósidos totales, en harinas extruidas, se manifestó en función del mayor constituyente (estaquiosa) en el patrón de compuestos prebióticos en estudio. De acuerdo con la figura 37, se observa un incremento significativo en todas las formulaciones. Como se ha mencionado anteriormente, las variaciones por efecto de la extrusión, son debidas al procesamiento hidrotérmico, donde resulta la formación de

disacáridos simples y monosacáridos mientras que la diferencia en la disociación individual podría atribuirse a la variación en su capacidad de hidratación y velocidad de difusión (Vashishth et al., 2021).

#### 5.3.4. Arabinosilanos

Los resultados correspondientes al contenido de arabinosilanos (extractables y totales) cuantificados por espectrofotometría, sobre muestras de harinas crudas y extruidas con incorporación de semilla de uva fermentada se presentan en la tabla 29.

**Tabla 29.** Arabinosilanos extractables y totales en harinas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

Muestras	Extractables g/100g	Totales g/100g
<b>Formulaciones crudas</b>		
Control cruda	0,93 ± 0,05 <sup>cA</sup>	5,14 ± 0,25 <sup>bA</sup>
CS-SdF-Raw1	0,85 ± 0,04 <sup>cA</sup>	5,22 ± 0,13 <sup>bA</sup>
CS-SdF-Raw2	0,69 ± 0,03 <sup>bA</sup>	7,44 ± 0,21 <sup>dA</sup>
CS-SdF-Raw3	0,68 ± 0,08 <sup>bA</sup>	4,48 ± 0,24 <sup>aA</sup>
CS-SdF-Raw4	0,53 ± 0,04 <sup>aA</sup>	6,66 ± 0,42 <sup>cA</sup>
<b>Formulaciones extruidas</b>		
Control extruida	1,60 ± 0,21 <sup>cB</sup>	6,64 ± 0,43 <sup>aB</sup>
CS-SdF-Ext1	1,37 ± 0,05 <sup>bcB</sup>	6,72 ± 0,66 <sup>aB</sup>
CS-SdF-Ext2	1,18 ± 0,06 <sup>abB</sup>	9,23 ± 1,20 <sup>bB</sup>
CS-SdF-Ext3	1,19 ± 0,14 <sup>abB</sup>	5,93 ± 0,69 <sup>aB</sup>
CS-SdF-Ext4	0,93 ± 0,03 <sup>aB</sup>	8,87 ± 0,19 <sup>bB</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar (n = 4). Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes (p<0,05); las letras minúsculas en superíndice significan diferencias entre todas las muestras de cada grupo analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras mayúsculas en superíndice significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

### Efecto de la formulación

El contenido de arabinosilanos totales resultaron muy superiores respecto a los arabinosilanos extractables, las cuales variaron entre 4,48 a 7,44 g/100g, correspondientes a las muestras CS-SdF-Raw3 (68,75% de maíz y lenteja, 20% de semilla de uva fermentada y 5% de Hylon® V) y CS-SdF-Raw2 (68,75% de maíz-lenteja, 5% de semilla de uva fermentada y 20% de Hylon® V), respectivamente. El contenido de los arabinosilanos extractables en harinas crudas osciló entre 0,53 a 0,85 g/100g, correspondientes a las muestras CS-SdF-Raw4 (53,75 % de maíz-lenteja, 20 % de semilla de uva fermentada y 20% de Hylon® V) y CS-SdF-Raw1 (83,75% de maíz-lenteja, 5% de semilla de uva fermentada y 5% de Hylon® V), respectivamente (tabla 29).

El análisis estadístico, estableció que no se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre la muestra control cruda y la muestra CS-SdF-Raw1 en los arabinosilanos totales y extractables, pero fueron significativamente diferentes con el resto de las formulaciones en ambas fracciones. Si bien hay una diferencia significativa entre las distintas formulaciones para los arabinosilanos totales, denotan que, las formulaciones con mayor cantidad de Hylon® V (20%), elevaron el contenido de este compuesto y fueron menores en las harinas formuladas con el 5% de Hylon® V, debido al contenido de hasta 19,66 g arabinosilano/100g por parte del Hylon® V. En cambio, para los arabinosilanos extractables, las formulaciones con 68,75% de maíz y lenteja fueron significativamente similares que los formulados con 83,75% y 53,75% de maíz y lenteja. Donde la mayor cantidad de arabinosilanos extractables correspondió a las formulaciones que contenían una mayor proporción de la mezcla maíz y lenteja, demostrándose que la contribución de los arabinosilanos extractables (solubles en agua) procederían concretamente de los granos de lentejas (Ciudad-Mulero et al., 2018), pero también se han encontrado estudios (Zannini et al., 2022), donde se señala que el maíz

## Resultados y discusión

cuenta con una estructura muy ramificada con un esqueleto de xilosa, ya que los arabinosilanos solubles en agua suelen estar muy ramificados, por lo cual el maíz también aportaría la fracción de los arabinosilanos extractables.

En la tabla 30, se muestran los resultados correspondientes a la contribución de cada uno de los ingredientes de la formulación en el contenido de cada una de las fracciones de arabinosilanos (extractables y totales) de las muestras de harinas crudas analizadas.

**Tabla 30.** Contribución (g/100g) de cada ingrediente al contenido de Arabinosilanos en harinas crudas de maíz y lenteja (70:30), incorporadas con semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon®V

Código	AX (valor medio)	Aporte de AX maíz y lenteja *	Aporte de AX Hylon® V
<b>Arabinosilanos Totales</b>			
Control crudas	4,78	4,78	0,00
CS-SdF-Raw1	5,22	4,24	0,98
CS-SdF-Raw2	7,44	3,51	3,93
CS-SdF-Raw3	4,48	3,50	0,98
CS-SdF-Raw4	6,66	2,73	3,93
<b>Arabinosilanos Extractables</b>			
Control crudas	0,93	0,930	0,000
CS-SdF-Raw1	0,85	0,848	0,002
CS-SdF-Raw2	0,69	0,682	0,008
CS-SdF-Raw3	0,68	0,678	0,002
CS-SdF-Raw4	0,53	0,522	0,008

\*valores obtenidos por diferencia

De acuerdo a la contribución de los ingredientes en la cantidad de los arabinosilanos de la tabla 30, se observa que el maíz y lenteja es la fuente de los arabinosilanos solubles y en poca proporción de parte del almidón Hylon® V (0,04 g/100g), así mismo, las referencias bibliográficas han mencionado que los arabinosilanos son procedentes de los granos de cereales (Demuth et al., 2020; Zannini et al., 2022) y legumbres (Camara et al., 2017; Ciudad-Mulero et al., 2018), por lo cual las semillas de uvas no contribuiría en las cantidades de los arabinosilanos.

### Efecto de la extrusión

El proceso de extrusión incrementó significativamente ( $p < 0,05$ ) los arabinosilanos extractables y totales en todas las muestras extruidas pares de las muestras crudas. Estos resultados, son coherentes con otros estudios, donde experimentaron el incremento de los arabinosilanos por efecto de la extrusión, en formulaciones de trigo y centeno (Demuth et al., 2020), formulaciones con lenteja (Ciudad-Mulero et al., 2018). Este estudio, determinó que los arabinosilanos extractables en muestras extruidas variaron desde 0,93 a 1,37 g/100g, correspondientes a las muestras CS-SdF-Ext4 (53,75% de maíz y lenteja, 20% semilla de uva fermentada más 20 % Hylon® V) y CS-SdF-Ext1 (83,75% maíz y lenteja, 5% semilla de uva fermentada más 5% de Hylon® V). Por su parte, los arabinosilanos totales, también se incrementaron, con una variación de 5,93 a 9,23 g/100g correspondientes a las harinas CS-SdF-Ext3 (68,75% maíz y lenteja, 20% semilla de uva fermentada más 5% Hylon® V) y CS-SdF-Ext2 (68,75% maíz-lenteja, 5% semilla de uva fermentada más 20% Hylon® V). El incremento de los arabinosilanos extractables, podría promoverse debido a la hidrólisis que incrementa la solubilidad tras proceso tecnológico (Nishitsuji, Whitney, Nakamura, Hayakawa, & Simsek, 2022), ya que el efecto de la extrusión, incrementaría la porosidad celular que es promovida por la alta temperatura y cizallamiento mecánico que provoca la extractabilidad de los arabinosilanos (Fadel et al., 2018). Como se había mencionado en el apartado de harinas con piel de uva, las condiciones de extrusión como la velocidad del tornillo implican mayor cizallamiento, que incrementaría el rendimiento de los arabinosilanos de bajo peso molecular que han demostrado tener propiedades inmunomoduladoras (Demuth et al., 2020; Fadel et al., 2018).

**5.3.5. Almidón Total (amilosa y amilopectina) y Almidón Resistente**

Los contenidos de almidón total (amilosa y amilopectina) y almidón resistente cuantificados por espectrofotometría en muestras de harinas crudas y extruidas de maíz y lenteja con incorporación de semilla de uva fermentada y Hylon® V se presentan en la tabla 31.

**Tabla 31.** Almidón Total y Almidón Resistente en harinas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

<b>Muestra</b>	<b>Almidón Total g/100g</b>	<b>Almidón Resistente g/100g</b>
<b>Formulaciones crudas</b>		
Control crudas	54,36 ± 2,55 <sup>dA</sup>	3,18 ± 0,17 <sup>cB</sup>
CS-SdF-Raw1	51,43 ± 0,66 <sup>cA</sup>	2,67 ± 0,26 <sup>bB</sup>
CS-SdF-Raw2	55,11 ± 0,81 <sup>dA</sup>	5,94 ± 0,08 <sup>dB</sup>
CS-SdF-Raw3	42,55 ± 2,27 <sup>aA</sup>	2,02 ± 0,29 <sup>aB</sup>
CS-SdF-Raw4	46,20 ± 1,17 <sup>bA</sup>	5,88 ± 0,82 <sup>dB</sup>
<b>Formulaciones extruidas</b>		
Control extruidas	54,65 ± 2,72 <sup>cA</sup>	0,48 ± 0,06 <sup>aA</sup>
CS-SdF-Ext1	50,32 ± 1,90 <sup>bA</sup>	1,22 ± 0,29 <sup>bA</sup>
CS-SdF-Ext2	56,21 ± 1,43 <sup>cA</sup>	1,19 ± 0,44 <sup>bA</sup>
CS-SdF-Ext3	41,83 ± 2,01 <sup>aA</sup>	1,11 ± 0,40 <sup>bA</sup>
CS-SdF-Ext4	47,45 ± 0,36 <sup>bA</sup>	2,70 ± 0,13 <sup>cA</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar (n = 4). Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes (p<0,05); las letras minúsculas en superíndice significan diferencias entre todas las muestras de cada grupo analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras mayúsculas en superíndice significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

En la tabla 32 se presentan las proporciones de amilosa y amilopectina porcentual, constituyentes del almidón. La amilosa se determinó por espectrofotometría y la cantidad de la amilopectina se determinó por la diferencia.

## Resultados y discusión

**Tabla 32.** Proporción de Amilosa y Amilopectina en la fracción de almidón de harinas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

Muestra	Amilosa %	Amilopectina <sup>a</sup> %
<b>Formulaciones crudas</b>		
Control cruda	22,42 ± 2,17 <sup>cA</sup>	77,58 ± 2,17 <sup>cA</sup>
CS-SdF-Raw1	18,36 ± 0,47 <sup>bA</sup>	81,64 ± 0,47 <sup>dB</sup>
CS-SdF-Raw2	25,63 ± 0,25 <sup>dA</sup>	74,37 ± 0,25 <sup>bB</sup>
CS-SdF-Raw3	15,15 ± 0,17 <sup>aA</sup>	84,85 ± 0,17 <sup>eB</sup>
CS-SdF-Raw4	27,40 ± 0,69 <sup>eB</sup>	72,60 ± 0,69 <sup>aA</sup>
<b>Formulaciones extruidas</b>		
Control extruida	20,32 ± 1,39 <sup>aA</sup>	79,68 ± 1,39 <sup>cA</sup>
CS-SdF-Ext1	20,65 ± 0,93 <sup>aB</sup>	79,35 ± 0,93 <sup>cA</sup>
CS-SdF-Ext2	26,35 ± 0,38 <sup>cB</sup>	73,65 ± 0,38 <sup>aA</sup>
CS-SdF-Ext3	22,75 ± 0,17 <sup>bB</sup>	77,25 ± 0,17 <sup>bA</sup>
CS-SdF-Ext4	20,15 ± 0,41 <sup>aA</sup>	79,85 ± 0,41 <sup>cB</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar (n = 3). Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes (p<0,05); las letras minúsculas en superíndice significan diferencias entre todas las muestras de cada grupo analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras mayúsculas en superíndice significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

<sup>a</sup> La amilopectina se calculó por diferencia (100-amilosa).

### Efecto de la formulación

En la tabla 32, se muestran los resultados correspondientes a la contribución de cada uno de los ingredientes de la formulación al contenido de almidón total y almidón resistente de las muestras de harinas crudas analizadas.

## Resultados y discusión

**Tabla 33.** Contribución de cada ingrediente al contenido de Almidón total y Almidón resistente en harinas crudas de maíz y lenteja (70:30), incorporadas con semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

Código	Valor medio	Aporte maíz y lenteja g/100g *	Aporte Hylon® V g/100g
<b>Almidón Total</b>			
Control crudas	54,10	54,10	0,00
CS-SdF-Raw1	51,43	47,14	4,29
CS-SdF-Raw2	55,11	37,96	17,15
CS-SdF-Raw3	42,55	38,26	4,29
CS-SdF-Raw4	46,20	29,05	17,15
<b>Almidón Resistente</b>			
Control crudas	3,22	3,22	0,00
CS-SdF-Raw1	2,67	1,34	1,33
CS-SdF-Raw2	5,94	0,64	5,30
CS-SdF-Raw3	2,02	0,69	1,33
CS-SdF-Raw4	5,88	0,58	5,30

\*valores obtenidos por diferencia

El contenido de almidón total y almidón resistente en las muestras crudas varió entre 42,55 a 55,11 g/100g de almidón total y de 2,02 a 5,94 g/100g de almidón resistente, en ambos casos, correspondientes a las muestras CS-SdF-Raw3 (68,75% maíz y lenteja, 20% semilla de uva fermentada y 5% Hylon® V) y CS-SdF-Raw2 (68,75 % maíz-lenteja, 5% semilla de uva fermentada y 20% Hylon® V), respectivamente. La distribución porcentual del almidón total varió en 15,15 y 27,40% de amilosa y entre 72,60 y 84,85% de amilopectina. Estos resultados, ponen en evidencia que, las muestras con mayor proporción de Hylon® V (20%) en las formulaciones tienden a un mayor contenido de almidón total y almidón resistente, debido al Hylon® V que contiene 85,75 g/100g de almidón total y de 26,51% de almidón resistente (ensayos propios), por lo cual, las fuentes de almidón total y de almidón resistente son la mezcla maíz y lenteja más el Hylon® V, mientras que la semilla de uva fermentada no contribuye en la cantidad de almidón total ni almidón resistente.

El análisis estadístico estableció que, para el almidón total, la muestra control cruda es significativamente diferente entre las diferentes formulaciones con excepción de la muestra CS-SdF-Raw2. En tanto, para el almidón resistente, la muestra control cruda fue estadísticamente diferente entre las demás formulaciones con excepción a la muestra CS-SdF-Raw1. Se ha observado diferencia estadística entre las mismas formulaciones para el almidón total y las formulaciones con 5% de Hylon® V son estadísticamente diferentes con las formuladas con 20% de Hylon® V para el almidón resistente. Estos análisis dan cuenta nuevamente, que la distribución de amilosa y amilopectina en las formulaciones son procedentes del maíz y lenteja más el Hylon® V, que contiene 55% de amilosa según ficha técnica (INGREDION, 2020). Todas las formulaciones presentaron mayor concentración de amilopectina que amilosa, en una proporción de 1:3 y 1:4. Las muestras que se incluyen con el 20% de Hylon® V independientemente del resto de ingredientes se destacan con mayores cantidades de amilosa (CS-SdF-Raw2 y CS-SdF-Raw4), mientras que las muestras que se incluyen con el 5% de Hylon® V alcanzaron mayores cantidades de amilopectina (CS-SdF-Raw1 y CS-SdF-Raw3) (tabla 32).

### **Efecto de la extrusión**

En relación con el efecto de la extrusión sobre el almidón total, no hay diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) entre las muestras crudas y extruidas en todas las formulaciones. La cantidad de almidón total en harinas extruidas varió entre 41,83 y 56,21 g/100g correspondientes a las muestras CS-SkF-Ext3 (68,75 % de mezcla maíz y lenteja, 20% semilla de uva fermentada y 5% de Hylon® V) y CS-SkF-Ext2 (68,75% de mezcla maíz y lenteja, 5% semilla de uva fermentada y 20% de Hylon® V), respectivamente, donde claramente el Hylon® V (85,75% de almidón total) y la proporción de maíz y lenteja mantienen el equilibrio del almidón total para el proceso de extrusión, sin embargo, una

mayor proporción de semilla de uva fermentada afectaría el equilibrio del almidón total. Frente a estas experiencias, otros autores (Arribas et al., 2019b) mencionaron que la disminución del almidón total se debe a la incorporación de algunas legumbres como frijol y frutos de algarroba, por ello, la importancia del equilibrio necesario en la composición de almidón total a fin de conllevar un proceso de extrusión fiable y tecnológicamente factible, tal como afirmaran otros estudios (Ek et al., 2021; Moscicki et al., 2013). Las variaciones del almidón total se deben a que el Hylon® V contribuye amilosa en 56,93% (ensayo propio) y amilopectina disminuye en 43,07% (ensayo propio), ya que la incorporación de semilla de uva fermentada supone una influencia negativa sobre la relación amilosa:amilopectina, que es condicionante tecnológico para el desarrollo satisfactorio del proceso de extrusión, por lo cual, el incremento de la amilosa es debido al alto contenido de amilosa del Hylon® V (hasta 55%) que otros autores también mencionaron (Błaszczak et al., 2007; Khachatryan et al., 2014). Se han visto estudios (Arribas et al., 2019b; Ek et al., 2021) con una relación óptima de amilosa: amilopectina de 1:3 a 1:4. Las harinas objeto de estudio, formuladas con maíz y lenteja, semilla de uva fermentada más Hylon® V, poseen propiedades adecuadas desde el punto de vista tecnológico, ya que la relación amilosa: amilopectina está entre 1:3 a 1:4. La amilosa en estas proporciones, contribuye en la capacidad de interactuar con moléculas hidrofóbicas formando complejos de inclusión, muy propicios para la fibra dietética y como sistemas de suministro de compuestos bioactivos (Di Marco et al., 2022).

El contenido de almidón resistente en las muestras extruidas varió de 1,11 y 2,70 g/100g correspondientes a las formulaciones CS-SdF-Ext3 y CS-SdF-Ext4, respectivamente. Connotándose una disminución significativa ( $p < 0,05$ ) de 45,0% (CS-SdF-Ext3) y 80,0% (CS-SdF-Ex2) después de la extrusión, comparados con sus pares crudas (tabla 31). Estos resultados, concuerdan con otros estudios en muestras con lentejas (Blandino et al., 2023)

donde, la extrusión-cocción provoca una desintegración total de la estructura del almidón, debido a las altas fuerzas de cizallamiento y altas temperaturas, promoviendo así la gelatinización casi completa del almidón, lo que es perjudicial para la estabilidad del almidón resistente. Así mismo, estos resultados se justifican por la presencia de Hylon® V rico en amilosa, por el cual se han mencionado que la amilosa está asociada con el aumento del almidón resistente (Li, et al., 2023).

**5.3.6. Compuestos fenólicos (Fenoles, flavonoides y antocianinas totales)**

Los resultados de los compuestos fenólicos (fenoles totales, flavonoides y antocianinas totales) en las muestras de harinas crudas y extruidas a partir de maíz y lenteja enriquecidas con semilla de uva fermentada y Hylon® V, se presentan en la tabla 34.

**Tabla 34.** Fenoles, Flavonoides y Antocianinas totales en harinas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

Muestras	Fenoles Totales (mg GAE/100g)	Flavonoides totales (mg EQ /100g)	Antocianinas Totales (mg cianidina-3-glucósido/100 g)
<b>Formulaciones crudas</b>			
Control cruda	307,30 ± 11,60 <sup>aB</sup>	49,28 ± 2,08 <sup>bB</sup>	0,16 ± 0,01 <sup>aB</sup>
CS-SdF-Raw1	424,38 ± 4,18 <sup>cB</sup>	51,00 ± 1,51 <sup>bB</sup>	0,33 ± 0,01 <sup>bB</sup>
CS-SdF-Raw2	375,85 ± 15,07 <sup>bB</sup>	43,78 ± 3,91 <sup>aB</sup>	0,30 ± 0,02 <sup>bB</sup>
CS-SdF-Raw3	950,51 ± 15,88 <sup>eB</sup>	57,74 ± 1,23 <sup>cB</sup>	1,06 ± 0,08 <sup>cB</sup>
CS-SdF-Raw4	899,38 ± 31,05 <sup>dB</sup>	50,17 ± 3,50 <sup>bB</sup>	1,03 ± 0,04 <sup>cB</sup>
<b>Formulaciones extruidas</b>			
Control extruida	290,13 ± 13,50 <sup>aA</sup>	40,43 ± 2,88 <sup>bcA</sup>	0,06 ± 0,01 <sup>aA</sup>
CS-SdF-Ext1	357,17 ± 2,63 <sup>bA</sup>	38,34 ± 1,64 <sup>bA</sup>	0,08 ± 0,01 <sup>aA</sup>
CS-SdF-Ext2	340,29 ± 6,54 <sup>bA</sup>	31,83 ± 2,51 <sup>aA</sup>	0,08 ± 0,01 <sup>aA</sup>
CS-SdF-Ext3	732,36 ± 29,05 <sup>cA</sup>	44,61 ± 0,50 <sup>cA</sup>	0,48 ± 0,03 <sup>bA</sup>
CS-SdF-Ext4	696,28 ± 38,31 <sup>cA</sup>	41,42 ± 1,00 <sup>bcA</sup>	0,59 ± 0,03 <sup>cA</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar (n = 3). Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes (p<0,05); las letras minúsculas en superíndice significan diferencias entre todas las muestras de cada grupo analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras mayúsculas en superíndice significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

**Efecto de la formulación**

En la tabla 35, se presentan los resultados correspondientes a la contribución de cada uno de los ingredientes que forman parte de las formulaciones de las muestras crudas, relacionados al contenido de fenoles totales, flavonoides y antocianinas totales en cada una de las muestras.

**Tabla 35.** Contribución de los ingredientes al contenido de fenoles totales, flavonoides y antocianinas totales en harinas crudas formuladas con semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y Hylon® V

<b>Código</b>	<b>Valor medio unidades</b>	<b>Aporte teórico maíz y lenteja</b>	<b>Aporte semilla uva fermentada *</b>
<b>Fenoles totales (mg GAE/100g)</b>			
Control cruda	307,30	307,30	0,00
CS-SdF-Raw1	424,38	274,52	149,86
CS-SdF-Raw2	375,85	225,35	150,50
CS-SdF-Raw3	950,51	225,35	725,16
CS-SdF-Raw4	899,38	176,19	723,19
<b>Flavonoides totales (mg EQ/100g)</b>			
Control cruda	49,28	49,28	0,00
CS-SdF-Raw1	51,00	44,02	6,98
CS-SdF-Raw2	43,78	36,14	7,64
CS-SdF-Raw3	57,74	36,14	21,60
CS-SdF-Raw4	50,17	28,25	21,92
<b>Antocianinas totales (mg cianidina-3-glucósido/100g)</b>			
Control cruda	0,16	0,16	0,00
CS-SdF-Raw1	0,33	0,14	0,19
CS-SdF-Raw2	0,30	0,12	0,18
CS-SdF-Raw3	1,06	0,12	0,94
CS-SdF-Raw4	1,03	0,09	0,94

\*valores obtenidos por diferencia

El contenido de los fenoles totales en harinas crudas varió entre 375,85 a 950,51 mg GAE/100g. Así mismo, la cuantificación de los flavonoides totales en harinas crudas, se observaron una variación que fluctuó entre 43,78 a 57,74 mg QE /100g. En tanto, las antocianinas totales en harinas crudas variaron entre 0,30 a 1,06 mg cianidina-3-glucósido/100g. En los tres análisis, las variaciones les correspondieron a las formulaciones CS-SdF-Raw2 (68,75% maíz y lenteja, 5% de semilla de uva fermentada

y 20% Hylon® V) y CS-SdF-Raw3 (68,75% de maíz-lenteja, 20% semilla de uva fermentada y 5 % Hylon® V), respectivamente. La segunda posición con mayor registro de fenoles totales (899,38 mg GAE/100g), flavonoides totales (50,17 mg QE /100g) y antocianinas totales (1,03 mg cianidina-3-glucósido/100g) fue la muestra CS-SdF-Raw4 (53,75% de maíz y lenteja, 20% semilla de uva fermentada y 20% Hylon® V). Estos resultados, suponen una tendencia de incrementarse los fenoles, flavonoides y antocianinas totales, cuando se aumenta la proporción de semilla de uva fermentada (5 y 20%) independientemente de la proporción maíz y lenteja, ya que las muestras con mayores cantidades de fenoles totales son aquellos donde la proporción maíz y lenteja es menor entre las formulaciones. Según la tabla 35, en el análisis de contribución de los ingredientes, denota claramente, que la semilla de uva fermentada aporta significativamente la cantidad de fenólicos totales.

Según el análisis estadístico aplicado para los fenoles y antocianinas totales, hay diferencia estadística entre la muestra control cruda con las diferentes formulaciones. En los flavonoides totales, la muestra control difiere significativamente con tres formulaciones (CS-SdF-Raw2, CS-SdF-Raw3 y CS-SdF-Raw4) excepto la formulación CS-SdF-Raw1. Así mismo, la variación estadística entre las formulaciones, fueron significativamente diferentes en los fenoles totales. En cambio, los flavonoides totales fueron estadísticamente diferentes en las formulaciones CS-SdF-Raw2 y CS-SdF-Raw3 con las formulaciones CS-SdF-Raw1 y CS-SdF-Raw4. Así mismo, las antocianinas totales fueron significativamente diferentes entre las formulaciones con 5 y 20% de semilla de uva fermentada. En todos los casos, las formulaciones con mayor proporción de semilla de uva fermentada dispusieron la mayor cantidad de los compuestos fenólicos, por el cual algunos autores mencionaron que la semilla, es donde se localiza mayoritariamente los compuestos fenólicos de la uva en una proporción de 60 a 70% y se

encontrarían unidas y en forma insolubles y esterificadas a los componentes de la pared celular, las mismas que ejercerían propiedades antioxidantes, potencialmente beneficiosos para la salud humana (Ma & Zhang, 2017; Meini et al., 2021; Venkitasamy et al., 2019). Otros autores también informaron que el contenido de los fenoles totales en las semillas de uva oscila entre 325 y 812 mg EAG/g (Ma & Zhang, 2017). En ese sentido, los subproductos de la elaboración del vino pueden mantener un alto contenido en compuestos fenólicos debido a su extracción incompleta durante la elaboración del vino (Rockenbach et al., 2011). Sin embargo, la concentración de los compuestos fenólicos dependerían del cultivo, prácticas del viñedo, el suelo y el clima donde fueron producidos (Brillante et al., 2015). Así mismo, la lenteja en particular es portador de compuestos fenólicos, mencionados también en otros estudios (Ciudad-Mulero et al., 2018).

En forma general, existe una diferencia significativa en el contenido de fenólicos totales en función del porcentaje de subproducto de uva incorporado. Por lo tanto, se evidencia el aporte significativo por parte de la semilla de uva fermentada de la variedad *Cabernet Sauvignon* en los contenidos de fenoles, flavonoides y antocianinas totales en las harinas analizadas (tabla 35), debido a que las semillas de uva son ricas en flavonoides (Ma & Zhang, 2017). También se mencionaron (Kumar, Tian, & Harrison, 2022) que la semilla de uvas, por su contenido de taninos podían configurar a las antocianinas para conseguir pigmentos poliméricos utilizados en la coloración durante la elaboración de vinos, lo que justifica la presencia de las antocianinas en las semillas de uva, en vista de que otros autores aseguraron que las antocianinas solo se encontrarían en la piel de uva (Zhang et al., 2017).

### **Efecto de la extrusión**

El proceso de extrusión disminuyó significativamente el contenido de fenoles totales en muestras con mayor proporción de semilla de uva fermentada (20%) y una disminución

no significativa en formulaciones con menor proporción de semilla de uva fermentada (5%). La cantidad de fenoles totales en harinas extruidas fluctuaron entre 340,29 a 732,36 mg GAE/100g, de la cual, el valor mínimo correspondió a la muestra CS-SdF-Ext2 (68,75% maíz y lenteja, 5% semilla de uva fermentada y 20% Hylon® V) y el de mayor valor correspondió a la muestra CS-SdF-Ext3 (68,75% de maíz y lenteja, 20% semilla de uva fermentada y 5% Hylon® V). La disminución de los fenoles totales, tras el proceso de extrusión, pueden estar asociadas a las altas temperaturas alcanzadas (160°C) y la velocidad de corte durante la extrusión, que acelera la degradación y los cambios estructurales de los ácidos fenólicos (Leonard et al., 2021). Otros estudios, en harinas de legumbres verificaron que, la disminución se debe a las altas temperaturas de cocción por extrusión (Ciudad-Mulero et al., 2018). Por el contrario, otros autores publicaron un mayor contenido de fenoles totales en extruidos de cereales enriquecidos con pulpa de manzana, debido a la liberación en condiciones de alta temperatura y baja humedad de los polifenoles que están unidos a la matriz de fibra (Leonard et al., 2021), El efecto de la extrusión estaría en función de muchas variables a considerar, como el tipo de compuestos fenólicos, la diferencia de la naturaleza intrínseca de las materias primas y las condiciones del proceso de extrusión junto a las características de la matriz alimentaria (Brennan et al., 2011; Leonard et al., 2021).

La extrusión, disminuyó significativamente los flavonoides después del proceso de extrusión en todas las formulaciones con valores entre 31,83 a 44,61 mg QE/100g, que corresponden a las muestras CS-SdExt2 y CS-SdExt3, respectivamente. Estos resultados, suponen una disminución entre 17,5 a 27,3% respecto a sus pares crudas. Otros estudios relacionados con la extrusión sobre los flavonoides en harinas de lentejas, sostuvieron una disminución hasta en 87% y en el caso de subproductos de manzana variedad Pink lady aumentó desde 24 a 33% (Šárka et al., 2021).

El proceso de extrusión disminuyó significativamente la cantidad de las antocianinas totales, con valores entre 0,08 mg cianidina-3-glucósido/100g (en las muestras CS-SdF-Ext1 y CS-SdF-Ext2) a 0,59 mg cianidina-3-glucósido/100g (CS-SdF-Ext4), connotándose como los de mayor valor a las formulaciones con mayor cantidad de semilla de uva fermentada (20%). La disminución en el contenido en antocianinas puede asociarse también a las altas temperaturas y altas presiones por las tensiones de cizallamiento, que pueden acelerar las reacciones químicas y las pérdidas de ingredientes funcionales (Hirth et al., 2014). Se puede afirmar que una mayor proporción de semilla de uva podría incrementar la cantidad de antocianinas en el producto, tal como mencionan otros investigadores (Neder-Suárez et al., 2021), donde las condiciones óptimas de extrusión (temperatura, velocidad de tornillo, humedad y la matriz alimentaria) podrían permitir la retención de antocianinas.

**5.4. HARINAS (Maíz y Lenteja) CON INCORPORACIÓN DE SEMILLA DE UVA (Chardonnay) NO FERMENTADA Y HYLON® V: FRACCIÓN HIDROCARBONADA Y COMPUESTOS FENÓLICOS**

La formulación de las harinas con base de maíz y lenteja en proporción de 70:30, enriquecidas con semilla de uva blanca *Chardonnay*, tanto para muestras crudas como extruidas, se presenta en la tabla 36. Recordemos que la presencia de sal y azúcar está condicionada a aspectos tecnológicos que intervienen en el proceso de extrusión, tal y como se ha comentado en los apartados anteriores.

**Tabla 36.** Formulación de harinas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de semilla de uva *Chardonnay* no fermentada y Hylon® V (g/100g)

	Codificación	Maíz y Lenteja %	Semilla de uva no Fermentada %	Almidón Hylon® V %	Sal %	Azúcar %	Total (%)
Cruda	<b>Ch-Sd-Raw1</b>	83,75	5,00	5,00	1,25	5,00	100,00
Extruida	<b>Ch-Sd-Ext1</b>						
Cruda	<b>Ch-Sd-Raw2</b>	68,75	5,00	20,00	1,25	5,00	100,00
Extruida	<b>Ch-Sd-Ext2</b>						
Cruda	<b>Ch-Sd-Raw3</b>	68,75	20,00	5,00	1,25	5,00	100,00
Extruida	<b>Ch-Sd-Ext3</b>						
Cruda	<b>Ch-Sd-Raw4</b>	53,75	20,00	20,00	1,25	5,00	100,00
Extruida	<b>Ch-Sd-Ext4</b>						

A continuación, se presentan y discuten los resultados obtenidos del análisis de distintos componentes en las harinas descritas anteriormente.

**5.4.1. Fibra dietética**

El contenido de la fibra dietética (total, insoluble y soluble) de las muestras de harinas crudas y extruidas con incorporación de semilla de uva *Chardonnay* no fermentada se presentan en la tabla 37.

**Tabla 37.** Contenido de Fibra Insoluble (FI), Soluble (FS) y Total (FT) en harinas de maíz y lenteja (70:30) incorporada con semilla de uva *Chardonnay* no fermentada y Hylon® V

Muestras	FI g/100g	FS g/100g	FT g/100g
<b>Formulaciones crudas</b>			
Control cruda	13,37 ± 0,54 <sup>aB</sup>	1,52 ± 0,08 <sup>aA</sup>	14,86 ± 0,57 <sup>aB</sup>
Ch-Sd-Raw1	15,37 ± 0,67 <sup>bB</sup>	1,66 ± 0,18 <sup>abA</sup>	17,02 ± 0,74 <sup>bB</sup>
Ch-Sd-Raw2	16,27 ± 0,55 <sup>bB</sup>	1,74 ± 0,08 <sup>bA</sup>	18,00 ± 0,45 <sup>bA</sup>
Ch-Sd-Raw3	22,67 ± 0,81 <sup>cA</sup>	1,79 ± 0,08 <sup>bA</sup>	24,31 ± 0,13 <sup>cA</sup>
Ch-Sd-Raw4	22,88 ± 1,06 <sup>cA</sup>	1,81 ± 0,12 <sup>bA</sup>	24,62 ± 0,80 <sup>cA</sup>
<b>Formulaciones extruidas</b>			
Control extruida	10,76 ± 0,56 <sup>aA</sup>	2,44 ± 0,29 <sup>abB</sup>	13,25 ± 0,64 <sup>aA</sup>
Ch-Sd-Ext1	13,26 ± 0,66 <sup>bA</sup>	2,24 ± 0,09 <sup>aB</sup>	15,50 ± 0,75 <sup>bA</sup>
Ch-Sd-Ext2	14,98 ± 0,32 <sup>cA</sup>	2,51 ± 0,31 <sup>abB</sup>	17,56 ± 0,31 <sup>cA</sup>
Ch-Sd-Ext3	21,95 ± 0,05 <sup>dA</sup>	2,26 ± 0,29 <sup>aB</sup>	24,35 ± 0,25 <sup>dA</sup>
Ch-Sd-Ext4	21,78 ± 0,50 <sup>dA</sup>	2,85 ± 0,15 <sup>bB</sup>	24,58 ± 0,22 <sup>dA</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar (n = 4). Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes (p<0,05); las letras minúsculas en superíndice significan diferencias entre todas las muestras de cada grupo analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras mayúsculas en superíndice significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

**Efecto de la formulación**

Las harinas crudas formuladas con semilla de uva *Chardonnay* no fermentada y Hylon® V, presentaron contenidos de FT entre 17,02 y 24,62 g FT/100g siendo la FI la fracción mayoritaria con contenidos entre 15,37 y 22,88 g FI/100g, respectivamente, correspondientes en ambos casos a las muestras Ch-Sd-Raw1 y Ch-Sd-Raw4, respectivamente. En tanto la FS fue la fracción minoritaria, alcanzando en las muestras valores de 1,66 y 1,81 g FS/100g, correspondientes a las muestras Ch-Sd-Raw1 y Ch-Sd-

Raw4, respectivamente (tabla 37). Como se comentó en capítulos anteriores, diversos estudios de formulaciones con legumbres presentaron cantidades superiores de FI e inferiores de FS, como el caso de formulaciones con frijol negro (Berrios et al., 2002), lenteja (Berrios et al., 2010; Ciudad-Mulero et al., 2018; Morales, Cebadera-Miranda, et al., 2015), arroz, frijol y algarroba (Arribas et al., 2019a), garbanzo y arroz (Ciudad-Mulero et al., 2022), semilla de lupino (Zhong, Fang, Wahlqvist, Hodgson, & Johnson, 2019), entre otros, por lo que se ratifica, que la semilla de uva no fermentada también es responsable de la cantidad mayoritaria de la FI en comparación con la muestra control (13,37 g FI/100g), ya que estudios previos han encontrado valores de hasta 92,4% de fibra dietética en semillas de uva (Pathania & Kaur, 2022).

Según la valoración estadística, el contenido de FT, FI son significativamente diferentes entre la harina control y las distintas formulaciones. Así mismo, hay diferencia estadística entre las formulaciones con incorporación de 5% (Ch-Sd-Raw1, Ch-Sd-Raw2) y 20% (Ch-Sd-Raw3, Ch-Sd-Raw4) de semilla de uva no fermentada en la FI y la FT. Respecto a la fracción de FS, se observaron diferencias estadísticas ( $p < 0,05$ ) entre el control y el resto de las formulaciones excepto la muestra Ch-Sd-Raw1 (formulado con 5% semilla de uva no fermentada más 5% de Hylon® V). No se observaron diferencia estadística entre el resto de las formulaciones estudiadas entre sí (tabla 37).

En la tabla 38, se muestran la contribución de cada uno de los ingredientes de las formulaciones al contenido de cada una de las fracciones de fibra (insoluble y soluble) y fibra total de las muestras de harinas crudas analizadas.

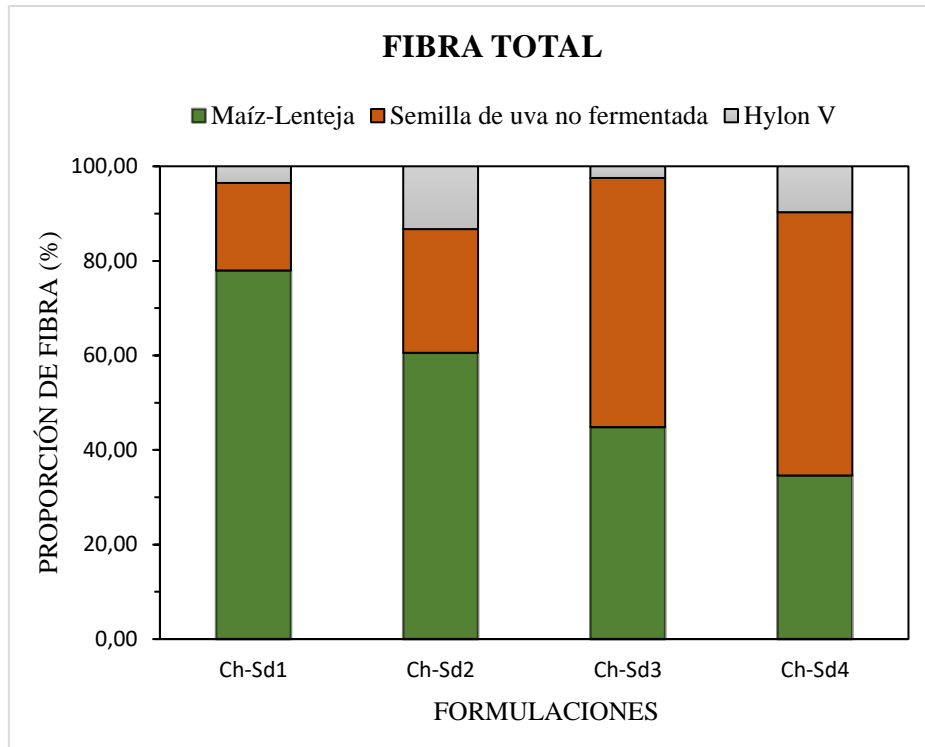
## Resultados y discusión

**Tabla 38.** Contribución (g/100g) de cada ingrediente al contenido de fibra dietética en harinas crudas de maíz y lenteja (70:30), incorporadas con semilla de uva *Chardonnay* no fermentada y Hylon® V

Código	Fibra analizada (valor medio)	Aporte Fibra de maíz y lenteja	Aporte Fibra de semilla uva no fermentada *	Aporte Fibra de Hylon® V
<b>Fibra Total</b>				
Control cruda	14,86	14,86	0,00	0,00
Ch-Sd-Raw1	17,02	13,27	3,15	0,60
Ch-Sd-Raw2	18,00	10,90	4,71	2,39
Ch-Sd-Raw3	24,31	10,90	12,81	0,60
Ch-Sd-Raw4	24,62	8,52	13,71	2,39
<b>Fibra Insoluble</b>				
Control cruda	13,37	13,37	0,00	0,00
Ch-Sd-Raw1	15,37	11,94	2,90	0,53
Ch-Sd-Raw2	16,27	9,80	4,34	2,13
Ch-Sd-Raw3	22,67	9,80	12,34	0,53
Ch-Sd-Raw4	22,88	7,67	13,08	2,13
<b>Fibra Soluble</b>				
Control cruda	1,52	1,52	0,00	0,00
Ch-Sd-Raw1	1,66	1,36	0,24	0,06
Ch-Sd-Raw2	1,74	1,11	0,40	0,23
Ch-Sd-Raw3	1,79	1,11	0,62	0,06
Ch-Sd-Raw4	1,81	0,87	0,71	0,23

\*valores obtenidos por diferencia

El aporte de la fibra dietética por parte de los ingredientes en las distintas formulaciones crudas procedentes de maíz y lenteja fue proporcional al porcentaje incorporado en cada formulación (tabla 38). Así mismo se ha valorado la contribución porcentual de cada uno de los ingredientes en la fibra total (FT) de las distintas formulaciones (figura 38).



**Figura 38.** Contribución porcentual de fibra total procedente de maíz y lenteja, semilla de uva no fermentada y Hylon® V en harinas crudas

La contribución porcentual de la fibra dietética total por parte de los ingredientes en las formulaciones de harinas crudas con incorporación de semilla de uva no fermentada, son similares a los observados en los apartados anteriores (figura 38). Por lo tanto, la semilla de uva no fermentada también es el principal ingrediente responsable en el contenido de la fibra dietética especialmente FI en las muestras estudiadas (tabla 37), tal como se ha mencionado anteriormente, las semillas de uvas contienen alrededor de 92,4% de fibra dietética (Pathania & Kaur, 2022), principalmente lignina y hemicelulosa (Prado et al., 2014).

### Efecto de la extrusión

La FI y la FT fueron significativamente diferentes entre la harina control y las distintas formulaciones extruidas. Las formulaciones con 20% de semilla de uva no fermentada fueron estadísticamente similares entre sí, en cambio las formulaciones con 5% de semilla

de uva no fermentada se observó una disminución estadísticamente significativa tras la extrusión. En cuanto a la FS, se observó que hay diferencia estadística en todas las formulaciones, aumentando el contenido tras la extrusión. El efecto de la extrusión no fue estadísticamente significativo en la cantidad de la FT, excepto la muestra Ch-Sd-Ext1, presentando valores entre 15,50 y 24,58 g FT/100g correspondientes a las muestras Ch-SdF-Ext1 y Ch-SdF-Ext4, respectivamente. Al igual que se observó para las harinas crudas, la FI fue la fracción mayoritaria con valores entre 13,26 y 21,95 g FI/100g, correspondientes a las muestras Ch-SdF-Ext1 y CS-SdF-Ext3, respectivamente. Si bien se observó una disminución en la cantidad de FI en las harinas con 20% de semilla de uva no fermentada, no fueron estadísticamente significativos, probablemente debido a que la FI muchas veces no experimentan una transformación de fase o solo pasan por un pequeño cambio de fase, debido al calor y cizallamiento típico de los procesos de extrusión, ya que los enlaces de hidrogeno adicionales en las cadenas moleculares y su rígida estructura molecular no consigue la transición vítrea de la celulosa seca en condiciones de 120 a 160°C, más bien sí lo hace desde 250°C (Ek, Baner, et al., 2020).

El contenido de la FS se incrementó significativamente en todas las formulaciones respecto a sus pares crudas las mismas que fluctuaron entre 2,24 y 2,85 g FS/100g correspondientes a las muestras Ch-Sd-Ext1 y Ch-Sd-Ext4, respectivamente. Se ha evidenciado, una redistribución de las fracciones insoluble y soluble tras el proceso de extrusión, ya que la tendencia fue a incrementar la FS y disminuir la FI en la mayoría de las formulaciones. Estos fenómenos, son debidos a que la fibra sufre modificaciones en sus propiedades fisicoquímicas y bioquímicas por efecto de la extrusión para lograr la degradación de macromoléculas, como los enlaces glucosídicos, promoviendo la conversión de FI a FS (Guo et al., 2018; Wang et al., 2022). Así mismo, la presencia del agua que juega un papel importante en la entrega de la harina durante el proceso de

extrusión, puesto que las muestras con menos humedad tienden a aumentar la presión, la fuerza de fricción y la fuerza de corte en la cámara del tornillo, lo cual resulta en la promoción de transformación de la FI a FS (Guo et al., 2018). Así mismo, se ha observado que las formulaciones con 5 y 20% de Hylon® V, una tendencia estadísticamente diferente en la cantidad de FS, donde las formulaciones con 20% de Hylon® V, presentaron valores mayores que los formulados con 5% de Hylon® V. Estas variaciones predicen que, las harinas con mayor cantidad de Hylon® V (20%) serían las que presentaron incrementos en la FS, poniendo en evidencia que la baja proporción de Hylon® V, disminuye ligeramente o mantiene con leves cambios el contenido de la FS, probablemente debido a la poca capacidad de la amilosa en formar complejos de inclusión para la fibra dietética, cuando la amilosa está presente en menores cantidades (Di Marco et al., 2022). Así mismo, las condiciones de extrusión como la humedad total repercuten en efectos más significativos en la promoción de la FS, seguido de la temperatura en el barril, la significancia de estas condiciones se intensifican a través de efectos interactivos de la velocidad del tornillo y la humedad total en el barril (Zhong et al., 2021).

### **5.4.2. Carbohidratos Disponibles Totales**

Los resultados correspondientes al análisis de Carbohidratos disponibles totales (CDT), cuantificados por espectrofotometría como g glucosa cada 100g de harina, en las muestras de harinas crudas y extruidas con incorporación de semilla de uva *Chardonnay* no fermentada y Hylon® V, se presentan en la tabla 39.

## Resultados y discusión

**Tabla 39.** Carbohidratos disponibles totales (CDT) en harinas de maíz y lenteja (70:30), incorporadas con semilla de uva *Chardonnay* no fermentada y Hylon® V

Muestras	Carbohidratos Totales Disponibles g glucosa/100g
<b>Formulaciones crudas</b>	
Control cruda	67,10 ± 2,82 <sup>cA</sup>
Ch-Sd-Raw1	60,72 ± 3,53 <sup>bA</sup>
Ch-Sd-Raw2	62,10 ± 3,62 <sup>bcA</sup>
Ch-Sd-Raw3	50,88 ± 1,43 <sup>aA</sup>
Ch-Sd-Raw4	53,38 ± 1,42 <sup>aA</sup>
<b>Formulaciones extruidas</b>	
Control extruida	71,46 ± 3,73 <sup>dB</sup>
Ch-Sd-Ext1	66,62 ± 1,53 <sup>bcB</sup>
Ch-Sd-Ext2	69,13 ± 0,82 <sup>cdB</sup>
Ch-Sd-Ext3	59,91 ± 0,81 <sup>aB</sup>
Ch-Sd-Ext4	63,13 ± 1,13 <sup>abB</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar. Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ); las letras minúsculas en superíndice significan diferencias entre todas las muestras de cada grupo analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras mayúsculas en superíndice significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

### Efecto de la formulación

En la tabla 40, se muestran los resultados correspondientes a la contribución de carbohidratos disponibles totales de cada uno de los ingredientes que forman parte las distintas formulaciones de harinas.

**Tabla 40.** Contribución (g/100g) de cada ingrediente al contenido de Carbohidratos disponibles totales (CDT) en harinas crudas de maíz y lenteja (70:30), incorporadas con semilla de uva *Chardonnay* no fermentado y Hylon® V

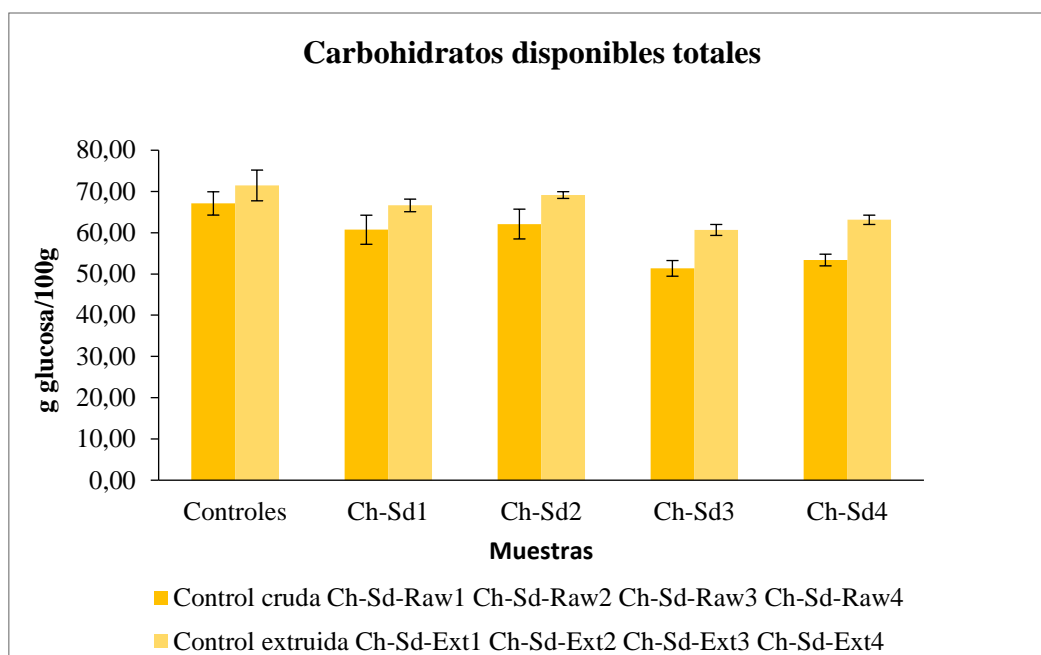
Código	CDT (valor medio)	Aporte de CDT maíz y lenteja *	Aporte CDT Hylon® V
Control cruda	67,10	67,10	0,00
Ch-Sd-Raw1	60,72	56,36	4,36
Ch-Sd-Raw2	62,10	44,65	17,45
Ch-Sd-Raw3	50,88	46,52	4,36
Ch-Sd-Raw4	53,38	35,93	17,45

\*valores obtenidos por diferencia

El contenido de CDT en las formulaciones de harinas crudas varió entre 50,88 a 62,10 g glucosa/100g, correspondientes a las muestras Ch-Sd-Raw3 (68,75% maíz y lenteja, 20 % semilla de uva no fermentada más 5 % Hylon® V) y Ch-Sd-Raw2 (68,75% maíz y lenteja, 5% semilla de uva no fermentada más 20% Hylon® V), respectivamente. Se puede observar que la variación en el contenido de CDT está en función de la mezcla maíz y lenteja (tabla 40), sin embargo, existe un ligero incremento en las formulaciones con el 20% de Hylon® V (tabla 39). Al respecto, como se han comentado anteriormente, el Hylon® V se constituye como un ingrediente con 55% de amilosa (INGREDION, 2020), donde mayor contenido de amilosa en los almidones da como resultado fracciones más grandes de almidón resistente (Sun et al., 2017), por el cual no serían carbohidratos disponibles y tampoco cuantificables por el método de la antrona, sin embargo, estudios previos mencionaron que el contenido de amilosa es el principal factor que afecta la formación y el contenido de almidón resistente, donde almidones con el 70% de amilosa proponían la cantidad de almidón resistente apreciable (Liu et al., 2023). Se puede presumir que el Hylon® V contribuiría en parte en la cuantificación de los CDT en las harinas formuladas con este ingrediente. Por otro lado, la incorporación de semilla de uva no fermentada en las harinas crudas, no denotan una contribución de CDT tal y como se observó en el capítulo anterior.

### **Efecto de la extrusión**

Para visualizar el efecto de la extrusión sobre los CDT, se presenta en la figura 39 la comparación de las harinas de diferentes formulaciones extruidas con sus pares crudas.



**Figura 39.** Comparación de Carbohidratos disponibles totales en harinas crudas y extruidas incorporadas con semilla de uva *Chardonnay* no fermentada y Hylon® V

El efecto de la extrusión sobre los CDT supuso un incremento estadísticamente significativo ( $p < 0,05$ ) en todas las formulaciones (tabla 39 y figura 39). Las cantidades de CDT variaron a partir de 59,91 a 69,13 g glucosa/100g, correspondientes a las formulaciones CS-SkF-Ext3 y CS-SkF-Ext2, respectivamente. Los incrementos fueron desde 9,7% y 18,3%, correspondientes a las muestras par CS-SdF-Raw1/CS-SdF-Ext1 y CS-SdF-Raw4/CS-SdF-Ext4. Se puede observar, que las cantidades de CDT tras el proceso de extrusión conllevan ligeramente la misma tendencia de sus pares crudas, donde las muestras con 20% de Hylon® V elevan la cantidad de CDT respecto a los formulados con 5% de Hylon® V. Este comportamiento, estaría condicionado por la cantidad de amilosa presente en el Hylon® V (55%), que según estudios previos tendrían una correlación correspondiente a menores cantidades de almidón resistente comparados con almidones por encima de 70% de amilosa (Liu et al., 2023), lo que probablemente estaría incrementando la cantidad de CDT en las muestras objeto de estudio. Así mismo,

el incremento de los CDT en todas las formulaciones tras la extrusión podría deberse también a la presencia de semilla de uva en su estado no fermentada, ya que los efectos termomecánicos de la extrusión podría contribuir en el contenido de los CDT, porque según Corbin et al (2015), el balance de masa de los carbohidratos en subproductos de la uva variedad *Cabernet Sauvignon* sin fermentar, alcanzaron entre carbohidratos solubles (20,7% p/p) y otros componentes insolubles (63,9% p/p), haciendo un total de 84,6% p/p y total de carbohidratos 31,4% p/p.

**5.4.3. Azúcares solubles: Ciceritol y  $\alpha$ -Galactósidos**

El análisis de la fracción de azúcares solubles por cromatografía líquida HPLC-IR, permitió la identificación y cuantificación, en muestras de maíz y lenteja crudas y extruidas enriquecidos con semilla de uva *Chardonnay* no fermentada y Hylon® V, de: ciceritol y los  $\alpha$ -galactósidos rafinosa y estaquiosa cuyos resultados se presentan en la tabla 41.

**Tabla 41.** Ciceritol y  $\alpha$ -galactósidos en harinas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de semilla de uva *Chardonnay* no fermentada y Hylon® V

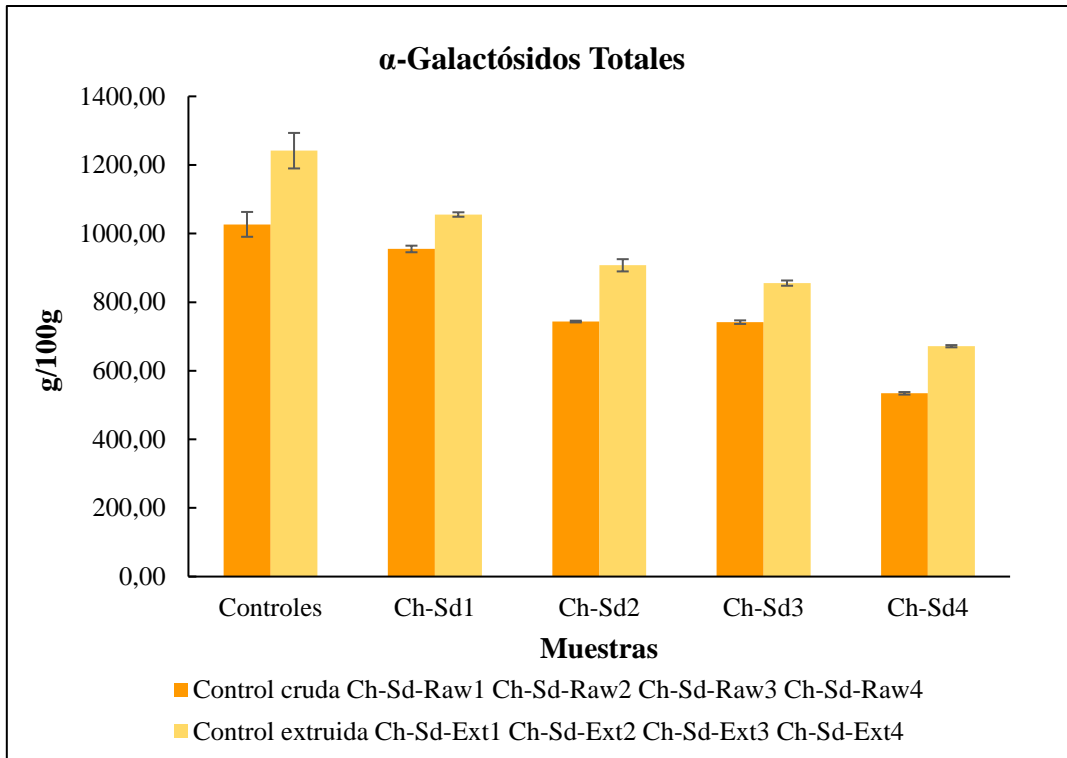
Código	Ciceritol mg/100g	Rafinosa mg/100g	Estaquiosa mg/100g
<b>Formulaciones crudas</b>			
Control cruda	489,47 ± 12,01 <sup>dA</sup>	102,13 ± 11,46 <sup>dA</sup>	924,70 ± 32,42 <sup>dA</sup>
Ch-Sd-Raw1	419,23 ± 4,35 <sup>cA</sup>	91,90 ± 1,00 <sup>cB</sup>	867,57 ± 5,42 <sup>cA</sup>
Ch-Sd-Raw2	283,90 ± 2,40 <sup>bA</sup>	74,80 ± 0,85 <sup>bB</sup>	667,87 ± 2,23 <sup>bA</sup>
Ch-Sd-Raw3	281,50 ± 13,58 <sup>bA</sup>	73,53 ± 0,35 <sup>bA</sup>	665,70 ± 5,09 <sup>bA</sup>
Ch-Sd-Raw4	191,95 ± 6,01 <sup>aA</sup>	48,40 ± 0,70 <sup>aA</sup>	487,03 ± 2,95 <sup>aA</sup>
<b>Formulaciones extruidas</b>			
Control extruida	580,64 ± 26,65 <sup>dB</sup>	117,55 ± 10,73 <sup>cB</sup>	1.059,22 ± 99,03 <sup>eB</sup>
Ch-Sd-Ext1	423,87 ± 15,81 <sup>cA</sup>	83,87 ± 3,71 <sup>bA</sup>	971,63 ± 3,34 <sup>dB</sup>
Ch-Sd-Ext2	380,53 ± 7,25 <sup>bB</sup>	65,73 ± 2,01 <sup>aA</sup>	750,85 ± 15,91 <sup>bB</sup>
Ch-Sd-Ext3	358,40 ± 16,58 <sup>bB</sup>	68,17 ± 4,86 <sup>aA</sup>	787,37 ± 6,70 <sup>cB</sup>
Ch-Sd-Ext4	233,23 ± 19,03 <sup>aB</sup>	71,13 ± 10,88 <sup>abB</sup>	596,50 ± 9,19 <sup>aB</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar (n = 3). Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes (p<0,05); Las letras en superíndice significan diferencias entre todas las muestras analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras en superíndice en mayúsculas significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

### Efecto de la formulación

La cantidad de los tres oligosacáridos en harinas crudas variaron de la siguiente manera: ciceritol entre 191,95 mg/100g a 419,23 mg/100g, la rafinosa entre 48,40 mg/100g a 91,90 mg/100g y la estaquiosa entre 487,03 mg/100g a 867,57 mg/100g, las tres mediciones corresponden a las muestras Ch-Sd-Raw4 (formuladas con 53,75% de maíz y lenteja, 20% de piel de uva fermentada más 20% de Hylon® V) y Ch-Sd-Raw1, (formuladas con 83,75% de maíz y lenteja, 5% de piel de uva fermentada más 5% de Hylon® V), respectivamente. Por lo tanto, es evidente que la mezcla maíz y lenteja contribuye significativamente al contenido de oligosacáridos en las distintas formulaciones de acuerdo a la proporción añadida tal como se observa en la tabla 41, por el cual diversos autores hicieron mención sobre el contenido de estos oligosacáridos en las lentejas por su alta concentración de oligosacáridos de la familia de la rafinosa (Ciudad-Mulero et al., 2020; Elango et al., 2022; Kannan et al., 2021; Sharma et al., 2022).

La mayor cantidad de  $\alpha$ -galactósidos totales, se observó en la muestra Ch-Sd-Raw1 (83,75% de maíz y lenteja, 5% semilla de uva no fermentada más 5% de Hylon® V) y la menor cantidad en la muestra Ch-Sd-Raw4 (53,75% de maíz y lenteja, 20% semilla de uva no fermentada más 20% de Hylon® V). Tal como se observa en la figura 40, se observa el comportamiento de los  $\alpha$ -galactósidos totales (rafinosa + estaquiosa), donde, las formulaciones se distribuyen según la proporción de la mezcla maíz y lenteja y sobre todo por la predominancia de la estaquiosa por considerarse el oligosacárido mayoritario. Así mismo, en la semilla de uva no fermentada como el Hylon® V, no se han encontrado evidencia científica que demuestre contener oligosacáridos en su composición.



**Figura 40.** Comparación de  $\alpha$ -Galactósidos totales en harinas crudas y extruidas con incorporación de semilla de uva *Chardonnay* y Hylon® V

### Efecto de la extrusión

Se observaron cantidades en ciceritol de 233,23 mg/100g y 423,87 mg/100g, correspondientes a las muestras Ch-Sd-Ext4 y Ch-Sd-Ext1, respectivamente. La rafinosa fluctuó de 65,73 mg/100g y 83,87 mg/100g, correspondientes a las muestras Ch-Sd-Ext2 y Ch-Sd-Ext1, respectivamente. La estaquiosa varió de 600,43 mg/100g a 971,63 mg/100g, correspondientes a las muestras Ch-Sd-Ext4 y Ch-Sd-Ext1, respectivamente. Se observó un incremento significativo ( $p < 0,05$ ) en el contenido de ciceritol, estaquiosa tras la extrusión. En el caso de la rafinosa su contenido disminuyó significativamente ( $p < 0,05$ ) en las formulaciones Ch-Sd-Ext1 y Ch-Sd-Ext2 por efecto de la extrusión, mientras que se observó un incremento en la formulación Ch-Sd-Ext4. Otros autores (Frias et al., 2011) mencionaron que a temperaturas de 129°C, 135°C y 142°C, observaron disminuciones en el contenido de rafinosa, debido a la ruptura de los enlaces

furanosídicos (2-1) y que los azúcares formados podrían interactuar con grupos de proteínas con la consiguiente formación de la reacción de Maillard. En tanto el incremento del ciceritol y de la estaquiosa se debería, a que la alta presión y caída de presión controlada e instantánea del proceso de extrusión, den lugar a la rotura de la pared celular con el aumento de la porosidad y del área de superficie específica, mejorando la difusión del solvente dentro de la matriz, produciéndose una modificación de la estructura mecánica de la matriz del producto, lo que facilitaría la extracción de estos azúcares solubles (Morales, Berrios, et al., 2015). Finalmente, el contenido de los  $\alpha$ -galactósidos totales aumentó significativamente ( $p < 0,05$ ) en todas las formulaciones extruidas, en comparación con sus pares crudas (figura 40), repercusión observable por el incremento de la estaquiosa, como el  $\alpha$ -galactósido de mayor predominancia en las muestras extruidas.

#### 5.4.4. Arabinoxilanos

Los resultados correspondientes al contenido de arabinoxilanos (extractables y totales) en las muestras de harinas crudas y extruidas enriquecidas con semilla de uva fermentada y Hylon® V se presentan en la tabla 42.

**Tabla 42.** Arabinosilanos extractables y totales en harinas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de semilla de uva *Chardonnay* no fermentada y Hylon® V

Muestras	Extractables g/100g	Totales g/100g
<b>Formulaciones crudas</b>		
Control cruda	0,93 ± 0,05 <sup>dA</sup>	5,14 ± 0,25 <sup>abA</sup>
Ch-Sd-Raw1	0,83 ± 0,03 <sup>cA</sup>	5,26 ± 0,21 <sup>bA</sup>
Ch-Sd-Raw2	0,67 ± 0,06 <sup>bA</sup>	7,43 ± 0,19 <sup>dA</sup>
Ch-Sd-Raw3	0,68 ± 0,03 <sup>bA</sup>	4,47 ± 0,42 <sup>aA</sup>
Ch-Sd-Raw4	0,53 ± 0,02 <sup>aA</sup>	6,62 ± 0,57 <sup>cA</sup>
<b>Formulaciones extruidas</b>		
Control extruida	1,60 ± 0,21 <sup>cB</sup>	6,64 ± 0,43 <sup>abB</sup>
Ch-Sd-Ext1	1,41 ± 0,03 <sup>bcB</sup>	6,95 ± 0,65 <sup>abB</sup>
Ch-Sd-Ext2	1,20 ± 0,08 <sup>abB</sup>	9,32 ± 0,98 <sup>bB</sup>
Ch-Sd-Ext3	1,19 ± 0,02 <sup>abB</sup>	5,86 ± 0,59 <sup>abB</sup>
Ch-Sd-Ext4	0,91 ± 0,13 <sup>aB</sup>	8,49 ± 0,33 <sup>bB</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar (n = 4). Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes (p<0,05); las letras minúsculas en superíndice significan diferencias entre todas las muestras de cada grupo analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras mayúsculas en superíndice significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

### Efecto de la formulación

Así mismo, en la tabla 43, se muestran los resultados correspondientes a la contribución de cada uno de los ingredientes de la formulación en el contenido de cada una de las fracciones de arabinosilanos (extractables y totales) de las muestras de harinas crudas analizadas.

**Tabla 43.** Contribución (g/100g) de cada ingrediente al contenido de Arabinosilanos en harinas crudas de maíz y lenteja (70:30), enriquecidas con semilla de uva *Chardonnay* no fermentada y Hylon®V

Código	AX (valor medio)	Aporte de AX maíz y lenteja *	Aporte de AX Hylon® V
<b>Arabinosilanos Totales</b>			
Control crudas	4,78	4,78	0,00
Ch-Sd-Raw1	5,26	4,28	0,98
Ch-Sd-Raw2	7,43	3,50	3,93
Ch-Sd-Raw3	4,47	3,49	0,98
Ch-Sd-Raw4	6,62	2,69	3,93
<b>Arabinosilanos Extractables</b>			
Control crudas	0,93	0,930	0,000
Ch-Sd-Raw1	0,83	0,828	0,002
Ch-Sd-Raw2	0,67	0,662	0,008
Ch-Sd-Raw3	0,68	0,678	0,002
Ch-Sd-Raw4	0,53	0,522	0,008

\*valores obtenidos por diferencia

El contenido de los arabinosilanos totales fue superior que los arabinosilanos extractables (solubles en agua) según se observa en la tabla 42. El contenido de los arabinosilanos extractables varió entre 0,53 a 0,83 g/100g, correspondientes a las harinas crudas Ch-Sd-Raw4 (53,75% maíz y lenteja, 20% semilla uva no fermentada y 20% Hylon® V) y Ch-Sd-Raw1 (83,75% maíz-lenteja, 5% semilla uva no fermentada y 5% de Hylon® V), respectivamente (tablas 36 y 42). Estas formulaciones, evidencian que el contenido de arabinosilanos extractables en las formulaciones, esta influenciada por la cantidad de la mezcla maíz y lenteja, connotándose que, a mayor cantidad de maíz y lenteja en la formulación, se observa una mayor cantidad de arabinosilanos extractables, independientemente de la contribución de arabinosilanos extractables procedentes del Hylon® V (0,04 g/100g). Estos resultados, pueden ser coherentes con las afirmaciones previas, donde mencionaron el aporte de arabinosilanos solubles en agua (extractables) procedente de la lenteja (Ciudad-Mulero et al., 2018), sin embargo, se han mencionado que la solubilidad de los arabinosilanos se ve afectada según la estructura específica del

arabinoxilano, el procedimiento de extracción/tratamientos utilizados y el tipo de enlace con otros tejidos de células vegetales (Zannini et al., 2022).

El contenido de arabinoxilanos totales (tabla 42) en las muestras crudas osciló entre 4,47 a 7,43 g/100g, correspondientes a las harinas Ch-Sd-Raw3 (68,75% maíz y lenteja, 20% semilla uva no fermentada y 5% Hylon® V) y Ch-Sd-Raw2 (68,75% maíz-lenteja, 5% semilla uva no fermentada y 20% Hylon® V), respectivamente, tal y como se observó en las formulaciones enriquecidas con piel y semilla de uva. La mayor concentración de arabinoxilanos totales se observó a las muestras formuladas con mayor proporción de Hylon® V (20%), debido al aporte de arabinoxilanos totales procedente del Hylon® V (19,66 g/100g), ya que el maíz (de donde se elabora el Hylon® V) se considera una buena fuente de arabinoxilanos (Zannini et al., 2022). Así mismo, se observó que el aporte de los arabinoxilanos totales debido al porcentaje de la mezcla maíz y lenteja, siguió la misma tendencia observada por los arabinoxilanos extractables (tabla 43). En ese sentido, algunos autores, aseguraron la presencia los arabinoxilanos en harinas de lenteja (Camara et al., 2017; Ciudad-Mulero et al., 2018).

### **Efecto de la extrusión**

El efecto de la extrusión sobre los arabinoxilanos extractables y totales, ha demostrado un incremento estadísticamente significativo ( $p < 0,05$ ) en todas las formulaciones (tabla 42). Se han observado que los arabinoxilanos extractables, experimentaron un incremento de 72,6% a 119,9% (Ch-Sd-Raw4/Ch-Sd-Ext4 y Ch-Sd-Raw2/Ch-Sd-Ext2) tras el proceso de extrusión. Así mismo, en el caso de los arabinoxilanos totales se observó también un incremento significativo tras la extrusión de 28,1% a 67,3% (Ch-Sd-Raw4/Ch-Sd-Ext4 y Ch-Sd-Raw3/Ch-Sd-Ext3). Como se había mencionado en los apartados anteriores, estos incrementos estuvieron de acuerdo con estudios (Demuth et al., 2020), realizados en trigo y centeno. Estos autores compararon los diferentes procesos

mecánicos (de extrusión) y ratificaron, que el proceso de extrusión producía incrementos en los arabinosilanos, debido a las condiciones propias del proceso como la alta temperatura, altas velocidades del tornillo promovieron el aumento en el rendimiento de extracción de los arabinosilanos de bajo peso molecular (Demuth et al., 2020; Fadel, Ashworth, et al., 2018).

#### 5.4.5. Almidón Total (amilosa y amilopectina) y Almidón Resistente

Los contenidos de almidón total (amilosa y amilopectina) y almidón resistente cuantificados por espectrofotometría en muestras de harinas crudas y extruidas de maíz-lenteja enriquecidos con semilla de uva no fermentada y Hylon® V se presentan en la tabla 44.

**Tabla 44.** Almidón Total y Almidón Resistente en harinas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de semilla de uva *Chardonnay* no fermentada y Hylon® V

Muestra	Almidón Total g/100g	Almidón Resistente g/100g
<b>Formulaciones crudas</b>		
Control crudas	54,36 ± 2,55 <sup>bA</sup>	3,18 ± 0,17 <sup>cB</sup>
Ch-Sd-Raw1	47,85 ± 2,64 <sup>aA</sup>	2,51 ± 0,20 <sup>bB</sup>
Ch-Sd-Raw2	55,68 ± 0,80 <sup>bA</sup>	5,62 ± 0,95 <sup>dB</sup>
Ch-Sd-Raw3	43,24 ± 0,66 <sup>aA</sup>	2,03 ± 0,18 <sup>aB</sup>
Ch-Sd-Raw4	47,80 ± 3,56 <sup>aA</sup>	5,37 ± 0,43 <sup>dB</sup>
<b>Formulaciones extruidas</b>		
Control extruidas	54,65 ± 2,72 <sup>bA</sup>	0,48 ± 0,06 <sup>aA</sup>
Ch-Sd-Ext1	53,33 ± 2,70 <sup>bB</sup>	1,34 ± 0,07 <sup>bA</sup>
Ch-Sd-Ext2	54,03 ± 0,78 <sup>bA</sup>	1,81 ± 0,48 <sup>cA</sup>
Ch-Sd-Ext3	45,83 ± 1,25 <sup>aB</sup>	1,37 ± 0,26 <sup>bA</sup>
Ch-Sd-Ext4	49,52 ± 3,38 <sup>aA</sup>	1,70 ± 0,43 <sup>cA</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar (n = 4). Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes (p<0,05); las letras minúsculas en superíndice significan diferencias entre todas las muestras de cada grupo analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras mayúsculas en superíndice significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

## Resultados y discusión

En la tabla 45 se presentan las proporciones porcentuales de amilosa y amilopectina, constituyentes del almidón, para lo cual se han determinado la amilosa por espectrofotometría y posteriormente la cantidad de la amilopectina se determinó por diferencia.

**Tabla 45.** Proporción de Amilosa y Amilopectina en la fracción de almidón de harinas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de semilla de uva *Chardonnay* no fermentada y Hylon® V

Muestra	Amilosa %	Amilopectina <sup>a</sup> %
<b>Formulaciones crudas</b>		
Control crudas	22,42 ± 2,17 <sup>cA</sup>	77,58 ± 2,17 <sup>bA</sup>
Ch-Sd-Raw1	22,61 ± 0,72 <sup>cA</sup>	77,39 ± 0,72 <sup>bB</sup>
Ch-Sd-Raw2	25,34 ± 0,31 <sup>dA</sup>	74,66 ± 0,31 <sup>aB</sup>
Ch-Sd-Raw3	20,91 ± 0,51 <sup>aB</sup>	79,09 ± 0,51 <sup>cA</sup>
Ch-Sd-Raw4	21,10 ± 0,32 <sup>aA</sup>	78,90 ± 0,32 <sup>cB</sup>
<b>Formulaciones extruidas</b>		
Control extruidas	20,32 ± 1,39 <sup>aA</sup>	79,68 ± 1,39 <sup>dA</sup>
Ch-Sd-Ext1	25,25 ± 0,27 <sup>cB</sup>	74,75 ± 0,27 <sup>bA</sup>
Ch-Sd-Ext2	27,04 ± 0,09 <sup>dA</sup>	72,96 ± 0,09 <sup>aA</sup>
Ch-Sd-Ext3	19,04 ± 0,19 <sup>aA</sup>	80,96 ± 0,19 <sup>dB</sup>
Ch-Sd-Ext4	22,40 ± 0,31 <sup>bB</sup>	77,60 ± 0,31 <sup>cA</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar (n = 3). Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes (p<0,05); las letras minúsculas en superíndice significan diferencias entre todas las muestras de cada grupo analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras mayúsculas en superíndice significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

<sup>a</sup> La amilopectina se calculó por diferencia (100-amilosa).

### Efecto de la formulación

en la tabla 46, se muestran los resultados correspondientes a la contribución de cada uno de los ingredientes de la formulación al contenido de almidón total y almidón resistente de las muestras de harinas crudas analizadas.

## Resultados y discusión

**Tabla 46.** Contribución de cada ingrediente al contenido de Almidón total y Almidón resistente en harinas crudas de maíz y lenteja (70:30), incorporadas con semilla de uva *Chardonnay* no fermentada y Hylon® V

Código	Valor medio	Aporte maíz y lenteja g/100g *	Aporte Hylon® V g/100g
<b>Almidón Total</b>			
Control crudas	54,36	54,36	0,00
Ch-Sd-Raw1	47,85	43,56	4,29
Ch-Sd-Raw2	55,68	38,53	17,15
Ch-Sd-Raw3	43,24	38,95	4,29
Ch-Sd-Raw4	47,80	30,65	17,15
<b>Almidón Resistente</b>			
Control crudas	3,18	3,18	0,00
Ch-Sd-Raw1	2,51	1,18	1,33
Ch-Sd-Raw2	5,62	0,32	5,30
Ch-Sd-Raw3	2,03	0,70	1,33
Ch-Sd-Raw4	5,37	0,07	5,30

\*valores obtenidos por diferencia

El contenido de almidón total en las muestras crudas varió entre 43,24 y 55,68 g/100g, correspondientes a las harinas formuladas Ch-Sd-Raw3 y Ch-Sd-Raw2, respectivamente, observándose las mayores concentraciones de almidón total en las harinas formuladas con 20% de Hylon® V (contiene hasta 85,75 g almidón/100g) y la harina con el mayor porcentaje de la mezcla maíz y lenteja (83,75% Ch-Sd-Raw1) (tabla 44). La distribución de la amilosa en cantidades porcentuales (tabla 45) para las muestras crudas varió entre 20,91 y 25,34% (Ch-Sd-Raw3 y Ch-Sd-Raw2, respectivamente) y la cantidad porcentual de amilopectina varió entre 74,66 y 79,09% (Ch-Sd-Raw2 y Ch-Sd-Raw3, respectivamente). Todas las formulaciones presentaron mayor concentración de amilopectina que la amilosa, en una proporción de 3,4:1 tal y como se observó previamente en las formulaciones de harinas con piel y semilla de uva fermentada. Se ha observado, que la disminución progresiva de la proporción maíz y lenteja en las formulaciones, disminuyen la relación amilosa/amilopectina, debido a que el almidón

procede exclusivamente de la mezcla maíz y lenteja, siendo una de las razones, la incorporación de Hylon® V (5 o 20%) en cada una de las formulaciones con el fin de compensar dicha relación, que distintos autores determinaron relaciones de 3:1.

El contenido de almidón resistente en harinas crudas varió entre 2,03 y 5,62 g/100g, correspondientes a las formulaciones Ch-Sd-Raw3 y Ch-Sd-Raw2, respectivamente. Siendo las formulaciones con el 20% de Hylon® V las que consiguen mayores cantidades de almidón resistente (tabla 44) en comparación con las formuladas con el 5% de Hylon® V, lo que supone una contribución interesante de almidón resistente proveniente del Hylon® V (hasta 26,51 g/100g). Por otro lado, es importante destacar que la incorporación de semilla de uva no fermentada no contribuye a las formulaciones en el contenido de almidón total ni almidón resistente presente en las formulaciones analizadas.

Desde el punto de vista estadístico, se observó diferencia estadística ( $p < 0,05$ ) entre la harina control y todas las formulaciones, sin embargo, las formulaciones con el 20 % de Hylon® V (rico en amilosa) fueron estadísticamente similares entre sí, lo que contrarrestaría la disminución del almidón resistente de las harinas de maíz y lentejas en formulaciones con incorporación de semilla de uva no fermentada.

### **Efecto de la extrusión**

La extrusión supuso un incremento significativo en la cantidad de almidón total en las formulaciones Ch-Sd-Ext1 y Ch-Sd-Ext3 respecto a sus pares crudas Ch-Sd-Raw1 y Ch-Sd-Raw3. En tanto, las formulaciones Ch-Sd-Ext2 y Ch-Sd-Ext4 mantuvieron el contenido de almidón total después de la extrusión (tabla 44). La amilosa aumentó entre 6,2 y 11,6 % (Ch-Sd-Ext4 y Ch-Sd- Ext 1) y disminuyó la amilopectina entre 1,6 y 7,8% (Ch-Sd-Ext 4 y Ch-Sd-Ext 2) (tabla 45). La relación de amilosa y amilopectina promedio tras la extrusión fue de 3,5:1. Otros autores refirieron que las formulaciones adecuadas

mantienen una relación proporcional entre la relación amilosa/amilopeptina y la proporción del material procesado, con el fin de desarrollar texturas crujientes de buenos atributos sensoriales (Ek et al., 2021; Moscicki et al., 2013), debido a que la amilosa conduce a una estructura de gel rugosa en capas y la amilopeptina promueve la formación de una estructura fibrosa anisotrópica en el extruido (Chen, Zhang, Zhang, Kaplan, & Wang, 2022).

El efecto de la extrusión sobre el contenido de almidón resistente disminuyó significativamente ( $p < 0,05$ ) de 32,5% (Ch-Sd-Ext3) a 68,3% (Ch-Sd-Ext4) respecto a sus pares crudas, y estas cantidades varió de 1,34 y 1,81 g/100g correspondiente a las formulaciones Ch-Sd-Ext1 y Ch-Sd-Ext2, respectivamente (tabla 44). Estos resultados, concuerdan con otros estudios en muestras con lentejas (Blandino et al., 2023) donde, la extrusión-cocción provoca una desintegración total de la estructura del almidón, debido a las altas fuerzas de cizallamiento y altas temperaturas, promoviendo así la gelatinización casi completa del almidón, lo que es perjudicial para la estabilidad del almidón resistente.

#### **5.4.6. Compuestos fenólicos (Fenoles, flavonoides y antocianinas totales)**

Los resultados de los compuestos fenólicos (fenoles totales, flavonoides y antocianinas totales), cuantificados en las muestras de harinas crudas y extruidas objeto de estudio, se presentan en la tabla 47.

## Resultados y discusión

**Tabla 47.** Fenoles, Flavonoides y Antocianinas totales en harinas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de semilla de uva *Chadonnay* no fermentada y Hylon® V

Muestras	Fenoles Totales (mg GAE/100g)	Flavonoides totales (mg EQ /100g)	Antocianinas Totales (mg cianidina-3- glucósido/100 g)
<b>Formulaciones crudas</b>			
Control cruda	307,30 ± 11,60 <sup>ab</sup>	49,28 ± 2,08 <sup>ab</sup>	0,16 ± 0,01 <sup>ab</sup>
Ch-Sd-Raw1	752,49 ± 12,18 <sup>cb</sup>	67,30 ± 6,12 <sup>bb</sup>	0,37 ± 0,03 <sup>bb</sup>
Ch-Sd-Raw2	678,70 ± 17,10 <sup>bb</sup>	59,84 ± 6,19 <sup>aa</sup>	0,33 ± 0,01 <sup>bb</sup>
Ch-Sd-Raw3	1754,76 ± 6,48 <sup>eb</sup>	98,12 ± 5,06 <sup>cb</sup>	1,13 ± 0,03 <sup>cb</sup>
Ch-Sd-Raw4	1692,34 ± 22,48 <sup>db</sup>	90,98 ± 5,06 <sup>cb</sup>	1,09 ± 0,04 <sup>cb</sup>
<b>Formulaciones extruidas</b>			
Control extruida	290,13 ± 13,50 <sup>aa</sup>	40,43 ± 2,88 <sup>aa</sup>	0,06 ± 0,01 <sup>aa</sup>
Ch-Sd-Ext1	573,07 ± 44,84 <sup>ba</sup>	50,76 ± 0,56 <sup>ba</sup>	0,17 ± 0,01 <sup>ba</sup>
Ch-Sd-Ext2	550,91 ± 5,10 <sup>ba</sup>	49,63 ± 2,75 <sup>ba</sup>	0,21 ± 0,02 <sup>ca</sup>
Ch-Sd-Ext3	1200,10 ± 27,59 <sup>da</sup>	63,90 ± 6,16 <sup>ca</sup>	0,50 ± 0,01 <sup>da</sup>
Ch-Sd-Ext4	1121,57 ± 29,98 <sup>ca</sup>	63,98 ± 1,72 <sup>ca</sup>	0,63 ± 0,03 <sup>ea</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar (n = 3). Los valores medios en la misma columna seguidos de un superíndice diferente son significativamente diferentes (p<0,05); las letras minúsculas en superíndice significan diferencias entre todas las muestras de cada grupo analizadas (influencia de la formulación), mientras que las letras mayúsculas en superíndice significan diferencias debido a la extrusión para la misma formulación.

Así mismo, en la tabla 48, se presentan los resultados correspondientes a la contribución de cada uno de los ingredientes que forman parte de las formulaciones de las muestras crudas, relacionados al contenido de fenoles totales, flavonoides y antocianinas totales en cada una de las muestras.

## Resultados y discusión

**Tabla 48.** Contribución de los ingredientes al contenido de fenoles totales, flavonoides y antocianinas totales en harinas crudas formuladas con semilla de uva *Chardonnay* no fermentado y Hylon® V

Código	Valor medio unidades	Aporte teórico maíz y lenteja	Aporte semilla uva no fermentada *
<b>Fenoles totales (mg GAE/100g)</b>			
Control cruda	307,30	307,30	0,00
Ch-Sd-Raw1	752,49	274,52	477,97
Ch-Sd-Raw2	678,69	225,35	453,34
Ch-Sd-Raw3	1754,76	225,35	1529,41
Ch-Sd-Raw4	1692,34	176,19	1516,15
<b>Flavonoides totales (mg EQ /100g)</b>			
Control cruda	49,28	49,28	0,00
Ch-Sd-Raw1	67,30	44,02	23,28
Ch-Sd-Raw2	59,84	36,14	23,70
Ch-Sd-Raw3	98,12	36,14	61,98
Ch-Sd-Raw4	90,98	28,25	62,73
<b>Antocianinas totales (mg cianidina-3-glucósido/100 g)</b>			
Control cruda	0,16	0,16	0,00
Ch-Sd-Raw1	0,37	0,14	0,23
Ch-Sd-Raw2	0,33	0,12	0,21
Ch-Sd-Raw3	1,13	0,12	1,01
Ch-Sd-Raw4	1,09	0,09	1,00

\*valores obtenidos por diferencia

### Efecto de la formulación

El contenido de los fenoles totales en harinas crudas varió entre 678,69 a 1754,76 mg GAE/100g, correspondientes a la muestra Ch-Sd-Raw2 (68,75% maíz y lenteja, 5% de semilla de uva no fermentada y 20% Hylon® V) y Ch-Sd-Raw3 (68,75% de maíz y lenteja, 20% semilla de uva no fermentada y 5% Hylon® V), respectivamente. Las muestras formuladas con el 20% de semilla de uva no fermentada (Ch-Sd-Raw3 y Ch-Sd-Raw4) fueron los que registraron mayor concentración de fenoles totales en comparación con los formulados con el 5% de semilla de uva no fermentada que obtuvieron menores valores. Ante estos resultados, existe una clara tendencia de incrementarse los fenoles totales, cuando la proporción de semilla de uva no fermentada

aumenta en las formulaciones, independientemente del aporte fenólico por parte de la mezcla maíz y lenteja, en vista de que, las muestras con mayores cantidades de fenoles totales son aquellos donde la proporción de maíz y lenteja es menor entre las formulaciones, tal y como pudimos constatar en las muestras formuladas con piel y semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentadas. Así mismo, en el análisis de contribución de los ingredientes (tabla 48), denota claramente, que la semilla de uva no fermentada aporta significativamente la mejor cantidad de fenoles totales. Estos resultados son coherentes con lo que Rockenbach et al. (2011) publicó en relación al contenido de los fenoles totales en semillas de uva sin fermentar, siendo superior comparados con la piel de uva, ya que las mayores concentraciones de los compuestos fenólicos se encontraron en las semillas (Guaita, Panero, Motta, Mangione, & Bosso, 2021). Así mismo, estudios previos (Lachman et al., 2013), determinaron que los niveles de los fenoles totales en semillas de uvas no fermentada son más altos en comparación con semillas que se obtuvieron como subproducto después de la vinificación. Por otro lado, como se había mencionado y pese al predominio de la semilla de uva no fermentada en estas formulaciones, la lenteja en sí misma contiene compuestos fenólicos (Ciudad-Mulero et al., 2018).

En cuanto a los flavonoides totales en harinas crudas, su contenido osciló entre 59,84 a 98,12 mg QE /100g, correspondientes a las muestras Ch-Sd-Raw2 (68,75% maíz y lenteja, 5% semilla de uva fermentada y 20% Hylon® V) y Ch-Sd-Raw3 (68,75% de mezcla maíz y lenteja, 20% semilla de uva fermentada y 5% Hylon® V), respectivamente. Como se había mencionado en el caso de los fenoles totales, también hay una tendencia de incrementarse los flavonoides, cuando la proporción de maíz-lenteja disminuye y aumenta la proporción de semilla de uva no fermentada en las formulaciones. Estas precisiones son coherentes con otros estudios, donde refirieron que la semilla de uva son

ricas en flavonoides (Ma & Zhang, 2017), aunque la síntesis de los compuestos fenólicos en semillas se deben a la maduración que dependen de factores edáficos, climáticos, culturales y genéticos (Obreque-Slier, López-Solís, Castro-Ulloa, Romero-Díaz, & Peña-Neira, 2012).

Las antocianinas totales en harinas crudas fluctuaron entre 0,33 a 1,13 mg cianidina-3-glucósido/100g, correspondientes a las muestras Ch-Sd-Raw2 y Ch-Sd-Raw3, respectivamente). Al igual a los anteriores casos, existe diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) entre las formulaciones con 5 y 20% de semilla de uva no fermentada, donde las mayores concentraciones presentaron las muestras con 20% de semilla de uva no fermentada, por lo cual se evidenció que las semillas de uva no fermentada aportan antocianinas totales (tabla 48), aunque algunos autores (Zhang et al., 2017) mencionaron que las antocianinas solo serían parte de la piel de uva, sin embargo, otros autores (Kumar et al., 2022) manifestaron que la semilla de uva, al ser portadores de taninos podían configurarse como antocianinas para conseguir pigmentos poliméricos utilizados durante la elaboración de vinos, lo que justifica la presencia de las antocianinas en semillas de uva, en tal sentido, Rababah et al. (2008) caracterizó las antocianinas totales en semillas de uvas de diferentes variedades, para lo cual las semillas previamente eran desengrasados.

Respecto al efecto de la extrusión, se ha observado una diferencia estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) en el contenido de fenoles totales entre todas las formulaciones crudas y sus pares extruidas (tabla 47). La cantidad de fenoles totales en harinas extruidas fluctuaron entre 550,91 a 1200,10 mg GAE/100g, correspondientes a las muestras Ch-Sd-Ext2 (68,75% maíz y lenteja, 5% semilla de uva fermentada y 20% Hylon® V) y Ch-Sd-Ext3 (68,75% de maíz y lenteja, 20% semilla de uva fermentada y 5% Hylon® V), respectivamente. Connotándose una disminución general de fenoles totales que comprende entre 18,8 a 33,7% (Ch-Sd-Raw2/Ch-Sd-Ext2 y Ch-Sd-Raw4/Ch-Sd-Ext4,

respectivamente), donde se ratifica que las muestras con mayor contenido de semilla de uva no fermentada (20%) presentaron concentraciones más altas que los formulados con menor proporción de semilla de uva no fermentada (5%), independientemente de la disminución provocada por el proceso de la extrusión. La disminución de los fenoles totales tras la extrusión puede deberse a la descarboxilación de ácidos fenólicos durante la extrusión, debido a la alta temperatura que implica el proceso y por otro lado, el contenido de humedad pueden promover la polimerización de fenoles y taninos, lo que reduce la capacidad de extracción (Brennan et al., 2011).

Por otro lado, el contenido de los flavonoides totales después de la extrusión también sufrió una variación entre 49,63 a 63,98 mg QE/100g, correspondientes a las muestras Ch-Sd-Ext2 y Ch-Sd-Ext4, respectivamente. Estos resultados ponen en evidencia una disminución estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) en el contenido de flavonoides totales entre las muestras de harinas crudas y extruidas. La disminución de los flavonoides totales por efecto de la extrusión estuvo entre 17,1 a 34,9% (Ch-Sd-Ext2 y Ch-Sd-Ext3, respectivamente), connotándose una retención de entre 65,1 a 82,9% (Ch-Sd-Ext3 y Ch-Sd-Ext2, respectivamente), sobre la cual, otros estudios refirieron que la alta humedad de alimentación (10 a 20%), la baja temperatura (120 a 180°C) y alta velocidad del tornillo (200 a 400 rpm) retiene un porcentaje considerable de compuestos fenólicos comprendidos entre 54 a 78% en mijo y de 86 a 89% en sorgo (Patil, Varghese, G Rudra, & Kaur, 2016).

Por último, el efecto de la extrusión sobre el contenido de antocianinas totales, fluctuaron entre 0,17 mg cianidina-3-glucósido/100g a 0,63 mg cianidina-3-glucósido/100g (Ch-Sd-Ext1 y Ch-Sd-Ext4, respectivamente). Se ha observado una disminución significativa de antocianinas totales, en el orden de 35,6% (Ch-Sd-Raw2/Ch-Sd-Ext2) a 55,7 % (Ch-Sd-Raw3/Ch-Sd-Ext3), algunos autores también reportaron las pérdidas de antocianinas

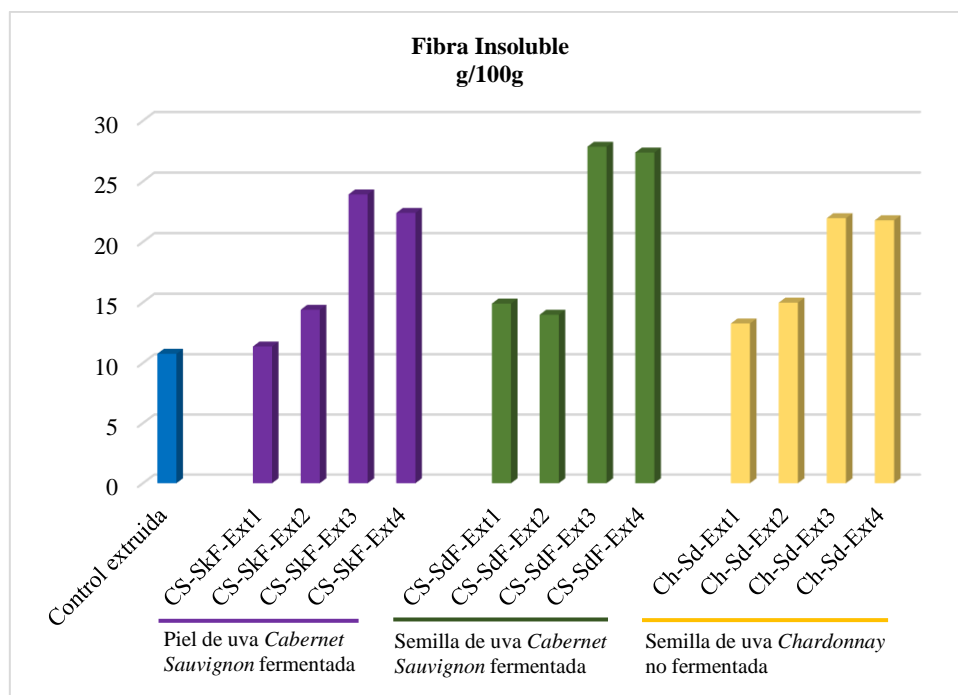
debidas al proceso de extrusión (Khanal, Howard, & Prior, 2009), sin embargo, la extrusión permite el procesamiento de materiales a alta temperatura a corto tiempo, evita el daño térmico excesivo a las antocianinas lábiles (Menchaca-Armenta et al., 2021), por el cual se explicaría la variación en la retención de antocianinas totales que fluctuaron desde 44,3 a 64,4% correspondientes al par de muestras Ch-Sd-Raw3/Ch-Sd-Ext3 y Ch-Sd-Raw2/Ch-Sd-Ext2, respectivamente. Sin embargo, estudios previos, aseguraron que el contenido de las antocianinas totales tras el proceso de extrusión disminuyó cuando las condiciones de extrusión fueron, mayor temperatura y menor contenido de humedad y la degradación más baja encontraron a temperatura baja y mayor contenido de humedad (Hirth et al., 2014).

### 5.5. COMPARACIÓN DE LOS ALIMENTOS EXTRUIDOS

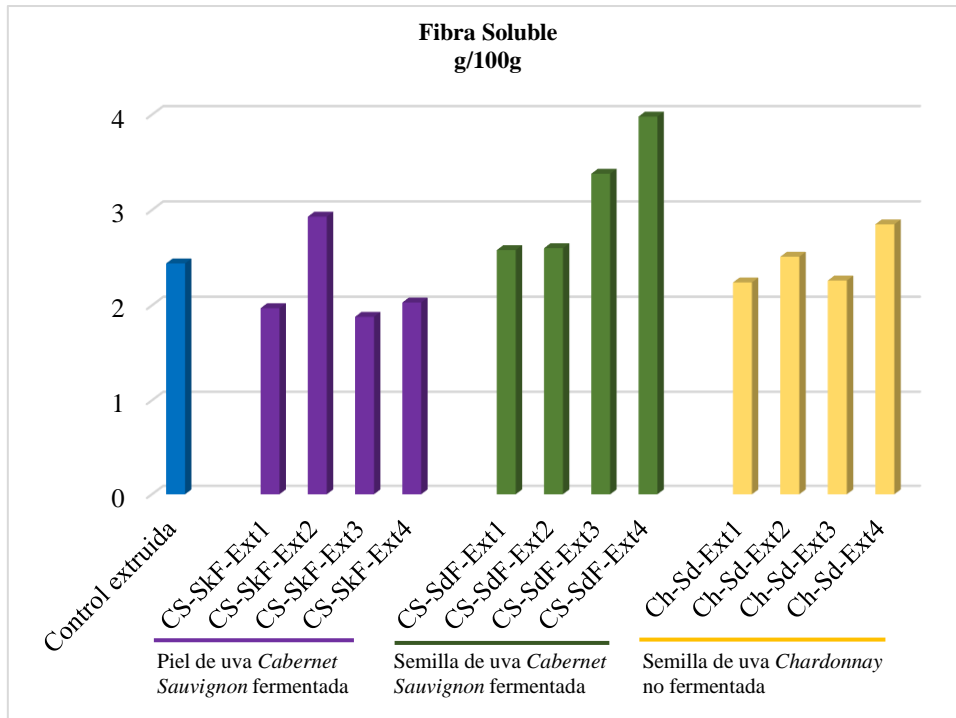
En este apartado se realiza una comparación de los resultados analíticos obtenidos en el análisis de las distintas formulaciones realizadas con el fin de seleccionar aquella formulación con mejor calidad nutricional y funcional.

Respecto al **contenido de fibra**, como puede observarse en las figuras 41 a 43, la adición tanto de piel como de semillas de uva a las harinas (maíz:lenteja, 70:30) supone un aumento significativo del contenido de Fibra Total, siendo la fracción de Fibra Insoluble la que contribuye a este aumento en mayor medida.

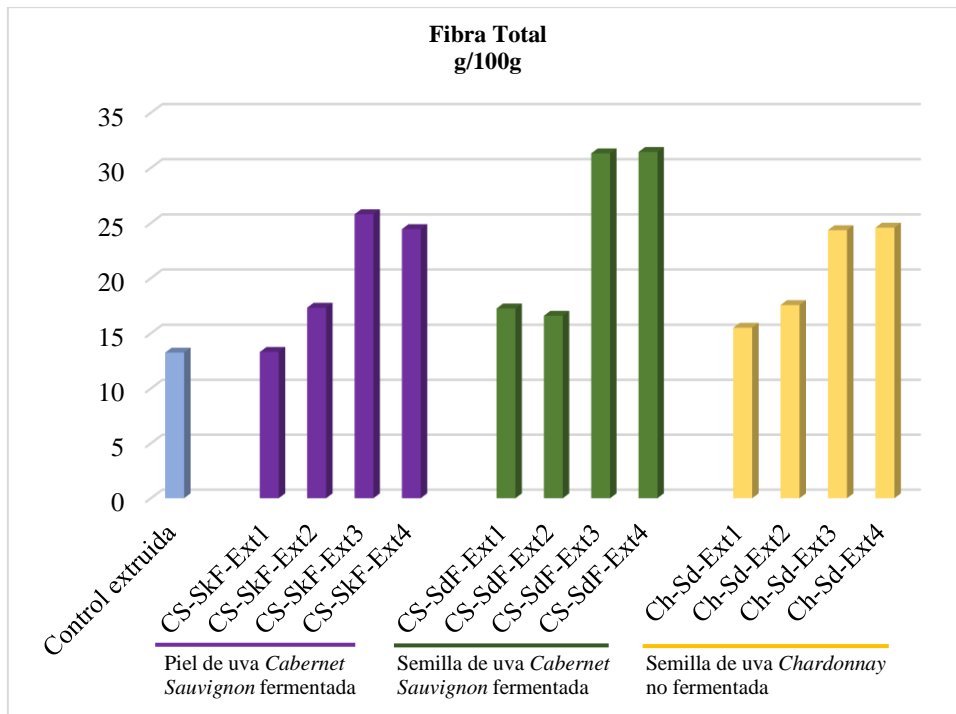
Dentro de las distintas formulaciones, aquellas con un 20% de semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada destacan por su mayor contribución, mientras que la adición de almidón Hylon® V no supone ningún efecto significativo.



**Figura 41.** Contenido de **Fibra Insoluble** en harinas extruidas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de piel y semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada, y semilla de uva *Chardonnay* no fermentada.



**Figura 42.** Contenido de **Fibra Soluble** en harinas extruidas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de piel y semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada, y semilla de uva *Chardonnay* no fermentada.

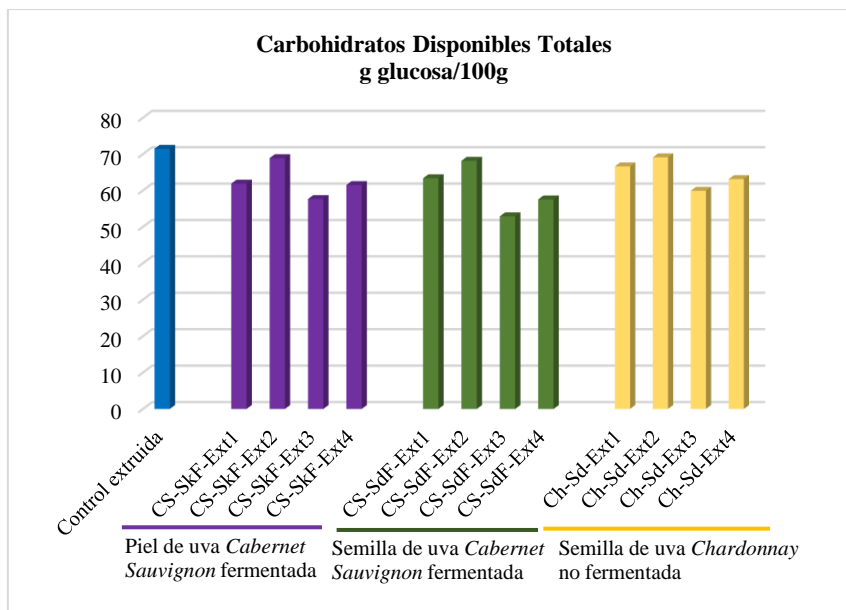


**Figura 43.** Contenido de **Fibra Total** en harinas extruidas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de piel y semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada, y semilla de uva *Chardonnay* no fermentada.

Todas las harinas consideradas en este estudio, de acuerdo con el Reglamento (CE) n°1924/2006 pueden considerarse como *fuentes de fibra* (al contener más de 3 g/100g), siendo todas ellas formulaciones interesantes para el desarrollo de alimentos funcionales.

Las harinas extruidas con un 20% de semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada (con independencia del porcentaje de Hylon® V adicionado) presentaron un contenido de fibra superior a 25 g/100g. Esto significa que 100 g de este alimento cubriría las necesidades diarias de fibra de acuerdo con las recomendaciones de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, 2017) que establece un valor de 25 g de fibra/día como valor dietético de referencia (DRV) para personas adultas y 21 g de fibra/día para jóvenes y adolescentes.

Respecto al **contenido en carbohidratos disponibles totales**, expresados como gramos de glucosa en 100 g de alimento extruido, como se observa en la figura 44, las distintas formulaciones consideradas en este estudio tienen un contenido en hidratos de carbono totales inferior al de la harina control.

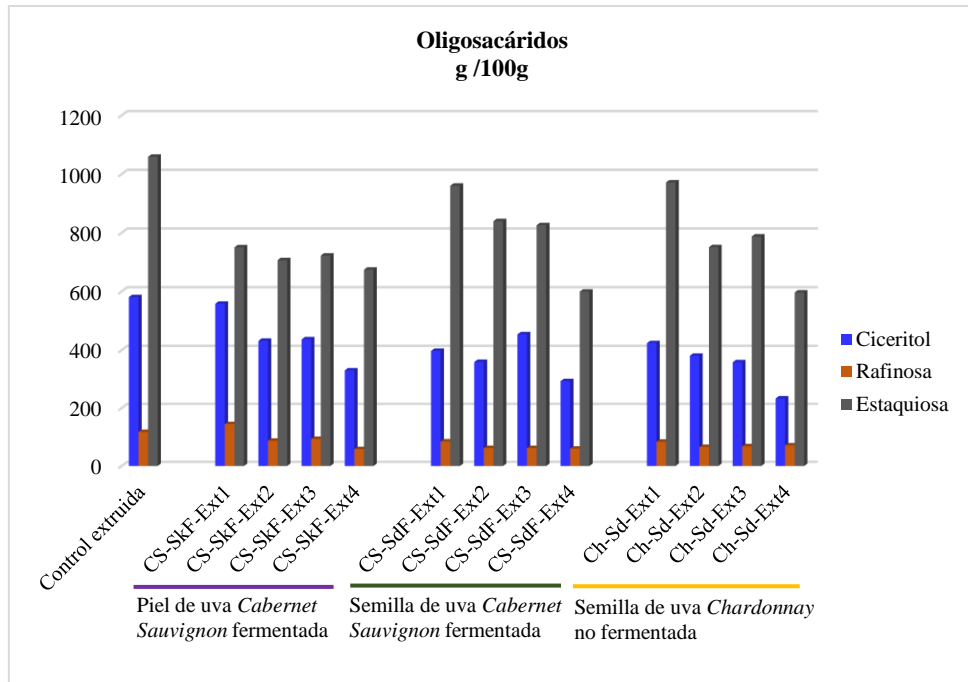


**Figura 44.** Contenido de **Carbohidratos disponibles totales** harinas extruidas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de piel y semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada, y semilla de uva *Chardonnay* no fermentada.

Como se ha comentado en capítulos anteriores esto es debido a que la mezcla de harinas (maíz y lenteja, 70:30) es el aporte mayoritario a este macronutriente. Su sustitución tanto por piel como por semilla de uva (fermentada o no), o la incorporación de Hylon® V no suponen un aporte significativo de carbohidratos que compense en su totalidad la disminución por la menor presencia de harinas en las formulaciones.

Esta disminución en el contenido en carbohidratos totales tiene un efecto beneficioso en la reducción del valor calórico de las harinas extruidas que pasan de proporcionar 285,84 (harina control extruida) a 211,64 (de la muestra CS-SdF-Ext3) Kcal/100g (procedentes de los CDT). La formulación con menor valor calórico corresponde a las harinas formuladas con un 20% de semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y un 5% de Hylon® V.

Si profundizamos en la identificación y cuantificación de los distintos **oligosacáridos** presentes en las harinas extruidas analizadas podemos ver que la estaquiosa es el oligosacárido  $\alpha$ -galactósido mayoritario en todas ellas seguido del ciceritol y en cantidad significativamente inferior la rafinosa.



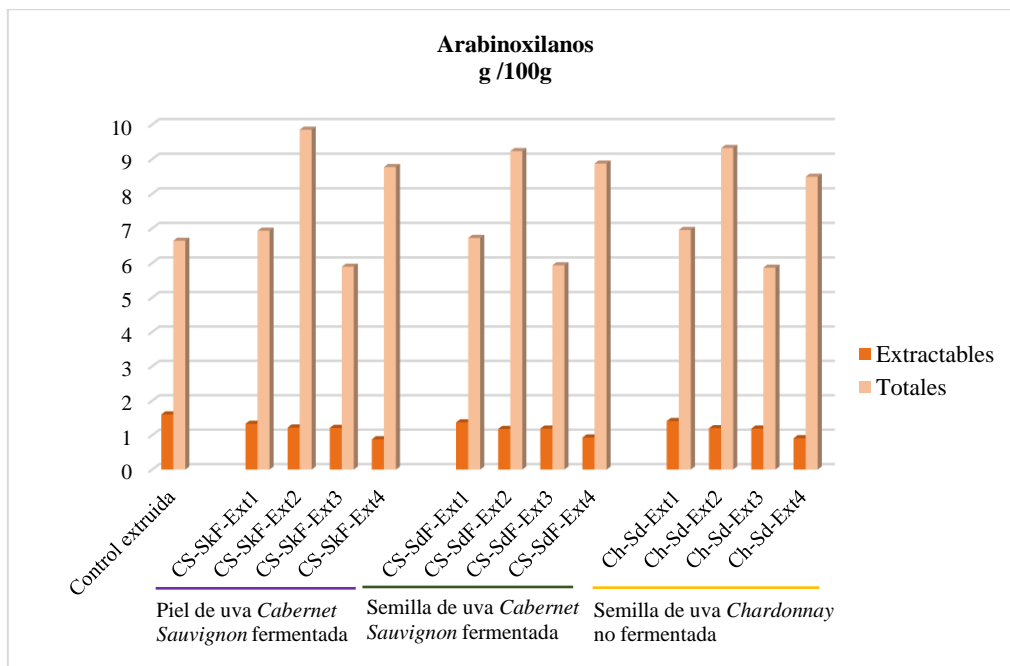
**Figura 45.** Contenido de **oligosacáridos** en harinas extruidas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de piel y semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada, y semilla de uva *Chardonnay* no fermentada.

A pesar del carácter prebiótico de estos compuesto y dado que los  $\alpha$ -galactosidos se caracterizan por su potencial flatulento, la extrusión es una tecnología interesante para disminuir su contenido, pues las condiciones de temperatura, humedad y trabajo mecánico aplicados producen una hidrólisis parcial de estos oligosacáridos con la consiguiente liberación de los monosacáridos correspondientes. En este sentido la formulación más interesante, aquella con menor contenido de oligosacáridos es la muestra Ch-Sd-Ext4 que corresponde a la harina de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de un 20% de semilla de uva *Chardonnay* no fermentada y un 20% Hylon® V.

Otro componente de interés en las harinas analizadas son **arabinosilanos**, estos compuestos se caracterizan por tener efectos beneficiosos a nivel metabólico ya que contribuyen a mantener niveles adecuados de colesterol y glucosa en sangre (Broekaert et al., 2011; Chen et al., 2019). Hoy en día, no existe una alegación de propiedades

saludables aprobada por la EFSA en relación con el contenido de arabinosilanos en legumbres. Pero, de acuerdo con el Reglamento (UE) N° 432/2012 los arabinosilanos producidos a partir del albumen de trigo tienen autorizado el uso de la siguiente declaración de propiedades saludables: “*el consumo de arabinosilanos en una comida contribuye a reducir la subida de glucosa en sangre después de comer*”. No obstante, en el citado Reglamento se especifica que esta declaración solo puede utilizarse respecto a alimentos que contengan, como mínimo, 8 g de fibra con alto contenido de arabinosilanos producidos a partir del albumen de trigo (al menos un 60% de arabinosilanos en peso) por 100 g de hidratos de carbono presentes en una porción cuantificada en una comida.

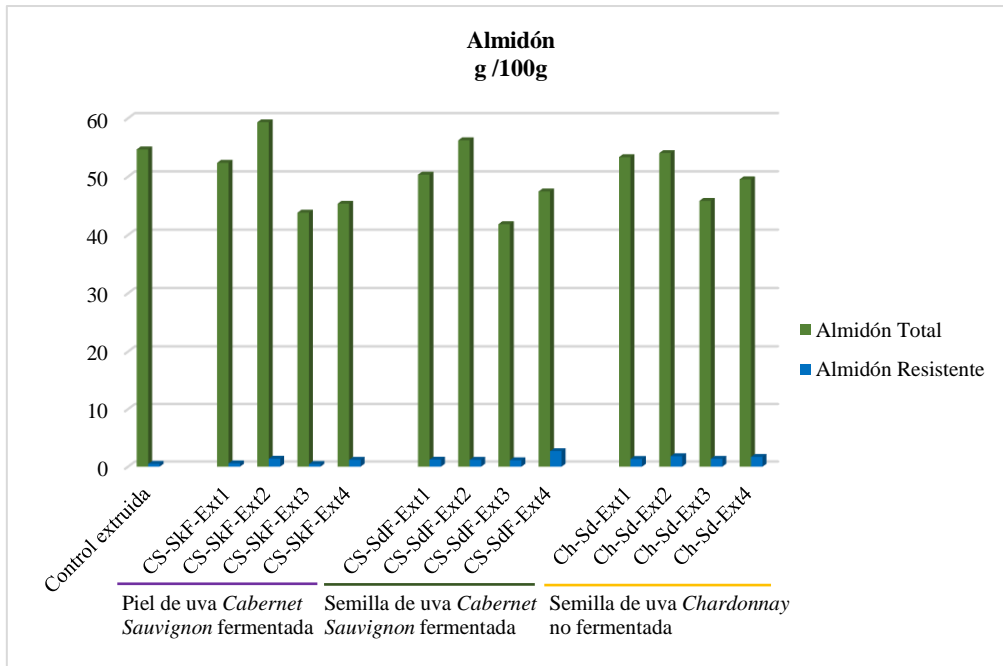
Como se observa en la figura 46 todas las formulaciones presentan un contenido en arabinosilanos extractables algo inferior al de la harina control extruida.



**Figura 46.** Contenido de **arabinosilanos** en harinas extruidas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de piel y semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada, y semilla de uva *Chardonnay* no fermentada.

Los cambios más significativos se observan en el aumento del contenido de arabinoxilanos totales en aquellas muestras con código 2 (harina de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de un 5% de subproducto de vinificación y un 20% Hylon® V), y código 4 (harina de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de un 20% de subproducto de vinificación) y un 20% Hylon® V. Esto significa que es el Hylon® V el ingrediente que contribuye en mayor medida al contenido en arabinoxilanos totales, con independencia del subproducto de vinificación adicionado (piel o semilla) y de la variedad de uva considerada *Cabernet Sauvignon* ó *Chardonnay*.

Respecto al contenido en **almidón**, la fracción de **almidón resistente** es la minoritaria si bien es superior en las harinas extruidas y formuladas que en las harinas control, posiblemente debido a la incorporación de Hylon® V, ya que el procesamiento de alimentos que involucra calor y humedad generalmente destruye almidón resistente tipo 1 y 2 (inaaccesible físicamente y almidón nativo, respectivamente) formándose almidón resistente tipo 3 (almidón retrogradado), que puede constituirse como un potencial ingrediente alimentario, ya que generalmente es estable a los tratamientos térmicos y continúa estable después de la mayoría de los procesos alimentarios (Matcioglu et al., 2017). Respecto al contenido en almidón total destacan las muestras con código 2 (5% de subproducto y 20% de Hylon® V) y en concreto la muestra CS-SkF-Ext2 formulada con un 5% de piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y 20% de Hylon® V.

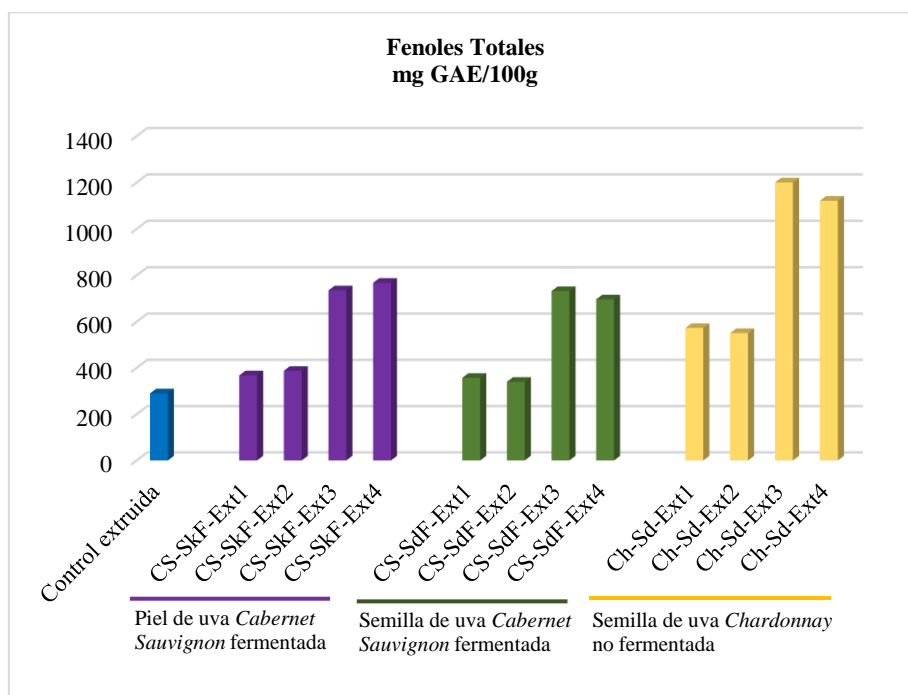


**Figura 47.** Contenido de **almidón** en harinas extruidas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de piel y semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada, y semilla de uva *Chardonnay* no fermentada.

Estos resultados sugieren que es la mezcla de harina (maíz y lenteja) quien contribuye en mayor medida al contenido de almidón y que su disminución en la formulación puede ser únicamente compensada con la incorporación del almidón Hylon® V.

En las harinas extruidas control (maíz y lenteja 70:30), la proporción de amilosa:amilopectina era de 20:80 siendo el mayor aporte el del maíz. En las distintas formulaciones ensayadas la proporción es similar disminuyendo algo el contenido de amilopectina en favor de la amilosa, destacando de nuevo las muestras con código 2 (5% de subproducto y 20% de Hylon® V) en las que se llega a una relación amilosa:amilopectina de 27:73, con independencia del subproducto adicionado. Esto significa que el mayor aporte de amilopectina está condicionado por la mayor presencia de harina (maíz y lenteja) y que el Hylon® V tras el proceso de extrusión aporta amilosa.

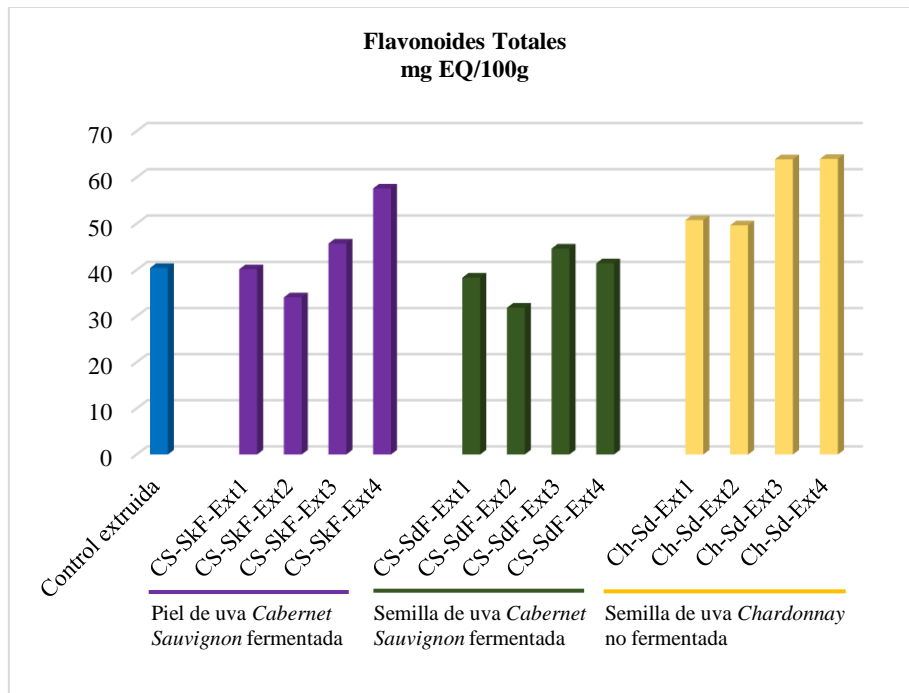
Si realizamos el estudio comparativo del **contenido en compuestos fenólicos**, en la figura 48 se observa que el contenido en fenoles totales es superior en todas las formulaciones en comparación con la harina control, y que son las formulaciones con una incorporación de subproducto de uva del 20% (códigos 3 y 4) las que presentan mayores contenidos destacando aquellas formuladas con semilla de uva *Chardonnay* sin fermentar, con valores seis veces superiores de fenoles totales en comparación con la harina control extruida. Esto significa que la adición de subproductos de la uva tiene un efecto positivo en la calidad funcional de las harinas extruidas por el potencial antioxidante que aportan a las mismas.



**Figura 48.** Contenido de **Fenoles totales** en harinas extruidas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de piel y semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada, y semilla de uva *Chardonnay* no fermentada.

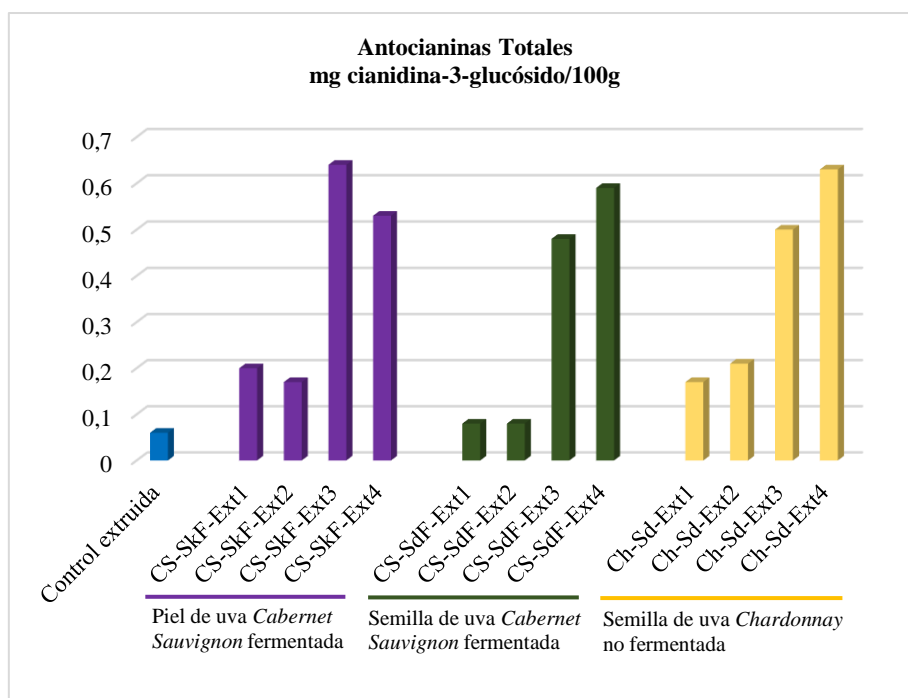
Si nos fijamos ahora en los **contenidos en Flavonoides totales** (figura 49) vuelven a destacar las formulaciones con semilla de uva *Chardonnay* sin fermentar tanto con un 5%

y aún más con 20% de subproducto. Esto significa que el potencial antioxidante debido a la pigmentación amarilla de esta variedad es superior al de *Cabernet Sauvignon*.



**Figura 49.** Contenido de **Flavonoides totales** en harinas extruidas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de piel y semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada, y semilla de uva *Chardonnay* no fermentada.

Por último, el estudio comparativo del **contenido en antocianinas totales** pone en evidencia (figura 50) que todas las formulaciones ensayadas presentan contenidos superiores de este compuesto bioactivo que la harina control.



**Figura 50.** Contenido de **Antocianinas totales** en harinas extruidas de maíz y lenteja (70:30) con incorporación de piel y semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada, y semilla de uva *Chardonnay* no fermentada.

Además, los valores son significativamente muy superiores cuando la adición de subproductos de vinificación llega al 20% tanto piel como semillas y en ambas variedades, *Cabernet Sauvignon* y *Chardonnay*.



A graphic element consisting of a circle on the left containing the number '6', followed by a horizontal bar with rounded ends containing the text 'CONCLUSIONES/CONCLUSIONS'.

**6** **CONCLUSIONES/CONCLUSIONS**



## CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS DE PARTIDA

1.- La harina control considerada en el presente trabajo estuvo constituida por: 93,75% de una mezcla de harinas (70% de maíz y 30% de lenteja) más 1,25% de sal y 5% de azúcar como aditivos de procesado. El propósito de esta combinación se justifica por la complementación de los aminoácidos esenciales entre ambos alimentos independientemente de su afinidad en el proceso tecnológico, ya que el maíz contiene menor cantidad de aminoácidos esenciales que la lenteja, convirtiéndose la harina base (maíz:lenteja) en un alimento con proteínas de alto valor biológico. Y respecto a su calidad nutricional y funcional se caracterizó por la presencia de los siguientes compuestos:

- Un contenido de fibra dietética total de 14,86 g/100g, distribuidas en una fracción insoluble de 13,37 g/100g y fracción soluble de 1,52 g/100g.
- La composición de carbohidratos disponibles totales fue de 67,10 g glucosa/100g, incluyendo 489,47 mg/100g de ciceritol y 1.026,83 mg/100g de  $\alpha$ -galactósidos totales.
- El contenido de arabinosilanos totales fue de 5,14 g/100g y de arabinosilanos extractables en agua de 0,93 g/100g.
- Un contenido en almidón total de 54,36g/100g con una distribución de amilosa:amilopectina de 1:3,5, en tanto la cantidad de almidón resistente fue de 3,18 g/100g.
- Y respecto a los compuestos fenólicos alcanzó 307,30 mg GAE/100g de fenoles totales, 49,28 mg EQ/100g de flavonoides totales y de 0,16 mg cianidina-3-glucósido/100g como expresión de antocianinas totales.

## **EFFECTO DE LA EXTRUSIÓN SOBRE LA COMPOSICIÓN DE LAS HARINAS CONTROL**

2.- El proceso de extrusión provocó una serie de cambios en la composición de las harinas:

- Una disminución de la fibra dietética total en un 10,8% (13,25 g/100g), debido a la solubilización parcial de la FI que disminuyó en un 19,5% (10,76 g/100g) con el consiguiente aumento de la fracción soluble FS que se incrementó en 60,5% (2,44 g/100g).
- Aumento de la extracción de carbohidratos disponibles totales, incrementando su contenido en 6,5% (71,46 g glucosa/100g). El ciceritol se aumentó en 18,6% (580,64 mg/100g) y los  $\alpha$ -galactósidos como rafinosa y estaquiosa se incrementaron en 15,1% (117,55 mg/100g) y 14,5% (1.059,22 mg/100g), respectivamente.
- Destaca el significativo aumento de los arabinosilanos extractables y totales que incrementaron su contenido un 72,0% (1,60 g/100g) y 29,1% (6,64 g/100g), respectivamente.
- La extrusión no tuvo efecto significativo en la cantidad de almidón total.
- Los compuestos fenólicos en harinas extruidas disminuyeron un 5,6% (290,13 mg GAE/100g) los fenoles totales, en 18,0% (40,43 mg EQ/100g) los flavonoides y en 62,5% (0,06 mg cianidina-3-glucósido/100g) las antocianinas totales.

## **EFFECTO DE LAS FORMULACIONES SOBRE LA FRACCIÓN HIDROCARBONADA Y COMPUESTOS FENÓLICOS**

3.- La incorporación de subproductos de vinificación (piel/semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada o semilla de uva *Chardonnay* no fermentada) (5% y 20%), más

almidón Hylon V (5% y 20%) a las harinas base tuvo una **influencia significativa en la fracción de hidratos de carbono**.

**4.-** La cantidad de la **fibra total** en las harinas enriquecidas con piel de uva fermentada *Cabernet Sauvignon* fue de 15,23 g/100g en la formulaciones con una mayor proporción de harina base (harina de maíz y lenteja) (83,75%) y de 22,69 g/100g en la formulaciones con una menor proporción de harina base (53,75%). Por su parte las harinas enriquecidas con semilla de uva fermentada *Cabernet Sauvignon* presentaron 17,99 g/100g en la formulaciones con una mayor proporción de harina base y de 31,80 g/100g en la formulaciones con una menor proporción de harina base (53,75%). Así también, las harinas enriquecidas con semilla de uva no fermentada *Chardonnay* alcanzaron valores de 17,02 g/100g en la formulaciones con una mayor proporción de harina base y de 24,62 g/100g en la formulaciones con una menor proporción de harina base (53,75%). La mayor cantidad de la fibra total se encontró en las formulaciones con menor proporción de harinas base y con una mayor proporción de subproductos de la uva (20%), lo que destaca una clara contribución de fibra dietética por parte de los subproductos de la uva y en cantidades menores de parte del Hylon® V. Siendo la fibra insoluble de mayor aporte a la fibra dietética que la fibra soluble.

**5.-** El contenido de los **carbohidratos disponibles totales (CDT)** varió entre 50,53 g glucosa/100g y 66,83 g/100g en formulaciones con piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada. En tanto las formulaciones enriquecidas con semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada osciló su contenido de 52,57 g glucosa/100g y 63,47 g glucosa/100g. En formulaciones enriquecidas con semilla de uva *Chardonnay* no fermentada, el contenido en CDT varió entre 50,88 g glucosa/ 100g y 62,10 g glucosa/100g. En todos los casos, los subproductos de la uva no influyeron en la cantidad de los carbohidratos disponibles.

**6.-** La distribución y cantidad de azúcares solubles como **ciceritol y los  $\alpha$ -galactósidos (rafinosa y estaquiosa)**, dependió en gran medida de la proporción de la mezcla maíz y lenteja en las formulaciones, debido a que el Hylon® V y los subproductos de la uva no son fuente de estos azúcares. Destaca la estaquiosa con la mayor cantidad (entre 549,80 mg/100g a 868,43 mg/100g), seguido de ciceritol (entre 190,30 mg/100g a 427,95 mg/100g) y en menor cantidad la rafinosa (entre 45,80 mg/100g a 96,00 mg/100g).

**7.-** El contenido de **arabinosilanos** totales varió entre 4,47 g/100g a 7,44 g/100g y las cantidades de arabinosilanos extractables variaron desde 0,53 g/100g a 0,85 g/100g en todas las formulaciones. Este contenido de los arabinosilanos totales y extractables fue influenciado exclusivamente por la presencia de la mezcla maíz y lenteja, y se incrementaron en aquellas formulaciones con 20% de Hylon® V, debido a que este ingrediente se obtiene a partir del maíz.

**8.-** El contenido de **almidón total** varió entre 42,55 g/100g a 58,41 g/100g entre todas las formulaciones. Existiendo una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) de mayores concentraciones de **almidón resistente** en las formulaciones conformadas con el 20% de Hylon® V que las formuladas con 5% de Hylon® V.

**9.-** La incorporación de subproductos de vinificación supuso un aumento del contenido de **fenoles totales, flavonoides y antocianinas totales**, en las harinas analizadas. El contenido de estos compuestos en las formulaciones enriquecidas con 20% de piel/semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada o semilla de uva *Chardonnay* no fermentada, fue significativamente ( $p < 0,05$ ) superior que los formulados con el 5% de este ingrediente, independientemente de la contribución por parte de la mezcla maíz y lenteja.

## EFFECTO DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN SOBRE LA FRACCIÓN HIDROCARBONADA Y LOS COMPUESTOS FENÓLICOS EN HARINAS FORMULADAS

**10.-** La extrusión incrementó la **fibra soluble** (FS) entre 21,60% a 87,82% decreciendo a la **fibra insoluble** (FI) entre 8,92% a 17,20% en formulaciones enriquecidas con piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada. Así mismo, en formulaciones enriquecidas con semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada, la FS incrementó su contenido en 5,30% a 45,25%, decreciendo la FI entre 2,49% a 8,81%. En las formulaciones enriquecidas con semilla de uva *Chardonnay* no fermentada, la FS se incrementó de 26,26% a 57,46%, decreciendo la FI en 3,18% a 13,73%. Estos cambios se deben a la ruptura de los enlaces glucosídicos que ocasiona el proceso de extrusión, por el cual, la FS mostró un aumento significativo ( $p < 0,05$ ) en la mayoría de las formulaciones, respecto a las formulaciones crudas.

**11.-** En cuanto a los **Carbohidratos disponibles totales** presentes en las muestras control extruidas, su contenido fue superior al de las distintas formulaciones, debido a que la mezcla de harinas (maíz y lenteja, 70:30) aporta mayoritariamente este macronutriente. La sustitución de piel o semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada o semilla de uva *Chardonnay* no fermentada, o la incorporación de Hylon® V no suponen un aporte significativo de carbohidratos disponibles totales que compense en su totalidad la disminución por la menor presencia de harinas en las formulaciones.

**12.-** Las harinas formuladas y extruidas presentaron una mayor cantidad de **estaquiosa**, seguido de **ciceritol** y cantidades significativamente inferiores de **rafinosa**. Las formulaciones con mayores proporciones de subproductos de la uva (20%) presentaron menores cantidades de estos oligosacáridos, que los formulados con la mayor proporción

de la mezcla maíz y lenteja (83,75%), obteniéndose un alimento extruido con menos de 37,4% de ciceritol, 34,7% de rafinosa y 28,8% de estaquiosa respecto a los valores de oligosacáridos formuladas con 83,75% de maíz y lenteja.

**13.-** El proceso de extrusión tuvo un efecto significativo sobre el contenido de **arabinoxilanos**, especialmente en las formulaciones con 68,75% de maíz y lenteja (con 5% de subproductos de la uva más el 20% de Hylon V) y 53,75% de maíz y lenteja (con 20% de subproductos de la uva más 20% de Hylon® V), donde se aprecia que la incorporación de Hylon® V independientemente de los subproductos de la uva, contribuyen en el contenido de los arabinoxilanos.

**14.-** El proceso de extrusión no tuvo ningún efecto significativo sobre el contenido de **almidón total** en la mayoría de las formulaciones. Si bien se aprecia una disminución del contenido en almidón resistente en todas las formulaciones extruidas, debido a las condiciones propias de todo proceso de extrusión, que implica, altas fuerzas de cizallamiento, alta temperatura, promoviendo la gelatinización casi completa del almidón en perjuicio de la estabilidad del almidón resistente. Esto tiene un efecto beneficioso al facilitar la digestibilidad de estos productos.

**15.-** El proceso de extrusión provocó una disminución del contenido en **compuestos fenólicos** (fenoles, flavonoides y antocianinas totales) en todas las formulaciones con algunas excepciones no significativas en las formulaciones con piel o semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada o semilla de y Hylon® V. Estas disminuciones, son propias del proceso de extrusión, sin embargo, pese a la disminución de los compuestos fenólicos, se puede apreciar, que las formulaciones con mayor cantidad de los subproductos de la uva (20%) mantuvieron una cantidad mayor respecto a los formulados con mayor cantidad de la mezcla maíz y lenteja (83,75% o 68,75%) y menor cantidad de

subproductos de la uva (5%), concretamente las formulaciones con piel de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y semilla de uva *Chardonnay* no fermentada, fueron las formulaciones con mayor cantidad de los compuestos fenólicos, destacando como un alimento con características funcionales.

### **COMPARACIÓN DE LAS DISTINTAS HARINAS EXTRUIDAS: CONTROL Y FORMULACIONES**

**16.-** Las distintas harinas enriquecidas con el 20% de subproductos de la uva presentaron los niveles más elevados de **fibra insoluble, soluble y total**, destacando las harinas enriquecidas con semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada.

**17.-** El contenido de **carbohidratos disponibles totales** en las formulaciones enriquecidas con los distintos subproductos de la uva, fue relativamente inferior al de las harinas control extruidas. Esto supone un efecto beneficioso por la reducción del valor calórico de estas harinas formuladas extruidas. La formulación con menor valor calórico corresponde a las harinas con un 20% de semilla de uva *Cabernet Sauvignon* fermentada y un 5% de Hylon® V.

**18.-** Las formulaciones con mayor proporción de los distintos subproductos de la uva (20%), presentaron niveles inferiores de **oligosacáridos**, convirtiéndolos en alimentos interesantes al disminuir o evitar el carácter flatulento de las harinas de leguminosas.

**19.-** Respecto a los **arabinosilanos**, todas las formulaciones con 20% de Hylon V independientemente de la cantidad de los subproductos de la uva, presentaron niveles elevados de los mismos. Estas formulaciones por tanto son alimentos interesantes por sus

efectos a nivel metabólico ya que podrían contribuir a mantener los niveles adecuados de colesterol y glucosa en sangre.

**20.-** Respecto al contenido en **almidón**, la fracción de almidón resistente es la minoritaria si bien es superior en las harinas extruidas y formuladas que en las harinas control, posiblemente debido a la incorporación de Hylon® V.

**21.-** El contenido en **fenoles totales** es superior en todas las formulaciones en comparación con la harina control, siendo las formulaciones con una incorporación de subproducto de uva del 20% las que presentan mayores contenidos destacando aquellas formuladas con semilla de uva *Chardonnay* sin fermentar, con valores seis veces superiores de fenoles totales en comparación con la harina control extruida.

### CONCLUSION FINAL:

La **incorporación de subproductos de vinificación** a las harinas a base de maíz y lenteja supone:

- Un aumento del contenido de fibra total. Todas las harinas consideradas en este estudio, de acuerdo con el Reglamento (CE) nº 1964/2006 pueden considerarse como *fente de fibra* (al contener más de 3 g/100g), siendo todas ellas formulaciones interesantes para el desarrollo de alimentos funcionales.
- Una disminución en el contenido en carbohidratos totales con un efecto beneficioso en la reducción del valor calórico de las harinas formuladas extruidas.
- Un aumento significativo de los contenidos en fenoles totales, flavonoides y especialmente antocianinas, con el consiguiente efecto positivo en la calidad funcional de las harinas formuladas extruidas por su potencial capacidad antioxidante.

Respecto a la **incorporación de Hylon® V** podemos asegurar que es el ingrediente que contribuye en mayor medida al contenido en arabinosilanos totales, con independencia del subproducto de vinificación adicionado (piel o semilla) y de la variedad de uva considerada *Cabernet Sauvignon* ó *Chardonnay*.

Las harinas de maíz y lenteja (70:30) formuladas con distintos subproductos de vinificación (piel y semillas) de las variedades *Cabernet Sauvignon* y *Chardonnay* pueden considerarse como de interés por su calidad nutricional y funcional para la obtención de alimentos extruidos tipo snaks.

## **CONCLUSIONS**

### **CHARACTERIZATION OF CONTROL FLOURS**

**1.-** The control flour considered in this work consisted of: 93.75% of a mixture of flours (70% corn and 30% lentil) plus 1.25% salt and 5% sugar as additives. The purpose of this combination is justified by the complementation of the essential amino acids between both foods (cereal and legume) regardless of their affinity in the technological process, since corn contains fewer essential amino acids than lentils, turning the base flour (corn:lentil) into a food with proteins of high biological value. On relation its nutritional and functional quality the following compounds were quantified:

- The raw control flour was characterized by a total dietary fiber content of 14.86 g/100g, distributed in an insoluble fraction of 13.37 g/100g and a soluble fraction of 1.52 g/100g.
- Total available carbohydrate composition was 67.10 g glucose/100g, including 489.47 mg/100g ciceritol and 1026.83 mg/100g total  $\alpha$ -galactosides.

## Conclusiones/Conclusions

---

- The total arabinoxylan content was 5.14 g/100g and the water soluble arabinoxylan content was 0.93 g/100g.
- A total starch content of 54.36g/100g with an amylose:amylopectin distribution of 1:3.5, while the amount of resistant starch was 3.18g/100g.
- Regarding the phenolic compounds, it reached 307.30 mg GAE/100g of total phenols, 49.28 mg EQ/100g of total flavonoids and 0.16 mg cyanidin-3-glucoside/100g as total anthocyanins.

### EXTRUSION EFFECT ON THE COMPOSITION OF CONTROL FLOURS

2.- The extrusion process induced a series of changes in the composition of the analysed flours:

- A decrease in total dietary fiber by 10.8% (13.25 g/100g), due to the partial solubilization of insoluble fiber (IF) which decreased by 19.5% (10.76 g/100g) with the consequent increase in the soluble fraction (FS) which increased by 60.5% (2.44 g/100g).
- Promote the extraction of total available carbohydrates, increasing its content by 6.5% (71.46 g glucose/100g). Ciceritol increased by 18.6% (580.64 mg/100g) and  $\alpha$ -galactosides, such as raffinose and stachyose, increased by 15.1% (117.55 mg/100g) and 14.5% (1,059.22 mg/100g), respectively.
- A significant increase in water soluble and total arabinoxylans, which increased their content by 72.0% (1.60 g/100g) and 29.1% (6.64 g/100g), respectively.
- The extrusion had no significant effect on the amount of total starch.
- Phenolic compounds in extruded flours decreased by 5.6% (290.13 mg GAE/100g) of total phenols, by 18.0% (40.43 mg EQ/100g) of flavonoids and by 62.5% (0.06 mg cyanidin-3-glucoside/100g) of total anthocyanins.

### **EFFECT OF THE FORMULATIONS ON THE HYDROCARBON FRACTION AND PHENOLIC COMPOUNDS**

3.- The incorporation of winemaking by-products (fermented *Cabernet Sauvignon* grape skin/seed or non-fermented *Chardonnay* grape seeds) (5% and 20%), plus Hylon® V starch (5% and 20%) to the base flours, had a significant influence on the carbohydrate fraction.

4.- The amount of total fiber in the flours enriched with fermented *Cabernet Sauvignon* grape skin was 15.23 g/100g in the formulations with the higher proportion of based flour (corn and lentil flour) (83.75%) and 22.69 g/100g in the formulations with the lower proportion of based flour (53.75%). On the other hand, the flours enriched with fermented *Cabernet Sauvignon* grape seeds presented 17.99 g/100g in the formulations with the higher proportion of based flour and 31.80 g/100g in the formulations with the lower proportion of based flour lentil (53.75%). Likewise, the flours enriched with non-fermented *Chardonnay* grape seeds reached values of 17.02 g/100g in the formulations with the higher proportion of based flour and 24.62 g/100g in the formulations with the lower proportion of based flour (53.75%). The highest amount of total fiber was found in the formulations with a lower proportion of based flour (Corn and lentil flour) and with a higher proportion of grape by-products (20%), which highlights a clear contribution of dietary fiber by by-products. from the grape and in smaller amounts from the Hylon® V. Insoluble fiber being the greatest contribution to dietary fiber than soluble fiber.

5.- The content of total available carbohydrates (CDT) varied between 50.53 g glucose/100g and 66.83 g/100g in formulations with fermented *Cabernet Sauvignon* grape skin. While the formulations enriched with fermented *Cabernet Sauvignon* grape

seeds oscillated their content from 52.57 g glucose/100g to 63.47 g glucose/100g. In formulations enriched with non-fermented *Chardonnay* grape seed, the CDT content varied between 50.88 g glucose/100g and 62.10 g glucose/100g. In all cases, grape by-products did not influence the amount of available carbohydrates.

**6.-** The distribution and quantity of soluble sugars such as ciceritol and  $\alpha$ -galactosides (raffinose and stachyose), mostly depended on the proportion of the corn and lentil based flour in the formulations, due to the fact that Hylon® V and by-products of the grape are not a source of these sugars. Stachyose stands out with the highest amount (between 549.80 mg/100g to 868.43 mg/100g), followed by ciceritol (between 190.30 mg/100g to 427.95 mg/100g) and to a lesser extent, raffinose (between 45.80 mg/100g to 96.00 mg/100g).

**7.-** The arabinoxylans content ranged from 4.47 g/100g to 7.44 g/100g and the amounts of water soluble arabinoxylans ranged from 0.53 g/100g to 0.85 g/100g in all formulations. This content of total and water soluble arabinoxylans was exclusively influenced by the presence of the corn and lentil flour, and they increased in those formulations with 20% Hylon® V, since this ingredient is obtained from corn.

**8.-** The total starch content varied between 42.55 g/100g to 58.41 g/100g among all the formulations. There is a significant difference ( $p < 0.05$ ) in higher concentrations of resistant starch in formulations made with 20% Hylon® V than those formulated with 5% of this ingredient.

**9.-** The incorporation of winemaking by-products led to an increase in the content of total phenols, flavonoids and total anthocyanins in the analyzed flours. The content of these compounds in the formulations enriched with 20% fermented *Cabernet Sauvignon* grape skin/seeds or non-fermented *Chardonnay* grape seeds was significantly ( $p < 0.05$ ) higher

than those formulated with 5% of this ingredient, regardless of the contribution from the corn and lentil based flour.

**EFFECT OF THE EXTRUSION PROCESS ON THE HYDROCARBON FRACTION AND THE PHENOLIC COMPOUNDS IN FORMULATED FLOURS**

**10.-** Extrusion process increased soluble fiber (SF) from 21.60% to 87.82%, decreasing insoluble fiber (FI) from 8.92% to 17.20% in formulations enriched with fermented *Cabernet Sauvignon* grape skin. Likewise, in formulations enriched with fermented *Cabernet Sauvignon* grape seed, the SF content increased from 5.30% to 45.25%, while the IF decreased from 2.49% to 8.81%. In the formulations enriched with non-fermented *Chardonnay* grape seeds, the SF increased from 26.26% to 57.46%, while the IF decreased from 3.18% to 13.73%. These changes are due to the breaking of the glycosidic bonds caused by the extrusion process, for which the SF showed a significant increase ( $p < 0.05$ ) in most of the extruded formulations, compared to the raw ones.

**11.-** Regarding the total available carbohydrates present in the extruded control samples, their content was higher than that of the different formulations, due to the fact that the based flours (corn and lentil, 70:30) mainly contributes this macronutrient. The replacement of skin or fermented *Cabernet Sauvignon* grape seeds or non-fermented *Chardonnay* grape seeds, or the incorporation of Hylon® V do not suppose a significant contribution of total available carbohydrates that fully compensates for the decrease due to the lower presence of flours in the formulations.

**12.-** The formulated and extruded flours presented a higher amount of stachyose, followed by ciceritol and significantly lower amounts of raffinose. The formulations with higher proportions of grape by-products (20%) had lower amounts of these oligosaccharides than

those formulated with the highest proportion of the corn and lentil flour (83.75%), obtaining an extruded food with less than 37.4% ciceritol, 34.7% raffinose and 28.8% stachyose with respect to the oligosaccharide values formulated with 83.75% corn and lentil based flour.

**13.-** The extrusion process had a significant effect on the content of arabinoxylans, especially in the formulations with 68.75% based flour (with 5% grape by-products plus 20% Hylon V) and 53,75% based lentil (with 20% grape by-products plus 20% Hylon® V), where it can be seen that the incorporation of Hylon® V, regardless of the grape by-products, highly contributes to the final content on arabinoxylans.

**14.-** The extrusion process did not have any significant effect on the total starch content in most of the formulations. Although there is a decrease in the resistant starch content in all the extruded formulations, due to the extrusion process conditions, which implies high shearing forces, high temperatures, promoting almost complete gelatinization of the starch to the detriment of the stability of resistant starch. This has a beneficial effect on its digestibility.

**15.-** The extrusion process caused a decrease in the content of phenolic compounds (phenols, flavonoids and total anthocyanins) in all formulations with some non-significant exceptions in formulations with skin or fermented *Cabernet Sauvignon* grape seed and Hylon® V. These decreases are typical of the extrusion process. Despite the decrease in phenolic compounds, it can be seen that the formulations with the highest amount of grape by-products (20%) maintained a higher content compared to those formulated with a greater amount of the corn and lentil mixture (83.75% or 68.75%) and a lower amount of grape by-products (5%), specifically the formulations with fermented *Cabernet Sauvignon* grape skin and non-fermented *Chardonnay* grape seed, were the

formulations with the highest amount of phenolic compounds, standing out as a food with functional characteristics.

### **COMPARISON OF DIFFERENT EXTRUDED FLOURS: CONTROL AND FORMULATIONS**

**16.-** The different flours enriched with 20% grape by-products presented the highest levels of insoluble, soluble and total fiber, highlighting the flours enriched with fermented *Cabernet Sauvignon* grape seeds.

**17.-** The content of total available carbohydrates in the formulations enriched with the different grape by-products was relatively lower than that of the extruded control flours. This supposes a beneficial effect due to the reduction of the caloric value of these extruded formulated flours. The formulation with the lowest caloric value corresponds to the flours with 20% fermented *Cabernet Sauvignon* grape seeds and 5% Hylon® V.

**18.-** The formulations with the highest proportion of the different grape by-products (20%), showed lower levels of oligosaccharides, making them interesting food ingredients by reducing or avoiding the flatulent character of pulses flours.

**19.-** Regarding arabinoxylans, all formulations with 20% Hylon® V regardless of the amount of grape by-products, presented high levels of the same. These formulations are therefore interesting foods due to their effects at the metabolic level, since they could contribute to maintaining adequate blood levels of cholesterol and glucose.

**20.-** Regarding the starch content, the resistant starch fraction is the minority, although it is higher in the extruded and formulated flours than in the control flours, possibly due to the incorporation of Hylon® V.

**21.-** The content of total phenols is higher in all the formulations compared to the control flour, being the formulations with a 20% incorporation of grape by-product the ones with the highest content, highlighting those formulated with non-fermented *Chardonnay* grape seed, with six times higher values of total phenols compared to the extruded control flour.

### FINAL REMARKS:

The **incorporation of winemaking by-products** into corn and lentil-based flours means:

- An increase in total fiber content. All flours considered in this study, in accordance with Regulation (EC) No. 1964/2006, can be considered as a *source of fiber* (containing more than 3 g/100g), all of them being interesting formulations for the development of functional foods.
- A decrease in the total carbohydrate content with a beneficial effect in reducing the caloric value of extruded formulated flours.
- A significant increase in the contents of total phenols, flavonoids and especially anthocyanins, with the consequent positive effect on the functional quality of the extruded formulated flours due to their potential antioxidant capacity. Regarding the incorporation of Hylon® V, we can ensure that it is the ingredient that contributes the most to the total arabinoxylan content, regardless of the winemaking by-product added (skin or seed) and the grape variety considered *Cabernet Sauvignon* or *Chardonnay*.

Related to the **addition of Hylon® V**, this ingredient has a significant effect on total arabinoxylans content with independence of the winemaking byproduct added (skin or seeds) and the grape variety considered *Cabernet Sauvignon* or *Chardonnay*.

## Conclusiones/Conclusions

---

Corn-lentil flours formulated with different winemaking byproducts (skin or seeds) from *Cabernet Sauvignon* or *Chardonnay* varieties could be considered as an interesting ingredients to obtain formulated extruded products as healthy snacks.





## BIBLIOGRAFÍA



- Abderrahim, Huanatico, E., Repo-Carrasco-Valencia, R., Arribas, S. M., Gonzalez, M. C., & Condezo-Hoyos, L. (2012). Effect of germination on total phenolic compounds, total antioxidant capacity, Maillard reaction products and oxidative stress markers in canihua (*Chenopodium pallidicaule*). *Journal of Cereal Science*, 56(2), 410-417. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.04.013>
- Abderrahim, F., Huanatico, E., Segura, R., Arribas, S., Gonzalez, M. C., & Condezo-Hoyos, L. (2015). Physical features, phenolic compounds, betalains and total antioxidant capacity of coloured quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) from Peruvian Altiplano. *Food Chemistry*, 183, 83-90. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.029>
- Adetuyi, F. O., & Ibrahim, T. A. (2014). Effect of Fermentation Time on the Phenolic, Flavonoid and Vitamin C Contents and Antioxidant Activities of Okra (*Abelmoschus esculentus*) Seeds. *Nigerian Food Journal*, 32(2), 128-137. doi:[https://doi.org/10.1016/S0189-7241\(15\)30128-4](https://doi.org/10.1016/S0189-7241(15)30128-4)
- Agama-Acevedo, E., Flores-Silva, P. C., & Bello-Perez, L. A. (2019). Chapter 3 - Cereal Starch Production for Food Applications. In M. T. P. Silva Clerici & M. Schmiele (Eds.), *Starches for Food Application* (pp. 71-102): Academic Press.
- Agama-Acevedo, E., Pacheco-Vargas, G., Bello-Pérez, L. A., & Alvarez-Ramirez, J. (2018). Effect of drying method and hydrothermal treatment of pregelatinized Hylon VII starch on resistant starch content. *Food Hydrocolloids*, 77, 817-824. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.11.025>
- Alam, M. S., & Aslam, R. (2020). Extrusion for the Production of Functional Foods and Ingredients. In *Reference Module in Food Science*: Elsevier.
- Altan, A., McCarthy, K. L., & Maskan, M. (2008). Twin-screw extrusion of barley–grape pomace blends: Extrudate characteristics and determination of optimum processing conditions. *Journal of Food Engineering*, 89(1), 24-32. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.03.025>
- Altan, A., McCarthy, K. L., & Maskan, M. (2009). Effect of Extrusion Cooking on Functional Properties and in vitro Starch Digestibility of Barley-Based Extrudates from Fruit and Vegetable By-Products. *Journal of food science*, 74, E77-86. doi:[10.1111/j.1750-3841.2009.01051.x](https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01051.x)

- Apolinar-Valiente, R., Gómez-Plaza, E., Terrier, N., Doco, T., & Ros-García, J. M. (2017). The composition of cell walls from grape skin in *Vitis vinifera* intraspecific hybrids. *J Sci Food Agric*, 97(12), 4029-4035. doi:10.1002/jsfa.8270
- Araneda, M. (2020, 18/08/2020). Legumbres, composición y propiedades. Retrieved from <https://www.edualimentaria.com/legumbres-composicion-y-propiedades>
- Arora, B., Yoon, A., Sriram, M., Singha, P., & Rizvi, S. S. H. (2020). Reactive extrusion: A review of the physicochemical changes in food systems. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 64, 102429. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102429>
- Arranz, S., & Saura Calixto, F. (2010). Analysis of polyphenols in cereals may be improved performing acidic hydrolysis: A study in wheat flour and wheat bran and cereals of the diet. *Journal of Cereal Science*, 51(3), 313-318. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.01.006>
- Arribas, C., Cabellos, B., Cuadrado, C., Guillamón, E., & Pedrosa, M. M. (2019a). The effect of extrusion on the bioactive compounds and antioxidant capacity of novel gluten-free expanded products based on carob fruit, pea and rice blends. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 52, 100-107. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.12.003>
- Arribas, C., Cabellos, B., Cuadrado, C., Guillamón, E., & Pedrosa, M. M. (2019b). Extrusion effect on proximate composition, starch and dietary fibre of ready-to-eat products based on rice fortified with carob fruit and bean. *LWT*, 111, 387-393. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.05.064>
- Ascheri, J. L., Carvalho, C. W., & Mitchell, J. R. (2002). Efecto del azúcar en la expansión, energía mecánica específica y textura en extruidos de maíz y trigo. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*(339), 53-60.
- Awika, J. M., Dykes, L., Gu, L., Rooney, L. W., & Prior, R. L. (2003). Processing of Sorghum (*Sorghum bicolor*) and Sorghum Products Alters Procyanidin Oligomer and Polymer Distribution and Content. *J Agric Food Chem*, 51(18), 5516-5521. doi:10.1021/jf0343128
- Bastida Cañada, O. A. (2022). Estadísticas agrícolas de lenteja en el mundo (1961-2020). Blog Agricultura. Retrieved from <https://blogagricultura.com/estadisticas-lenteja-produccion/#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20mundial%20de%20lenteja%20fue%20de%206%2C537%2C581,informaci%C3%B3n%20presentada%20en%20FAOSTAT%20para%20el%20a%C3%B1o%202020.>

- BeMiller, J. N. (2020). Resistant Starch. In J. Welti-Chanes, S. O. Serna-Saldívar, O. Campanella, & V. Tejada-Ortigoza (Eds.), *Science and Technology of Fibers in Food Systems* (pp. 153-183). Cham: Springer International Publishing.
- Berk, Z. (2018). Chapter 15 - Extrusion. In Z. Berk (Ed.), *Food Process Engineering and Technology (Third Edition)* (pp. 373-394): Academic Press.
- Berrios, Cámara, M., Torija, M. E., & Alonso, M. (2002). Effect of extrusion cooking and sodium bicarbonate addition on the carbohydrate composition of black bean flours. *Journal of Food Processing and Preservation*, 26(2), 113-128. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2002.tb00856.x>
- Berrios, J. D. J., Morales, P., Cámara, M., & Sánchez-Mata, M. C. (2010). Carbohydrate composition of raw and extruded pulse flours. *Food Research International*, 43(2), 531-536. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.035>
- Beswa, D., Dlamini, N. R., Amonsou, E. O., Siwela, M., & Derera, J. (2016). Effects of amaranth addition on the pro-vitamin A content, and physical and antioxidant properties of extruded pro-vitamin A-biofortified maize snacks. *J Sci Food Agric*, 96(1), 287-294. doi:10.1002/jsfa.7092
- Bhattacharya, S. (2017). Chapter 6 - Extrusion Technology and Glass Transition. In B. Bhandari & Y. H. Roos (Eds.), *Non-Equilibrium States and Glass Transitions in Foods* (pp. 137-152): Woodhead Publishing.
- Birkett, A. M., & Brown, I. L. (2007). 8 - Resistant starch. In C. J. K. Henry (Ed.), *Novel Food Ingredients for Weight Control* (pp. 174-197): Woodhead Publishing.
- Blandino, M., Bresciani, A., Locatelli, M., Loscalzo, M., Travaglia, F., Vanara, F., & Marti, A. (2023). Pulse type and extrusion conditions affect phenolic profile and physical properties of extruded products. *Food Chemistry*, 403, 134369. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134369>
- Błaszczak, W., Fornal, J., Kiseleva, V. I., Yuryev, V. P., Sergeev, A. I., & Sadowska, J. (2007). Effect of high pressure on thermal, structural and osmotic properties of waxy maize and Hylon VII starch blends. *Carbohydrate Polymers*, 68(3), 387-396. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.12.023>
- Bogoeva, A. L., & Durakova, A. G. (2020). Sorption characteristics of full-fatted grape seeds flour of Bulgarian origin. *Journal of Agriculture and Food Research*, 2, 100026. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100026>
- Bordiga, M., Meudec, E., Williams, P., Montella, R., Travaglia, F., Arlorio, M., . . . Doco, T. (2019). The impact of distillation process on the chemical composition and

- potential prebiotic activity of different oligosaccharidic fractions extracted from grape seeds. *Food Chemistry*, 285, 423-430. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.175>
- Bowers, J. E., & Meredith, C. P. (1997). The parentage of a classic wine grape, Cabernet Sauvignon. *Nature Genetics*, 16(1), 84-87. doi:10.1038/ng0597-84
- Brennan, C., Brennan, M., Derbyshire, E., & Tiwari, B. K. (2011). Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 22(10), 570-575. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.05.007>
- Brillante, L., Gaiotti, F., Lovat, L., Vincenzi, S., Giacosa, S., Torchio, F., . . . Tomasi, D. (2015). Investigating the use of gradient boosting machine, random forest and their ensemble to predict skin flavonoid content from berry physical–mechanical characteristics in wine grapes. *Computers and Electronics in Agriculture*, 117, 186-193. doi:<https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.07.017>
- Broekaert, W. F., Courtin, C. M., Verbeke, K., Van de Wiele, T., Verstraete, W., & Delcour, J. A. (2011). Prebiotic and other health-related effects of cereal-derived arabinoxylans, arabinoxylan-oligosaccharides, and xylooligosaccharides. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 51(2), 178-194. doi:10.1080/10408390903044768
- Camara, M., Fernandez-Ruiz, V., Morales, P., & Sanchez-Mata, M. C. (2017). Fiber Compounds and Human Health. *Curr Pharm Des*, 23(19), 2835-2849. doi:10.2174/1381612823666170216123219
- Cámara, M., Giner, R. M., González-Fandos, E., López-García, E., Mañes, J., Portillo, M. P., . . . Martínez, J. A. (2021). Food-Based Dietary Guidelines around the World: A Comparative Analysis to Update AESAN Scientific Committee Dietary Recommendations. *Nutrients*, 13(9). doi:10.3390/nu13093131
- Camire, M. E. (2012). Nutritional Changes during Extrusion Cooking. In *In Advances in Food Extrusion Technology* (Medeni Maskan & Aylin Altan ed., pp. 87-101). Boca Raton London New York: Taylor & Francis CRC Press.
- Canalejo, D., Guadalupe, Z., Martínez-Lapuente, L., Ayestarán, B., & Pérez-Magariño, S. (2021). Optimization of a method to extract polysaccharides from white grape pomace by-products. *Food Chemistry*, 365, 130445. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130445>

- Carocho, M., & Ferreira, I. C. (2013). The role of phenolic compounds in the fight against cancer--a review. *Anticancer Agents Med Chem*, 13(8), 1236-1258. doi:10.2174/18715206113139990301
- Carvalho, C. W. P., Takeiti, C. Y., Onwulata, C. I., & Pordesimo, L. O. (2010). Relative effect of particle size on the physical properties of corn meal extrudates: Effect of particle size on the extrusion of corn meal. *Journal of Food Engineering*, 98(1), 103-109. doi:https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.12.015
- Chaiyakul, S., Jangchud, K., Jangchud, A., Wuttijumnong, P., & Winger, R. (2009). Effect of extrusion conditions on physical and chemical properties of high protein glutinous rice-based snack. *LWT - Food Science and Technology*, 42(3), 781-787. doi:https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.09.011
- Chaudhary, A. L., Miler, M., Torley, P. J., Sopade, P. A., & Halley, P. J. (2008). Amylose content and chemical modification effects on the extrusion of thermoplastic starch from maize. *Carbohydrate Polymers*, 74(4), 907-913. doi:https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.05.017
- Cheetham, N. W. H., & Tao, L. (1998). Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: an X-ray powder diffraction study. *Carbohydrate Polymers*, 36(4), 277-284. doi:https://doi.org/10.1016/S0144-8617(98)00007-1
- Chen, Z., Li, S., Fu, Y., Li, C., Chen, D., Chen, H. (2019). Arabinoxylan structural characteristics, interaction with gut microbiota and potential health functions. *Journal of Functionals Foods*, 54, 536-551. doi:https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.02.007
- Chen, Q., Zhang, J., Zhang, Y., Kaplan, D. L., & Wang, Q. (2022). Protein-amylose/amylopectin molecular interactions during high-moisture extruded texturization toward plant-based meat substitutes applications. *Food Hydrocolloids*, 127, 107559. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107559
- Cheng, W., Gao, L., Wu, D., Gao, C., Meng, L., Feng, X., & Tang, X. (2020). Effect of improved extrusion cooking technology on structure, physiochemical and nutritional characteristics of physically modified buckwheat flour: Its potential use as food ingredients. *LWT*, 109872. doi:https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109872
- Chevanan, N., Rosentrater, K. A., & Muthukumarappan, K. (2008). Effect of DDGS, Moisture Content, and Screw Speed on Physical Properties of Extrudates in

- Single-Screw Extrusion. *Cereal Chemistry*, 85(2), 132-139. doi:10.1094/cchem-85-2-0132
- Ciudad-Mulero. (2021). *Harinas como fuente de compuestos bioactivos: tradición e innovación*. (Tesis Doctoral). Universidad Complutense de Madrid - UCM, Facultad de Farmacia. Retrieved from <https://eprints.ucm.es/id/eprint/65955/>
- Ciudad-Mulero, Barros, L., Fernandes, Â., Berrios, J. J., Cámara, M., Morales, P., . . . Ferreira, I. (2018). Bioactive compounds and antioxidant capacity of extruded snack-type products developed from novel formulations of lentil and nutritional yeast flours. *Food Funct*, 9(2), 819-829. doi:10.1039/c7fo01730h
- Ciudad-Mulero, Vega, E. N., García-Herrera, P., Pedrosa, M. M., Arribas, C., Berrios, J. D. J., . . . Morales, P. (2022). Extrusion Cooking Effect on Carbohydrate Fraction in Novel Gluten-Free Flours Based on Chickpea and Rice. *Molecules*, 27(3), 1143. Retrieved from <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/3/1143>
- Ciudad-Mulero, M., Fernández-Ruiz, V., Cuadrado, C., Arribas, C., Pedrosa, M. M., De, J. B. J., . . . Morales, P. (2020). Novel gluten-free formulations from lentil flours and nutritional yeast: Evaluation of extrusion effect on phytochemicals and non-nutritional factors. *Food Chem*, 315, 126175. doi:10.1016/j.foodchem.2020.126175
- Ciudad-Mulero, M., Fernández-Ruiz, V., Matallana-González, M. C., & Morales, P. (2019). Chapter Two - Dietary fiber sources and human benefits: The case study of cereal and pseudocereals. In I. C. F. R. Ferreira & L. Barros (Eds.), *Advances in Food and Nutrition Research* (Vol. 90, pp. 83-134): Academic Press.
- Collar, C. (2019). Chapter 11 - Gluten-Free Dough-Based Foods and Technologies. In J. R. N. Taylor & K. G. Duodu (Eds.), *Sorghum and Millets (Second Edition)* (pp. 331-354): AACC International Press.
- Conde, C., Silva, P., Fontes, N., Dias, A., Tavares, R., Sousa, M., . . . Gerós, H. (2006). Biochemical changes throughout Grape Berry development and fruit and wine quality. *Food*, 1.
- Costa, Tonon, R. V., Mellinger-Silva, C., Galdeano, M. C., Iacomini, M., Santiago, M. C., . . . Freitas, S. P. (2019). Grape seed pomace as a valuable source of antioxidant fibers. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(10), 4593-4601. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.9698>

- Costa, E., Cosme, F., Jordão, A. M., & Mendes-Faia, A. (2014). Anthocyanin profile and antioxidant activity from 24 grape varieties cultivated in two Portuguese wine regions. *OENO One*, *48*(1), 51-62. doi:10.20870/oeno-one.2014.48.1.1661
- Cotacallapa-Sucapuca, M., Vega, E. N., Maieves, H. A., Berrios, J. D. J., Morales, P., Fernández-Ruiz, V., & Cámara, M. (2021). Extrusion Process as an Alternative to Improve Pulses Products Consumption. A Review. *Foods*, *10*(5), 1096. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2304-8158/10/5/1096>
- Cruz-Ortiz, R., Gutiérrez-Dorado, R., Osorio-Díaz, P., Alvarado-Jasso, G. M., Tornero-Martínez, A., Guzmán-Ortiz, F. A., & Mora-Escobedo, R. (2020). Optimized germinated soybean/cornstarch extrudate and its in vitro fermentation with human inoculum. *J Food Sci Technol*, *57*(3), 848-857. doi:10.1007/s13197-019-04116-7
- Dai, L., Zhang, J., & Cheng, F. (2019). Effects of starches from different botanical sources and modification methods on physicochemical properties of starch-based edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*, *132*, 897-905. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.197>
- Dalbhat, C. G., Mahato, D. K., & Mishra, H. N. (2019). Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *85*, 226-240. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.001>
- Demuth, T., Betschart, J., & Nyström, L. (2020). Structural modifications to water-soluble wheat bran arabinoxylan through milling and extrusion. *Carbohydrate Polymers*, *240*, 116328. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116328>
- Deng, Q., Penner, M. H., & Zhao, Y. (2011). Chemical composition of dietary fiber and polyphenols of five different varieties of wine grape pomace skins. *Food Research International*, *44*(9), 2712-2720. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.026>
- Dey, P. M. (1980). Biochemistry of  $\alpha$ -D-Galactosidic Linkages in the Plant Kingdom. In R. S. Tipson & D. Horton (Eds.), *Advances in Carbohydrate Chemistry and Biochemistry* (Vol. 37, pp. 283-372): Academic Press.
- Di Marco, A. E., Ixtaina, V. Y., & Tomás, M. C. (2022). Analytical and technological aspects of amylose inclusion complexes for potential applications in functional foods. *Food Bioscience*, *47*, 101625. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101625>

- Dominguez, L. J., & Barbagallo, M. (2020). Chapter 23 - Dietary fiber intake and the Mediterranean population. In V. R. Preedy & R. R. Watson (Eds.), *The Mediterranean Diet (Second Edition)* (pp. 257-265): Academic Press.
- Douglas, S. G. (1981). A rapid method for the determination of pentosans in wheat flour. *Food Chemistry*, 7(2), 139-145. doi:[https://doi.org/10.1016/0308-8146\(81\)90059-5](https://doi.org/10.1016/0308-8146(81)90059-5)
- Drevelgka, I., & Goula, A. M. (2020). Recovery of grape pomace phenolic compounds through optimized extraction and adsorption processes. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification*, 149, 107845. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cep.2020.107845>
- Dupuis, J. H., Liu, Q., & Yada, R. Y. (2014). Methodologies for Increasing the Resistant Starch Content of Food Starches: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(6), 1219-1234. doi:10.1111/1541-4337.12104
- Duque, A., Manzanares, P., & Ballesteros, M. (2017). Extrusion as a pretreatment for lignocellulosic biomass: Fundamentals and applications. *Renewable Energy*, 114, 1427-1441. doi:<https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.06.050>
- EFSA, European Food Safety Authority. (2017). Dietary reference values for nutrients: Summary report. EFSA supporting publication 2017: e15121.92 pp. doi:10.2603/sp.efsa.2017.e15121
- Ek, P., Baner, J. M., & Ganjyal, G. M. (2020). Chapter 8 - Extrusion processing of cereal grains, tubers, and seeds. In G. M. Ganjyal (Ed.), *Extrusion Cooking* (pp. 225-263): Woodhead Publishing.
- Ek, P., Gu, B.-J., Saunders, S. R., Huber, K., & Ganjyal, G. M. (2021). Exploration of physicochemical properties and molecular interactions between cellulose and high-amylose cornstarch during extrusion processing. *Current Research in Food Science*, 4, 588-597. doi:<https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.07.001>
- Ek, P., Kowalski, R. J., & Ganjyal, G. M. (2020). Chapter 4 - Raw material behaviors in extrusion processing I (Carbohydrates). In G. M. Ganjyal (Ed.), *Extrusion Cooking* (pp. 119-152): Woodhead Publishing.
- Elango, D., Rajendran, K., Van der Laan, L., Sebastiar, S., Raigne, J., Thaiparambil, N. A., . . . Singh, A. K. (2022). Raffinose Family Oligosaccharides: Friend or Foe for Human and Plant Health? *Frontiers in Plant Science*, 13. doi:10.3389/fpls.2022.829118

- Emin, M. A. (2015). Modeling extrusion processes. *Modeling Food Processing Operations*, 235-253. doi:10.1016/B978-1-78242-284-6.00009-X
- Emin, M. A. (2016). Extrusion. In *Reference Module in Food Science: Reference Module in Food Science*.
- ENTERWINE. (2022). Chardonnay. Retrieved from <https://www.enterwine.com/es/mundo-del-vino/variedades/uvas-blancas/chardonnay?p=3>
- Fadel, A., Ashworth, J., Plunkett, A., Mahmoud, A. M., Ranneh, Y., & Li, W. (2018). Improving the extractability of arabinoxylans and the molecular weight of wheat endosperm using extrusion processing. *Journal of Cereal Science*, 84, 55-61. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.09.009>
- Fadel, A., Mahmoud, A. M., Ashworth, J. J., Li, W., Ng, Y. L., & Plunkett, A. (2018). Health-related effects and improving extractability of cereal arabinoxylans. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 819-831. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.11.055>
- Félix-Medina, J. V., Montes-Ávila, J., Reyes-Moreno, C., Perales-Sánchez, J. X. K., Gómez-Favela, M. A., Aguilar-Palazuelos, E., & Gutiérrez-Dorado, R. (2020). Second-generation snacks with high nutritional and antioxidant value produced by an optimized extrusion process from corn/common bean flours mixtures. *LWT*, 124, 109172. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109172>
- Fellows, P. J. (2017). 17 - Extrusion cooking. In P. J. Fellows (Ed.), *Food Processing Technology (Fourth Edition)* (pp. 753-780): Woodhead Publishing.
- Feng, Y., & Lee, Y. (2014). Effect of Specific Mechanical Energy on In-Vitro Digestion and Physical Properties of Extruded Rice-Based Snacks. *Food and Nutrition Sciences*, 05, 1818-1827. doi:10.4236/fns.2014.519196
- Frias, J., Giacomino, S., Peñas, E., Pellegrino, N., Ferreyra, V., Apro, N., . . . Vidal-Valverde, C. (2011). Assessment of the nutritional quality of raw and extruded *Pisum sativum* L. var. laguna seeds. *LWT - Food Science and Technology*, 44(5), 1303-1308. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.12.025>
- Fujita, N. (2017). Starch. In B. Thomas, B. G. Murray, & D. J. Murphy (Eds.), *Encyclopedia of Applied Plant Sciences (Second Edition)* (pp. 106-111). Oxford: Academic Press.

- García-Lara, S., Chuck-Hernandez, C., & Serna-Saldivar, S. O. (2019). Chapter 6 - Development and Structure of the Corn Kernel. In S. O. Serna-Saldivar (Ed.), *Corn (Third Edition)* (pp. 147-163). Oxford: AACC International Press.
- Gholamipour-Shirazi, A., Norton, I. T., & Mills, T. (2019). Designing hydrocolloid based food-ink formulations for extrusion 3D printing. *Food Hydrocolloids*, *95*, 161-167. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.011>
- Giraldo-Gómez, G. I., Rodríguez-Barona, S., & Sanabria-González, N. R. (2019). Preparation of instant green banana flour powders by an extrusion process. *Powder Technology*, *353*, 437-443. doi:<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.05.050>
- Godavarti, S., & Karwe, M. V. (1997). Determination of Specific Mechanical Energy Distribution on a Twin-Screw Extruder. *Journal of Agricultural Engineering Research*, *67*(4), 277-287. doi:<https://doi.org/10.1006/jaer.1997.0172>
- Graf, D., Monk, J. M., Wu, W., Wellings, H. R., Robinson, L. E., & Power, K. A. (2020). Red lentil supplementation reduces the severity of dextran sodium sulfate-induced colitis in C57BL/6 male mice. *Journal of Functional Foods*, *64*, 103625. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jff.2019.103625>
- Großkopf, A., & Simm, A. (2020). Carbohydrates in nutrition: friend or foe? *Z Gerontol Geriatr*, *53*(4), 290-294. doi:[10.1007/s00391-020-01726-1](https://doi.org/10.1007/s00391-020-01726-1)
- Gu, B.-J., Wolcott, M. P., & Ganjyal, G. M. (2020). Optimized screw profile design proved to inhibit re-agglomeration that occurs during extrusion of fine-milled forest residuals for producing fermentable sugars. *Industrial Crops and Products*, *154*, 112730. doi:<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112730>
- Guaita, M., Panero, L., Motta, S., Mangione, B., & Bosso, A. (2021). Effects of high-temperature drying on the polyphenolic composition of skins and seeds from red grape pomace. *LWT*, *145*, 111323. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111323>
- Guerrero, P., Beatty, E., Kerry, J. P., & de la Caba, K. (2012). Extrusion of soy protein with gelatin and sugars at low moisture content. *Journal of Food Engineering*, *110*(1), 53-59. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.12.009>
- Guo, Y., Liu, W., Wu, B., Wu, P., Duan, Y., Yang, Q., & Ma, H. (2018). Modification of garlic skin dietary fiber with twin-screw extrusion process and in vivo evaluation of Pb binding. *Food Chemistry*, *268*, 550-557. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.047>

- Gupta, D., Ford, R., Sambasivam, P., & Biju, S. (2019). Chapter 5 - Embryo Rescue and Cytogenetic Manipulation. In M. Singh (Ed.), *Lentils* (pp. 57-81): Academic Press.
- Gutkoski, L. C., & El-Dash, A. A. (1999). Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded oat products. *Plant Foods for Human Nutrition*, 54(4), 315-325. doi:10.1023/A:1008101209353
- Györi, Z. (2017). Chapter 11 - Corn: Grain-Quality Characteristics and Management of Quality Requirements. In C. Wrigley, I. Batey, & D. Miskelly (Eds.), *Cereal Grains (Second Edition)* (pp. 257-290): Woodhead Publishing.
- Haley, T. A., & Mulvaney, S. J. (2000). On-line system identification and control design of an extrusion cooking process: Part I. System identification. *Food Control*, 11(2), 103-120. doi:https://doi.org/10.1016/S0956-7135(99)00068-7
- Hamaker, B. R., Tuncil, Y. E., & Shen, X. (2019). Chapter 11 - Carbohydrates of the Kernel. In S. O. Serna-Saldivar (Ed.), *Corn (Third Edition)* (pp. 305-318). Oxford: AACC International Press.
- Hernández-Nava, R. G., Bello-Pérez, L. A., San Martín-Martínez, E., Hernández-Sánchez, H., & Mora-Escobedo, R. (2011). Effect of extrusion cooking on the functional properties and starch components of lentil/banana blends: Response surface analysis. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(3), 409-419. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62021054007>
- Hirth, M., Leiter, A., Beck, S. M., & Schuchmann, H. P. (2014). Effect of extrusion cooking process parameters on the retention of bilberry anthocyanins in starch based food. *Journal of Food Engineering*, 125, 139-146. doi:https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.034
- Hogervorst Cvejić, J., Atanacković Krstonošić, M., Bursać, M., & Miljić, U. (2017). Chapter 7 - Polyphenols. In C. M. Galanakis (Ed.), *Nutraceutical and Functional Food Components* (pp. 203-258): Academic Press.
- Holesh, J. E., Aslam, S., & Martin, A. (2021). Physiology, Carbohydrates. In *StatPearls*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing Copyright © 2021, StatPearls Publishing LLC.
- Hossain, A., & Jayadeep, A. (2022). Impact of extrusion on the content and bioaccessibility of fat soluble nutraceuticals, phenolics and antioxidants activity in whole maize. *Food Research International*, 161, 111821. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111821

- Imperio, D., Bordiga, M., Passos, C. P., Silva, S. P., Coimbra, M. A., Travaglia, F., . . . Panza, L. (2021). Gentianose: Purification and structural determination of an unknown oligosaccharide in grape seeds. *Food Chemistry*, *344*, 128588. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128588>
- INGREDION. (2020). Technical Specification HYLON® V 04400204.
- Izydorczyk, M. S. (2009). 23 - Arabinoxylans. In G. O. Phillips & P. A. Williams (Eds.), *Handbook of Hydrocolloids (Second Edition)* (pp. 653-692): Woodhead Publishing.
- Izydorczyk, M. S., & Dexter, J. E. (2008). Barley  $\beta$ -glucans and arabinoxylans: Molecular structure, physicochemical properties, and uses in food products—a Review. *Food Research International*, *41*(9), 850-868. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2008.04.001>
- Jackson, R. S. (2020). Chapter 2 - Grape species and varieties. In R. S. Jackson (Ed.), *Wine Science (Fifth Edition)* (pp. 21-75): Academic Press.
- Jaiswal, S., & Chibbar, R. N. (2017). Amylopectin small chain glucans form structure fingerprint that determines botanical origin of starch. *Carbohydrate Polymers*, *158*, 112-123. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.11.059>
- Jebalia, I., Maigret, J. E., Réguerre, A. L., Novales, B., Guessasma, S., Lourdin, D., . . . Kristiawan, M. (2019). Morphology and mechanical behaviour of pea-based starch-protein composites obtained by extrusion. *Carbohydrate Polymers*, *223*, 115086. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.115086>
- Ji, Z., Yu, L., Liu, H., Bao, X., Wang, Y., & Chen, L. (2017). Effect of pressure with shear stress on gelatinization of starches with different amylose/amylopectin ratios. *Food Hydrocolloids*, *72*, 331-337. doi:[10.1016/j.foodhyd.2017.06.015](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.06.015)
- Kaisangsri, N., Kowalski, R. J., Wijesekara, I., Kerdchoechuen, O., Laohakunjit, N., & Ganjyal, G. M. (2016). Carrot pomace enhances the expansion and nutritional quality of corn starch extrudates. *LWT - Food Science and Technology*, *68*, 391-399. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.016>
- Kannan, U., Sharma, R., Gangola, M. P., Ganeshan, S., Båga, M., & Chibbar, R. N. (2021). Sequential expression of raffinose synthase and stachyose synthase corresponds to successive accumulation of raffinose, stachyose and verbascose in developing seeds of *Lens culinaris* Medik. *Journal of Plant Physiology*, *265*, 153494. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2021.153494>

- Kantrong, H., Charunuch, C., Limsangouan, N., & Pengpinit, W. (2018). Influence of process parameters on physical properties and specific mechanical energy of healthy mushroom-rice snacks and optimization of extrusion process parameters using response surface methodology. *J Food Sci Technol*, *55*(9), 3462-3472. doi:10.1007/s13197-018-3271-2
- Kellow, N. J., & Walker, K. Z. (2018). 13 - Authorised EU health claim for arabinoxylan. In M. J. Sadler (Ed.), *Foods, Nutrients and Food Ingredients with Authorised EU Health Claims* (pp. 201-218): Woodhead Publishing.
- Khachatryan, G., Krzeminska-Fiedorowicz, L., Nowak, E., & Fiedorowicz, M. (2014). Molecular structure and physicochemical properties of Hylon® V and Hylon® VII starches illuminated with linearly polarised visible light. *LWT - Food Science and Technology*, *58*(1), 256-262. doi:https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.020
- Khanal, R. C., Howard, L. R., & Prior, R. L. (2009). Procyanidin content of grape seed and pomace, and total anthocyanin content of grape pomace as affected by extrusion processing. *J Food Sci*, *74*(6), H174-182. doi:10.1111/j.1750-3841.2009.01221.x
- Khlestkin, V. K., Peltek, S. E., & Kolchanov, N. A. (2018). Review of direct chemical and biochemical transformations of starch. *Carbohydrate Polymers*, *181*, 460-476. doi:https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.035
- Kovrljija, R., Goubin, E., & Rondeau-Mouro, C. (2020). TD-NMR studies of starches from different botanical origins: Hydrothermal and storage effects. *Food Chemistry*, *308*, 125675. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125675
- Kristiawan, Chaunier, L., Sandoval, A. J., & Della Valle, G. (2020). 7 - Extrusion—Cooking and expansion. In A. A. Perdon, S. L. Schonauer, & K. S. Poutanen (Eds.), *Breakfast Cereals and How They Are Made (Third Edition)* (pp. 141-167). Oxford: AACC International Press.
- Kristiawan, M., Della Valle, G., Kansou, K., Ndiaye, A., & Vergnes, B. (2019). Validation and use for product optimization of a phenomenological model of starch foods expansion by extrusion. *Journal of Food Engineering*, *246*, 160-178. doi:https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.006
- Kulshreshtha, M. K., Zaror, C. A., & Jukes, D. J. (1991). Automatic control of food extrusion: problems and perspectives. *Food Control*, *2*(2), 80-86. doi:https://doi.org/10.1016/0956-7135(91)90143-K

- Kumar, J., Gupta, D. S., Kumar, S., Gupta, S., & Singh, N. P. (2016). Current Knowledge on Genetic Biofortification in Lentil. *J Agric Food Chem*, *64*(33), 6383-6396. doi:10.1021/acs.jafc.6b02171
- Kumar, L., Tian, B., & Harrison, R. (2022). Interactions of *Vitis vinifera* L. cv. Pinot Noir grape anthocyanins with seed proanthocyanidins and their effect on wine color and phenolic composition. *LWT*, *162*, 113428. doi:https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113428
- Lachman, J., Hejtmánková, A., Hejtmánková, K., Horníčková, Š., Pivec, V., Skala, O., . . . Příbyl, J. (2013). Towards complex utilisation of winemaking residues: Characterisation of grape seeds by total phenols, tocals and essential elements content as a by-product of winemaking. *Industrial Crops and Products*, *49*, 445-453. doi:https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.05.022
- Lampi, A.-M., & Heinonen, M. (2009). 6 - Berry Seed and Grapeseed Oils. In R. A. Moreau & A. Kamal-Eldin (Eds.), *Gourmet and Health-Promoting Specialty Oils* (pp. 215-235): AOCS Press.
- Latimer, G. W. (2012). *Official methods of analysis of AOAC international* (19th ed.): Gaithersburg, Md. : AOAC International.
- Lazaridou, A., Chornick, T., Biliaderis, C. G., & Izydorczyk, M. S. (2008). Sequential solvent extraction and structural characterization of polysaccharides from the endosperm cell walls of barley grown in different environments. *Carbohydr Polym*, *73*(4), 621-639. doi:10.1016/j.carbpol.2008.01.001
- Lazou, A., & Krokida, M. (2010). Functional properties of corn and corn-lentil extrudates. *Food Research International*, *43*(2), 609-616. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.017
- Lee, J., Durst, R. W., Wrolstad, R. E., & Collaborators. (2005). Determination of Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, Beverages, Natural Colorants, and Wines by the pH Differential Method: Collaborative Study. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, *88*(5), 1269-1278. doi:10.1093/jaoac/88.5.1269
- Leonard, W., Zhang, P., Ying, D., Xiong, Y., & Fang, Z. (2021). Extrusion improves the phenolic profile and biological activities of hempseed (*Cannabis sativa* L.) hull. *Food Chemistry*, *346*, 128606. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128606

- Li, W., Zhang, S., & Smith, C. (2015). The molecular structure features-immune stimulatory activity of arabinoxylans derived from the pentosan fraction of wheat flour. *Journal of Cereal Science*, 62, 81-86. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.12.002>
- Li, X., Masatcioglu, M. T., & Koksels, F. (2019). Physical and functional properties of wheat flour extrudates produced by nitrogen injection assisted extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 89, 102811. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2019.102811>
- Limsangouan, N., Takenaka, M., Sotome, I., Nanayama, K., Charunuch, C., & Isobe, S. (2010). *Functional Properties of Cereal and Legume Based Extruded Snack Foods Fortified with By-Products from Herbs and Vegetables*. (44).
- Liu, Q., Shi, J., Jin, Z., & Jiao, A. (2023). Development and characterization of resistant starch produced by an extrusion–debranching strategy with a high starch concentration. *Food Hydrocolloids*, 136, 108276. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108276>
- Liu, W., Hong, Y., Gu, Z., Cheng, L., Li, Z., & Li, C. (2017). In structure and in-vitro digestibility of waxy corn starch debranched by pullulanase. *Food Hydrocolloids*, 67, 104-110. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.12.036>
- Liu, Y., Chen, J., Wu, J., Luo, S., Chen, R., Liu, C., & Gilbert, R. G. (2019). Modification of retrogradation property of rice starch by improved extrusion cooking technology. *Carbohydrate Polymers*, 213, 192-198. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2019.02.089>
- Liu, Y., Wang, Q., Li, S., Yue, Y., Ma, Y., & Ren, G. (2018). Convenient food made of extruded adzuki bean attenuates inflammation and improves glycemic control in patients with type 2 diabetes: a randomized controlled trial. *Ther Clin Risk Manag*, 14, 871-884. doi:[10.2147/tcrm.s161649](https://doi.org/10.2147/tcrm.s161649)
- Loy, D. D., Lundy, E. L. (2019). Chapter 23. Nutritional properties and feeding value of corn and its coproducts. *Chemistry and technology, Corn (Third Edition)*, pp. 633-659. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00023-1>
- Luna-Guevara, M. L., Luna-Guevara, J. J., Hernández-Carranza, P., Ruíz-Espinosa, H., & Ochoa-Velasco, C. E. (2018). Chapter 3 - Phenolic Compounds: A Good Choice Against Chronic Degenerative Diseases. In R. Atta ur (Ed.), *Studies in Natural Products Chemistry* (Vol. 59, pp. 79-108): Elsevier.

- Luo, S., Chan, E., Masatcioglu, M. T., Erkinbaev, C., Paliwal, J., & Koksel, F. (2020). Effects of extrusion conditions and nitrogen injection on physical, mechanical, and microstructural properties of red lentil puffed snacks. *Food and Bioproducts Processing*, *121*, 143-153. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.02.002>
- Ma, Z. F., & Zhang, H. (2017). Phytochemical Constituents, Health Benefits, and Industrial Applications of Grape Seeds: A Mini-Review. *Antioxidants (Basel)*, *6*(3). doi:10.3390/antiox6030071
- Macavilca, E. A., & Condezo-Hoyos, L. (2020). Assessment of total antioxidant capacity of altiplano colored quinoa (*Chenopodium quinoa willd*) by visible and near-infrared diffuse reflectance spectroscopy and chemometrics. *LWT*, *134*, 110182. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110182>
- Mahungu, S. M., Diaz-Mercado, S., Li, J., Schwenk, M., Singletary, K., & Faller, J. (1999). Stability of isoflavones during extrusion processing of corn/soy mixture. *J Agric Food Chem*, *47*(1), 279-284. doi:10.1021/jf980441q
- Martínez-Meza, Y., Pérez-Jiménez, J., Rocha-Guzmán, N. E., Rodríguez-García, M. E., Alonzo-Macías, M., & Reynoso-Camacho, R. (2021). Modification on the polyphenols and dietary fiber content of grape pomace by instant controlled pressure drop. *Food Chemistry*, *360*, 130035. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130035>
- Martínez-Villaluenga, C., Frias, J., & Vidal-Valverde, C. (2008). Alpha-galactosides: antinutritional factors or functional ingredients? *Crit Rev Food Sci Nutr*, *48*(4), 301-316. doi:10.1080/10408390701326243
- Masatcioglu, Tugrul M., Sumer, Zeynep, Koksel, Hamir. (2017). An innovative approach for significantly increasing enzyme resistant starch type 3 content in high amylose starches by using extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, (74) 95-102. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.01.015>
- Maubane, L., Ray, S. S., & Jalama, K. (2017). The effect of starch amylose content on the morphology and properties of melt-processed butyl-etherified starch/poly[(butylene succinate)-co-adipate] blends. *Carbohydrate Polymers*, *155*, 89-100. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.08.048>
- Meini, M.-R., Cabezudo, I., Boschetti, C. E., & Romanini, D. (2019). Recovery of phenolic antioxidants from Syrah grape pomace through the optimization of an enzymatic extraction process. *Food Chemistry*, *283*, 257-264. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.037>

- Meini, M.-R., Cabezudo, I., Galetto, C. S., & Romanini, D. (2021). Production of grape pomace extracts with enhanced antioxidant and prebiotic activities through solid-state fermentation by *Aspergillus niger* and *Aspergillus oryzae*. *Food Bioscience*, 42, 101168. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101168>
- Menchaca-Armenta, M., Frutos, M. J., Ramírez-Wong, B., Quintero-Ramos, A., Torres-Chávez, P. I., Valero-Cases, E., . . . Campas-Baypoli, O. N. (2021). The Effect of Nixtamalization Extrusion Process and Tortillas Making on the Stability of Anthocyanins from Blue Corn through the Kinetic and Thermodynamic Parameters. *Plant Foods Hum Nutr*, 76(3), 334-339. doi:10.1007/s11130-021-00910-x
- Mendis, M., Leclerc, E., & Simsek, S. (2016). Arabinoxylans, gut microbiota and immunity. *Carbohydrate Polymers*, 139, 159-166. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.11.068>
- Menis-Henrique, M. E. C., Scarton, M., Piran, M. V. F., & Clerici, M. T. P. S. (2020). Cereal fiber: extrusion modifications for food industry. *Current Opinion in Food Science*, 33, 141-148. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.05.001>
- Mezreb, K., Goullieux, A., Ralainirina, R., & Queneudec, M. (2003). Application of image analysis to measure screw speed influence on physical properties of corn and wheat extrudates. *Journal of Food Engineering*, 57(2), 145-152. doi:[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00292-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00292-3)
- Milner, L., Kerry, J. P., O'Sullivan, M. G., & Gallagher, E. (2020). Physical, textural and sensory characteristics of reduced sucrose cakes, incorporated with clean-label sugar-replacing alternative ingredients. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 59, 102235. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102235>
- Mitchell, H. L. (2019). 5 - Alternative ingredients to sodium chloride. In C. Beeren, K. Groves, & P. M. Titoria (Eds.), *Reducing Salt in Foods (Second Edition)* (pp. 113-128): Woodhead Publishing.
- Morales, P., Berrios, J., Varela, A., Burbano, C., Cuadrado, C., Muzquiz, M., & Pedrosa, M. (2015). Novel fiber-rich lentil flours as snack-type functional foods: An extrusion cooking effect on bioactive compounds. *Food & function*, 6. doi:10.1039/c5fo00729a
- Morales, P., Cebadera-Miranda, L., Cámara, R. M., Reis, F. S., Barros, L., Berrios, J. D. J., . . . Cámara, M. (2015). Lentil flour formulations to develop new snack-type products by extrusion processing: Phytochemicals and antioxidant capacity.

- Journal of Functional Foods*, 19, 537-544.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.044>
- Moro, K. I. B., Bender, A. B. B., Ferreira, D. d. F., Speroni, C. S., Barin, J. S., da Silva, L. P., & Penna, N. G. (2021). Recovery of phenolic compounds from grape pomace (*Vitis vinifera* L.) by microwave hydrodiffusion and gravity. *LWT*, 150, 112066. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112066>
- Moscicki, L., Mitrus, M., Oniszczyk, T., Rejak, A., & Wójtowicz, A. (2013). Extrusion-Cooking of Starch. In (pp. 319-346).
- Moya, E., & Becares, J. (2008). *Modelado y Simulación de un Proceso de Extrusión*. Paper presented at the XXIX Jornadas de Automática, Universitat Rovira i Virgili-Tarragona. <http://jata08-events.urv.cat/>
- Mukhopadhyay, S., Goswami, S., Mondal, S. A., & Dutta, D. (2020). Chapter 3 - Dietary fat, salt, and sugar: a clinical perspective of the social catastrophe. In H. G. Preuss & D. Bagchi (Eds.), *Dietary Sugar, Salt and Fat in Human Health* (pp. 67-91): Academic Press.
- Muscolo, A., Calderaro, A., Papalia, T., Settineri, G., Mallamaci, C., & Panuccio, M. R. (2020). Soil salinity improves nutritional and health promoting compounds in three varieties of lentil (*Lens culinaris* Med.). *Food Bioscience*, 35, 100571. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100571>
- Muthukumarappan, K., & Swamy, G. J. (2018). 9 - Microstructure and its relationship with quality and storage stability of extruded products. In S. Devahastin (Ed.), *Food Microstructure and Its Relationship with Quality and Stability* (pp. 161-191): Woodhead Publishing.
- Nardoia, M., Romero, C., Brenes, A., Arija, I., Viveros, A., Ruiz-Capillas, C., & Chamorro, S. (2020). Addition of fermented and unfermented grape skin in broilers' diets: effect on digestion, growth performance, intestinal microbiota and oxidative stability of meat. *Animal*, 14(7), 1371-1381. doi:<https://doi.org/10.1017/S1751731119002933>
- Neder-Suárez, D., Quintero-Ramos, A., Meléndez-Pizarro, C. O., de Jesús Zazueta-Morales, J., Paraguay-Delgado, F., & Ruiz-Gutiérrez, M. G. (2021). Evaluation of the physicochemical properties of third-generation snacks made from blue corn, black beans, and sweet chard produced by extrusion. *LWT*, 146, 111414. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111414>

- Niaz, K., Khan, F., & Shah, M. A. (2020). Chapter 18 - Analysis of carbohydrates (monosaccharides, polysaccharides). In A. Sanches Silva, S. F. Nabavi, M. Saeedi, & S. M. Nabavi (Eds.), *Recent Advances in Natural Products Analysis* (pp. 621-633): Elsevier.
- Nijdam, J. J., LeCorre-Bordes, D., Delvart, A., & Schon, B. S. (2021). A rheological test to assess the ability of food inks to form dimensionally stable 3D food structures. *Journal of Food Engineering*, 291, 110235. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110235>
- Nishitsuji, Y., Whitney, K., Nakamura, K., Hayakawa, K., & Simsek, S. (2022). Analysis of molecular weight and structural changes in water-extractable arabinoxylans during the breadmaking process. *Food Chemistry*, 386, 132772. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132772>
- Obreque-Slier, E., Herrera-Bustamante, B., & López-Solís, R. (2021). Ripening-associated flattening out of inter-varietal differences in some groups of phenolic compounds in the skins of six emblematic grape wine varieties. *Journal of Food Composition and Analysis*, 99, 103858. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103858>
- Obreque-Slier, E., López-Solís, R., Castro-Ulloa, L., Romero-Díaz, C., & Peña-Neira, Á. (2012). Phenolic composition and physicochemical parameters of Carménère, Cabernet Sauvignon, Merlot and Cabernet Franc grape seeds (*Vitis vinifera* L.) during ripening. *LWT - Food Science and Technology*, 48(1), 134-141. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.02.007>
- Offiah, V., Kontogiorgos, V., & Falade, K. O. (2019). Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 59(18), 2979-2998. doi:[10.1080/10408398.2018.1480007](https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1480007)
- Oomah, B. D., Patras, A., Rawson, A., Singh, N., & Compos-Vega, R. (2011). 2 - Chemistry of pulses. In B. K. Tiwari, A. Gowen, & B. McKenna (Eds.), *Pulse Foods* (pp. 9-55). San Diego: Academic Press.
- Osborne, D. R., & Voogt, P. (1986). *Análisis de los nutrientes de los alimentos* (1st ed.). Zaragoza: Acribia.
- Ottenhof, M. A., Hill, S. E., & Farhat, I. A. (2005). Comparative study of the retrogradation of intermediate water content waxy maize, wheat, and potato starches. *J Agric Food Chem*, 53(3), 631-638. doi:[10.1021/jf048705y](https://doi.org/10.1021/jf048705y)

- Öztürk, S., & Mutlu, S. (2019). Chapter 8 - Physicochemical Properties, Modifications, and Applications of Resistant Starches. In M. T. P. Silva Clerici & M. Schmiele (Eds.), *Starches for Food Application* (pp. 297-332): Academic Press.
- Paladines-Quezada, D. F., Moreno-Olivares, J. D., Fernández-Fernández, J. I., Bautista-Ortín, A. B., & Gil-Muñoz, R. (2019). Influence of methyl jasmonate and benzothiadiazole on the composition of grape skin cell walls and wines. *Food Chem*, 277, 691-697. doi:10.1016/j.foodchem.2018.11.029
- Pardhi, S. D., Singh, B., Nayik, G. A., & Dar, B. N. (2019). Evaluation of functional properties of extruded snacks developed from brown rice grits by using response surface methodology. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(1), 7-16. doi:https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.11.006
- Parniakov, O., Mikhrovska, M., Toepfl, S., Roselló-Soto, E., Pinto, C. A., Saraiva, J. A., & Barba, F. J. (2020). Chapter 6 - Current and future strategies to reduce salt consumption. In F. J. Barba, P. Putnik, & D. B. Kovačević (Eds.), *Agri-Food Industry Strategies for Healthy Diets and Sustainability* (pp. 155-175): Academic Press.
- Pasqualone, A., Costantini, M., Coldea, T. E., & Summo, C. (2020). Use of Legumes in Extrusion Cooking: A Review. *Foods*, 9(7). doi:10.3390/foods9070958
- Pasqualone, A., Costantini, M., Labarbuta, R., & Summo, C. (2021). Production of extruded-cooked lentil flours at industrial level: Effect of processing conditions on starch gelatinization, dough rheological properties and techno-functional parameters. *LWT*, 147, 111580. doi:https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111580
- Pastor-Cavada, E., Drago, S. R., & González, R. J. (2014). Chapter 33 - Evaluation of Physical and Nutritional Properties of Extruded Products Based on Brown Rice and Wild Legume Mixtures. In R. R. Watson, V. R. Preedy, & S. Zibadi (Eds.), *Wheat and Rice in Disease Prevention and Health* (pp. 431-441). San Diego: Academic Press.
- Pastor-Cavada, E., Drago, S. R., González, R. J., Juan, R., Pastor, J. E., Alaiz, M., & Vioque, J. (2011). Effects of the addition of wild legumes (*Lathyrus annuus* and *Lathyrus clymenum*) on the physical and nutritional properties of extruded products based on whole corn and brown rice. *Food Chemistry*, 128(4), 961-967. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.03.126
- Pathania, S., & Kaur, N. (2022). Utilization of fruits and vegetable by-products for isolation of dietary fibres and its potential application as functional ingredients.

- Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 27, 100295.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100295>
- Patil, S., Varghese, E., G Rudra, S., & Kaur, C. (2016). Effect of Extrusion Processing on Phenolics, Flavonoids and Antioxidant Activity of Millets. *International Journal of Food and Fermentation Technology*, 6, 177. doi:10.5958/2277-9396.2016.00040.4
- Patil, S. S., & Kaur, C. (2018). Current trends in Extrusion: Development of Functional Foods and Novel Ingredients. *Food Science and Technology Research*, 24(1), 23-34. doi:10.3136/fstr.24.23
- Pedrosa, M. M., Cuadrado, C., Burbano, C., Allaf, K., Haddad, J., Gelencsér, E., . . . Muzquiz, M. (2012). Effect of instant controlled pressure drop on the oligosaccharides, inositol phosphates, trypsin inhibitors and lectins contents of different legumes. *Food Chemistry*, 131(3), 862-868. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.09.061>
- Pedrosa, M. M., Guillamón, E., & Arribas, C. (2021). Autoclaved and Extruded Legumes as a Source of Bioactive Phytochemicals: A Review. *Foods*, 10(2). doi:10.3390/foods10020379
- Perdon, A. A., & Holopainen-Mantila, U. (2020). 4 - Cereal grains and other ingredients. In A. A. Perdon, S. L. Schonauer, & K. S. Poutanen (Eds.), *Breakfast Cereals and How They Are Made (Third Edition)* (pp. 73-96). Oxford: AACC International Press.
- Pinto, G., Illiano, A., Caira, S., Addeo, F., Ferranti, P., & Amoresano, A. (2023). Old and New Technological Processes to Produce Ingredients From New Sources: Characterization of Polyphenols Compounds in Food and Industrial Wastes. In *Reference Module in Food Science*: Elsevier.
- Pitts, K. F., Favaro, J., Austin, P., & Day, L. (2014). Co-effect of salt and sugar on extrusion processing, rheology, structure and fracture mechanical properties of wheat–corn blend. *Journal of Food Engineering*, 127, 58-66. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.11.026>
- Prado, J. M., Forster-Carneiro, T., Rostagno, M. A., Follegatti-Romero, L. A., Maugeri Filho, F., & Meireles, M. A. A. (2014). Obtaining sugars from coconut husk, defatted grape seed, and pressed palm fiber by hydrolysis with subcritical water. *The Journal of Supercritical Fluids*, 89, 89-98. doi:<https://doi.org/10.1016/j.supflu.2014.02.017>

- Qiao, H., Shao, H., Zheng, X., Liu, J., Liu, J., Huang, J., . . . Guan, W. (2021). Modification of sweet potato (*Ipomoea batatas* Lam.) residues soluble dietary fiber following twin-screw extrusion. *Food Chemistry*, *335*, 127522. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127522>
- Quan, L., Huang, W., Zhang, Y., Xu, Y., Li, P., Zhai, H., . . . Du, Y. (2022). Delayed root water supply result in spring dieback of Cabernet Sauvignon in northern China. *Scientia Horticulturae*, *305*, 111410. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111410>
- Rababah, T. M., Ereifej, K. I., Al-Mahasneh, M. A., Ismael, K., Hidar, A.-G., & Yang, W. (2008). Total Phenolics, Antioxidant Activities, and Anthocyanins of Different Grape Seed Cultivars Grown in Jordan. *International Journal of Food Properties*, *11*(2), 472-479. doi:10.1080/10942910701567521
- Ramsden, L. (2016). Grains other than Cereals: Non-starch Polysaccharides. In C. Wrigley, H. Corke, K. Seetharaman, & J. Faubion (Eds.), *Encyclopedia of Food Grains (Second Edition)* (pp. 224-229). Oxford: Academic Press.
- Rathod, R. P., & Annapure, U. S. (2016). Antioxidant activity and polyphenolic compound stability of lentil-orange peel powder blend in an extrusion process. *J Food Sci Technol*, *54*(4), 954-963. doi:10.1007/s13197-016-2383-9
- Rathod, R. P., & Annapure, U. S. (2016). Effect of extrusion process on antinutritional factors and protein and starch digestibility of lentil splits. *LWT - Food Science and Technology*, *66*, 114-123. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.028>
- Rauwendaal, C. (2019). 1 - Extrusion Machinery. In C. Rauwendaal (Ed.), *Understanding Extrusion* (pp. 1-18): Hanser.
- Rebello, C. J., Greenway, F. L., & Finley, J. W. (2014). Whole Grains and Pulses: A Comparison of the Nutritional and Health Benefits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *62*(29), 7029-7049. doi:10.1021/jf500932z
- Reglamento (CE) N° 1924/2006. (2006). Relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos. Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión Europea. Diario oficial de la Unión Europea, 30.12.2006
- Reglamento (UE) N° 432/2012. (2012). Lista de declaraciones autorizadas de propiedades saludables de los alimentos distintas de las relativas a la reducción del riesgo de enfermedad y al desarrollo y la salud de los niños. Actos no legislativos II, Diario oficial de la Unión Europea, L 136/1, 25.5.12

- Reyes-Pérez, F., Salazar-García, M. G., Romero-Baranzini, A. L., Islas-Rubio, A. R., & Ramírez-Wong, B. (2013). Estimated glycemic index and dietary fiber content of cookies elaborated with extruded wheat bran. *Plant Foods Hum Nutr*, 68(1), 52-56. doi:10.1007/s11130-013-0338-0
- Riaz, M. N. (2019). Chapter 19 - Food Extruders. In M. Kutz (Ed.), *Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering (Third Edition)* (pp. 483-497): Academic Press.
- Rizvi, A. H., Aski, M., Sarker, A., Dikshit, H. K., & Yadav, P. (2019). Chapter 2 - Origin, Distribution, and Gene Pools. In M. Singh (Ed.), *Lentils* (pp. 7-19): Academic Press.
- Rockenbach, I. I., Gonzaga, L. V., Rizelio, V. M., Gonçalves, A. E. d. S. S., Genovese, M. I., & Fett, R. (2011). Phenolic compounds and antioxidant activity of seed and skin extracts of red grape (*Vitis vinifera* and *Vitis labrusca*) pomace from Brazilian winemaking. *Food Research International*, 44(4), 897-901. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.01.049>
- Rodríguez-Sandoval, E., Sandoval-Aldana, A., & Fernández-Quintero, A. (2007). Evaluación de la retrogradación del almidón en harina de yuca precocida. *Revista Colombiana de Química*, 36, 13-30. Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-28042007000100002&nrm=iso](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28042007000100002&nrm=iso)
- Ronda, F., Pérez-Quirce, S., & Villanueva, M. (2017). Chapter 12 - Rheological Properties of Gluten-Free Bread Doughs: Relationship With Bread Quality. In J. Ahmed, P. Ptaszek, & S. Basu (Eds.), *Advances in Food Rheology and Its Applications* (pp. 297-334): Woodhead Publishing.
- Saha, M., Gitto, G., & Dally, B. B. (2020). Burning characteristics of grape marc under mild combustion conditions. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 114, 110059. doi:<https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2020.110059>
- Samarakoon, E. R. J., Waduge, R., Liu, Q., Shahidi, F., & Banoub, J. H. (2020). Impact of annealing on the hierarchical structure and physicochemical properties of waxy starches of different botanical origins. *Food Chemistry*, 303, 125344. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125344>
- Samaranayaka, A. (2017). Chapter 11 - Lentil: Revival of Poor Man's Meat. In S. R. Nadathur, J. P. D. Wanasundara, & L. Scanlin (Eds.), *Sustainable Protein Sources* (pp. 185-196). San Diego: Academic Press.

- Sánchez-Mata, M. C., Peñuela-Teruel, M. J., Cámara-Hurtado, M., Díez-Marqués, C., & Torija-Isasa, M. E. (1998). Determination of Mono-, Di-, and Oligosaccharides in Legumes by High-Performance Liquid Chromatography Using an Amino-Bonded Silica Column. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *46*(9), 3648-3652. doi:10.1021/jf980127w
- Šárka, E., Sluková, M., & Henke, S. (2021). Changes in Phenolics during Cooking Extrusion: A Review. *Foods (Basel, Switzerland)*, *10*(9), 2100. doi:10.3390/foods10092100
- Schmid, V., Mayer-Miebach, E., Behnlian, D., Briviba, K., Karbstein, H. P., & Emin, M. A. (2022). Enrichment of starch-based extruded cereals with chokeberry (*Aronia melanocarpa*) pomace: Influence of processing conditions on techno-functional and sensory related properties, dietary fibre and polyphenol content as well as in vitro digestibility. *LWT*, *154*, 112610. doi:https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112610
- Schupfer, E., Pak, S. C., Wang, S., Micalos, P. S., Jeffries, T., Ooi, S. L., . . . El-Omar, E. (2021). The effects and benefits of arabinoxylans on human gut microbiota – A narrative review. *Food Bioscience*, *43*, 101267. doi:https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101267
- Sharma, N., Sahu, J. K., Joshi, S., Khubber, S., Bansal, V., Bhardwaj, A., . . . Bal, L. M. (2022). Modulation of lentil antinutritional properties using non-thermal mediated processing techniques – A review. *Journal of Food Composition and Analysis*, *109*, 104498. doi:https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104498
- Shevkani, K., Singh, N., Rattan, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, B. (2019). Effect of chickpea and spinach on extrusion behavior of corn grit. *J Food Sci Technol*, *56*(4), 2257-2266. doi:10.1007/s13197-019-03712-x
- Shi, H., Xu, J., Wang, W., Jia, M., Zhou, Y., & Sun, L. (2020). An efficient protocol for the preparation of linear arabino-oligosaccharides. *Carbohydrate Research*, *496*, 108131. doi:https://doi.org/10.1016/j.carres.2020.108131
- Singh, & Heldman, D. R. (2014). Chapter 14 - Extrusion Processes for Foods. In R. P. Singh & D. R. Heldman (Eds.), *Introduction to Food Engineering (Fifth Edition)* (pp. 743-766). San Diego: Academic Press.
- Singh, M. (2019). Chapter 1 - Introduction. In M. Singh (Ed.), *Lentils* (pp. 1-5): Academic Press.

- Sirohi, R., Tarafdar, A., Singh, S., Negi, T., Gaur, V. K., Gnansounou, E., & Bharathiraja, B. (2020). Green processing and biotechnological potential of grape pomace: Current trends and opportunities for sustainable biorefinery. *Bioresource Technology*, *314*, 123771. doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123771>
- Sisay, M. T., Emire, S. A., Ramaswamy, H. S., & Workneh, T. S. (2018). Effect of feed components on quality parameters of wheat-tef-sesame-tomato based extruded products. *J Food Sci Technol*, *55*(7), 2649-2660. doi:10.1007/s13197-018-3187-x
- Spigno, G., Marinoni, L., & Garrido, G. D. (2017). 1 - State of the Art in Grape Processing By-Products. In C. M. Galanakis (Ed.), *Handbook of Grape Processing By-Products* (pp. 1-27): Academic Press.
- Stamogiannou, I., Van Camp, J., Smaghe, G., Van de Walle, D., Dewettinck, K., & Raes, K. (2021). Impact of phenolic compound as activators or inhibitors on the enzymatic hydrolysis of cellulose. *International Journal of Biological Macromolecules*, *186*, 174-180. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.07.052>
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & İbanoğlu, Ş. (2009). The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products. *Food Chemistry*, *114*(1), 226-232. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.043>
- Sun, B., Tian, Y., Chen, L., & Jin, Z. (2017). Effect of acid-ethanol treatment and debranching on the structural characteristics and digestible properties of maize starches with different amylose contents. *Food Hydrocolloids*, *69*, 229-235. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.01.040>
- Tacer-Caba, Z., & Nilufer-Erdil, D. (2019). Resistant Starch. In L. Melton, F. Shahidi, & P. Varelis (Eds.), *Encyclopedia of Food Chemistry* (pp. 571-575). Oxford: Academic Press.
- Tańska, M., Konopka, I., & Ruszkowska, M. (2017). Sensory, Physico-Chemical and Water Sorption Properties of Corn Extrudates Enriched with Spirulina. *Plant Foods Hum Nutr*, *72*(3), 250-257. doi:10.1007/s11130-017-0628-z
- Tharanathan, R. N., & Mahadevamma, S. (2003). Grain legumes—a boon to human nutrition. *Trends in Food Science & Technology*, *14*(12), 507-518. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.07.002>

- Thirunathan, P., & Manickavasagan, A. (2019). Processing methods for reducing alpha-galactosides in pulses. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 59(20), 3334-3348. doi:10.1080/10408398.2018.1490886
- Thompson, L. J. (2018). Chapter 34 - Sodium Chloride (Salt). In R. C. Gupta (Ed.), *Veterinary Toxicology (Third Edition)* (pp. 479-482): Academic Press.
- Topalović, A., Knežević, M., Bajagić, B., Ivanović, L., Milašević, I., Đurović, D., . . . Pešić, M. (2020). Chapter 20 - Grape (*Vitis vinifera* L.): health benefits and effects of growing conditions on quality parameters. In M. Ozturk, D. Egamberdieva, & M. Pešić (Eds.), *Biodiversity and Biomedicine* (pp. 385-401): Academic Press.
- Tsimogiannis, D., & Oreopoulou, V. (2019). Chapter 16 - Classification of Phenolic Compounds in Plants. In R. R. Watson (Ed.), *Polyphenols in Plants (Second Edition)* (pp. 263-284): Academic Press.
- Ulasevich, S. A., Gusinskaia, T. A., Semina, A. D., Gerasimov, A. A., Kovtunov, E. A., Iakovchenko, N. V., . . . Skorb, E. V. (2020). Ultrasound-assisted fabrication of gluten-free dough for automatic producing dumplings. *Ultrasonics Sonochemistry*, 68, 105198. doi:https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2020.105198
- USDA. (2022). US DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Grain: World Markets and Trade Retrieved from <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>
- Ustun Argon, Z., Celenk, V. U., & Gumus, Z. P. (2020). Chapter 5 - Cold pressed grape (*Vitis vinifera*) seed oil. In M. F. Ramadan (Ed.), *Cold Pressed Oils* (pp. 39-52): Academic Press.
- Van der Sman, R. G. M., & Broeze, J. (2013). Structuring of indirectly expanded snacks based on potato ingredients: A review. *Journal of Food Engineering*, 114(4), 413-425. doi:https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.09.001
- Vashishth, R., Semwal, A. D., Naika, M., Sharma, G. K., & Kumar, R. (2021). Influence of cooking methods on antinutritional factors, oligosaccharides and protein quality of underutilized legume *Macrotyloma uniflorum*. *Food Research International*, 143, 110299. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110299
- Venkitasamy, C., Zhao, L., Zhang, R., & Pan, Z. (2019). Chapter 6 - Grapes. In Z. Pan, R. Zhang, & S. Zicari (Eds.), *Integrated Processing Technologies for Food and Agricultural By-Products* (pp. 133-163): Academic Press.
- Vuolo, M. M., Lima, V. S., & Maróstica Junior, M. R. (2019). Chapter 2 - Phenolic Compounds: Structure, Classification, and Antioxidant Power. In M. R. S. Campos (Ed.), *Bioactive Compounds* (pp. 33-50): Woodhead Publishing.

- Wang, Q., Li, L., Wang, T., & Zheng, X. (2022). A review of extrusion-modified underutilized cereal flour: chemical composition, functionality, and its modulation on starchy food quality. *Food Chemistry*, 370, 131361. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131361>
- Wang, T., He, F., & Chen, G. (2014). Improving bioaccessibility and bioavailability of phenolic compounds in cereal grains through processing technologies: A concise review. *Journal of Functional Foods*, 7, 101-111. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.01.033>
- Wang, Y.-Y., & Ryu, G.-H. (2013). Physicochemical and antioxidant properties of extruded corn grits with corn fiber by CO<sub>2</sub> injection extrusion process. *Journal of Cereal Science*, 58(1), 110-116. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.03.013>
- Wani, I. A., Farooq, G., Qadir, N., & Wani, T. A. (2019). Physico-chemical and rheological properties of Bengal gram (*Cicer arietinum* L.) starch as affected by high temperature short time extrusion. *International Journal of Biological Macromolecules*, 131, 850-857. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.135>
- Witczak, T., Stępień, A., Gumul, D., Witczak, M., Fiutak, G., & Zięba, T. (2021). The influence of the extrusion process on the nutritional composition, physical properties and storage stability of black chokeberry pomaces. *Food Chemistry*, 334, 127548. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127548>
- Xu, B. J., & Chang, S. K. (2007). A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *J Food Sci*, 72(2), S159-166. doi:10.1111/j.1750-3841.2006.00260.x
- Yağcı, S., & Göğüş, F. (2009). Effect of Incorporation of Various Food By-products on Some Nutritional Properties of Rice-based Extruded Foods. *Food Science and Technology International*, 15(6), 571-581. doi:10.1177/1082013209353078
- Yang, W., Zheng, Y., Sun, W., Chen, S., Liu, D., Zhang, H., . . . Ye, X. (2020). Effect of extrusion processing on the microstructure and in vitro digestibility of broken rice. *LWT*, 119, 108835. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108835>
- Ye, J., Hu, X., Luo, S., Liu, W., Chen, J., Zeng, Z., & Liu, C. (2018). Properties of Starch after Extrusion: A Review. *Starch - Stärke*, 70(11-12), 1700110. doi:<https://doi.org/10.1002/star.201700110>
- Ye, J., Liu, C., Luo, S., Hu, X., & McClements, D. J. (2018). Modification of the digestibility of extruded rice starch by enzyme treatment ( $\beta$ -amylolysis): An in

- vitro study. *Food Research International*, *111*, 590-596.  
doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.002>
- Yegin, S., Kopec, A., Kitts, D. D., & Zawistowski, J. (2020). Chapter 24 - Dietary fiber: a functional food ingredient with physiological benefits. In H. G. Preuss & D. Bagchi (Eds.), *Dietary Sugar, Salt and Fat in Human Health* (pp. 531-555): Academic Press.
- Ying, D., Hlaing, M. M., Lerisson, J., Pitts, K., Cheng, L., Sanguansri, L., & Augustin, M. A. (2017). Physical properties and FTIR analysis of rice-oat flour and maize-oat flour based extruded food products containing olive pomace. *Food Res Int*, *100*(Pt 1), 665-673. doi:10.1016/j.foodres.2017.07.062
- Zannini, E., Bravo Núñez, Á., Sahin, A. W., & Arendt, E. K. (2022). Arabinoxylans as Functional Food Ingredients: A Review. *Foods*, *11*(7), 1026. Retrieved from <https://www.mdpi.com/2304-8158/11/7/1026>
- Zarzycki, P., Kasprzak, M., Rzedzicki, Z., Sobota, A., Wirkijowska, A., & Sykut-Domańska, E. (2015). Effect of blend moisture and extrusion temperature on physical properties of everlasting pea-wheat extrudates. *J Food Sci Technol*, *52*(10), 6663-6670. doi:10.1007/s13197-015-1754-y
- Zhang, N., Liu, X., Jin, X., Li, C., Wu, X., Yang, S., . . . Yanne, P. (2017). Determination of total iron-reactive phenolics, anthocyanins and tannins in wine grapes of skins and seeds based on near-infrared hyperspectral imaging. *Food Chemistry*, *237*, 811-817. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.007>
- Zhang, S., Li, W., Smith, C. J., & Musa, H. (2015). Cereal-derived arabinoxylans as biological response modifiers: extraction, molecular features, and immune-stimulating properties. *Crit Rev Food Sci Nutr*, *55*(8), 1035-1052. doi:10.1080/10408398.2012.705188
- Zhang, Y., Liu, W., Liu, C., Luo, S., Li, T., Liu, Y., . . . Zuo, Y. (2014). Retrogradation behaviour of high-amylose rice starch prepared by improved extrusion cooking technology. *Food Chemistry*, *158*, 255-261. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.072>
- Zheng, H., Yan, G., Lee, Y., Alcaraz, C., Marquez, S., & de Mejia, E. G. (2020). Effect of the extrusion process on allergen reduction and the texture change of soybean protein isolate-corn and soybean flour-corn mixtures. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, *64*, 102421. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102421>

- Zhong, L., Fang, Z., Wahlqvist, M. L., Hodgson, J. M., & Johnson, S. K. (2019). Extrusion cooking increases soluble dietary fibre of lupin seed coat. *LWT*, *99*, 547-554. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.018>
- Zhong, L., Fang, Z., Wahlqvist, M. L., Hodgson, J. M., & Johnson, S. K. (2021). Multi-response surface optimisation of extrusion cooking to increase soluble dietary fibre and polyphenols in lupin seed coat. *LWT*, *140*, 110767. doi:<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110767>
- Zhu, J., Zhang, S., Zhang, B., Qiao, D., Pu, H., Liu, S., & Li, L. (2017). Structural features and thermal property of propionylated starches with different amylose/amylopectin ratio. *International Journal of Biological Macromolecules*, *97*, 123-130. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.01.033>