



Citación: Callo Choquevilca. (2024). Obtención de fibra dietética de las cascarillas de *Vicia faba* L. cruda y tostada por método Enzimático-Gravimétrico. Rev. Q'EUÑA 15(1): 07- 14

<https://doi.org/10.51343/rq.v15i1.1442>

Recibido: 23-02- 2024

Aceptado: 29-04-2024

Publicado: 29-06- 2024

Copyright: © 2024 Callo Choquevilca. Este es un artículo de acceso abierto revisado por pares y publicado por la Revista Q'EUÑA de la Sociedad Botánica del Cusco y la UNSAAC (<http://revistas.unsaac.edu.pe/index.php/RQ>) y distribuido bajo los términos de la licencia de atribución Creative Commons, que permite el uso, distribución y reproducción sin restricciones en cualquier medio, siempre que se acredite el autor y la fuente originales.

Declaración de disponibilidad de datos: Todos los datos relevantes están dentro del documento y sus archivos de información de respaldo.

Conflicto de intereses: El autor declara no tener ningún conflicto de intereses

Autor Corresponsal:

Yolanda Callo Choquevilca
yolanda.callo@unsaac.edu.pe

Yolanda Callo Choquevilca
yolanda.callo@unsaac.edu.pe
ORCID 0000-0001-9543-8547

Obtención de fibra dietética de las cascarillas de *Vicia faba* L. cruda y tostada por método Enzimático-Gravimétrico

Obtaining dietary fiber from raw and roasted *Vicia faba* L. husk by the Enzymatic-Gravimetric method

Yolanda Callo Choquevilca¹

¹Departamento Académico de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. Av. de la Cultura 733, Cusco-Perú

Abstract

When investigating the husks of *Vicia faba* L., the yield of insoluble and soluble dietary fiber was evaluated as well as the variation of their physicochemical properties depending on their raw or roasted state. Its extraction followed the enzymatic-gravimetric method using the enzymes α -amylase, amyloglucosidase and protease. The results show that raw husk has greater insoluble dietary fiber (IDF) with 72,28% compared to 60,94% of toasted husk, with a statistical significance of $p < 0,05$. The % of soluble dietary fiber (SDF) in raw and roasted husks is 19,73% and 24,14% respectively, and the % of total dietary fiber (TDF) in raw and roasted husks (TDF-R and TDF-T) are not statistically different. The hydration capacity and oil absorption of IDF-R and IDF-T are statistically different, with IDF-R being higher, while the swelling capacity is similar in IDF-R and IDF-T. The amount of soluble sugars is greater in FDS-T (27,56 %) than in FDS-C (16,89%). The FT-IR spectra of the FDS-C and FDS-T coincide in absorption bands located between 1300 cm^{-1} -700 cm^{-1} , characteristic of stretching vibrations of the C-O, C-OH, C-C and C-H groups of carbohydrates, with variations in the intensity of the peaks for FDS-C and FDS-T. It is concluded that roasting *Vicia faba* L husks generates physicochemical changes, decreasing the amount of insoluble dietary fiber and increasing soluble dietary fiber, with good functional properties that would favor its use in food.

Keywords: *Vicia faba* L, dietary fiber, bean husk, enzymatic-gravimetric

Resumen

Al investigar las cascarillas de *Vicia faba* L. se evaluó el rendimiento en fibra dietética insoluble y soluble como también la variación de sus propiedades fisicoquímicas dependiendo de su estado crudo o tostado. Su extracción, siguió el método enzimático- gravimétrico utilizando las enzimas α -amilasa, amiloglucosidasa y proteasa. Los resultados demuestran que la cascarilla cruda tiene mayor fibra dietética insoluble (FDI) con 72,28% frente a 60,94% de la cascarilla tostada, con una significancia estadística de $p < 0,05$. El % de fibra dietética soluble (FDS) de las cascarillas cruda y tostada con 19,73% y 24,14% respectivamente, y el % de fibra dietética total de la cascarilla cruda y tostada (FDT-C y FDT-T), no son estadísticamente diferentes. Las propiedades de capacidad de hidratación y captación de aceite de la FDI-C y FDI-T son estadísticamente diferentes, siendo mayor para FDI-C, mientras que, la capacidad de hinchamiento es similar en FDI-C y FDI-T. La cantidad de azúcares solubles en FDS-T (27,56 %) es mayor que en FDS-C (16,89 %). Los espectros FT-IR de la FDS-C y FDS-T, coinciden en bandas de absorción ubicadas entre 1300 cm^{-1} -700 cm^{-1} característico de vibraciones por estiramiento de los grupos C-O, C-OH, C-C y C-H propio de carbohidratos, con variaciones en la intensidad de los picos para la FDS-C y FDS-T.

Se concluye que el tostado de las cascarillas de *Vicia faba* L genera cambios fisicoquímicos, haciendo disminuir la cantidad de fibra dietética insoluble y aumentar la fibra dietética soluble, con buenas propiedades tecnofuncionales que favorecería su utilización en la alimentación.

Palabras clave: *Vicia faba* L, fibra dietética, cascarilla de habas, Método enzimático- gravimétrico.

Introducción

La haba (*Vicia faba* L.), es una leguminosa que después de cosechada, genera una serie de subproductos o residuos vegetales entre estos las vainas y cáscaras de semillas, que constituyen respectivamente el 11% y 6% p/p (Krenz et al., 2023) de la biomasa de cosecha. La cascara de la semilla, que se elimina en estado fresco o seco, representa una pérdida del 15% (p/p) de la materia seca (Çalışkantürk et al., 2017). Según las Naciones Unidas para la alimentación y Agricultura (FAO), anualmente se desaprovecha alrededor de un tercio de la producción mundial de alimentos, aproximadamente 1,3 billones de toneladas métricas es desperdicio (Food and Agriculture Organization (FAO), 2014; Hussain et al., 2020), que puede ser fuente de minerales, sustancias antioxidantes, azúcares simples, polisacáridos complejos, fibra, proteínas y otros compuestos bioactivos (Hussain et al., 2020). Por consiguiente, el uso de residuos de la industria agroalimentaria (cáscaras, semillas, tallos y otros), constituye una fuente importante para la extracción de fibra dietética, fibra funcional o novedosa (Masood et al., 2020), que puede añadirse a muchos alimentos, mejorando su valor nutricional y funcional; además puede contribuir a la disminución de los niveles de contaminación ambiental.

La fibra dietética comprende a polisacáridos, con grado de polimerización mayor que 10, que no pueden ser hidrolizados por las enzimas endógenas en el intestino humano (Ahmad & Khan, 2020), resistentes a la digestión y absorción en la parte superior del intestino delgado, que luego podría fermentarse en el intestino grueso (Li et al., 2022). Sin embargo, la AOAC (Association of Official Analytical Chemists) no incluía a los oligosacáridos con grado de polimerización mayor a 3 como fuente de fibra dietética, por tanto se desarrollaron técnicas analíticas para identificar y cuantificar oligosacáridos con grado de polimerización entre 3 y 9. Desde entonces el Codex Alimentarius en el 2009, ha modificado la definición de fibra dietética al incluir a estos oligosacáridos de cadena corta (Dai & Chau, 2017).

Los beneficios fisiológicos de la fibra dietética, dependen de su composición química, tanto en su fracción soluble e insoluble. La fibra dietética insoluble (FDI), es una matriz muy compleja conformada por celulosa, hemicelulosa y lignina (Mertens, 2003) que se encuentran principalmente formando parte de la pared celular de las células vegetales (Yang et al., 2017). Por su naturaleza química es capaz de retener agua en su matriz estructural y formar mezclas de baja viscosidad, esto produce un aumento de la masa fecal que acelera el tránsito intestinal (Cruz et al., 2015). En cambio, la fibra dietética soluble (FDS) está constituida por pectinas, gomas, oligosacáridos, β -glucanos y mucílagos, considerados como altamente fermentables favoreciendo al desarrollo de la flora intestinal y el fortalecimiento del sistema inmune por la producción de metabolitos como ácidos grasos de cadena corta, fisiológicamente importantes, como: ácido acético, propiónico, butírico, este último es fuente de energía para las células de los colonocitos (Dai & Chau, 2017; Elmståhl, 2002).

De acuerdo a esta problemática el objetivo de la presente

investigación fue extraer de la cascarilla de *Vicia faba* L. la fibra dietética soluble e insoluble siguiendo el método enzimático-gravimétrico de la AOAC 2011.25 (McCleary et al., 2012), además de determinar sus propiedades fisicoquímicas, comparando la fibra dietética obtenida de la cascarilla cruda y tostada, con la posibilidad de utilizarlas como fuente de fibra dietética, al mismo tiempo favorecer a una economía circular.

Área de Estudio

La presente investigación corresponde al área de investigación, “Bioquímica de alimentos”, con código UNESCO 2302.90.

Se desarrolló en los laboratorios de Bromatología, Bioquímica y Química Orgánica de la Escuela Profesional de Química-Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Materiales y Métodos

Materiales

Reactivos: buffer fosfato pH 6, buffer Trizma base 0.75 M (Sigma), ácido acético 2 M (Merck), ácido clorhídrico, hidróxido de sodio, ácido sulfúrico concentrado de 97% de pureza y densidad 1,84 g/cm³ (Merck), etanol al 95% y 78%, acetona, glucosa y agua bidestilada.

Enzimas: Alfa-amilasa pancreática porcina (Sigma-Aldrich); Amilogucosidasa de *Aspergillus oryzae*, grado V (Sigma-Aldrich) y Protease pancreática bovina, tipo I, (Sigma-Aldrich).

Preparación de la muestra

Semillas secas de *Vicia faba* L. de la variedad Blanco Anta fueron adquiridas en el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) de Cusco. A estas semillas se les removió manualmente la cascarilla utilizando un descascarillador metálico. Por otro lado, las habas crudas fueron tostadas a 160°C durante 20 minutos (Morales M, 2014) hasta obtener un color pardo oscuro (figura 1). Una vez enfriadas a temperatura ambiente, se les retiró la cascarilla, luego fueron trituradas en un molino de granos y, para homogenizar el tamaño de las partículas, se pasaron por un tamiz N°30.



Figura 1. Cascarilla de habas cruda y tostada

Análisis proximal de las muestras

La determinación de humedad, proteína bruta, grasa, cenizas, fibra cruda, se procedió de acuerdo a los métodos: AOAC 964.22, AOAC 955.04, AOAC 920.39, AOAC 942.05 y AOAC 962.09.

Extracción de fibra dietética

Se siguió el método enzimático-gravimétrico correspondiente al método oficial de la AOAC 2011.25 (combinación de los métodos AOAC 985.29, 991.43, 2001.03 y 2002.02) según McCleary et al. (2012). En un frasco de vidrio de 250 mL, se colocó 1 g de muestra junto con 40 mL de solución de α -amilasa y amiloglucosidasa (0,2 mL y 0,3 mL respectivamente en 220 mL de buffer fosfato pH 6). La mezcla se incubó a 37°C durante 16 horas. Posteriormente, se ajustó el pH a un rango de 7,8-8,2 añadiendo buffer Trizma base y se calentó a 90°C durante 10 minutos, luego de enfriar a 60°C, se agregó 0,1 mL de solución de proteasa incubándose por 30 minutos para posteriormente ajustar el pH a 4,3 con ácido acético 2M. Finalizado el proceso, se filtró y el residuo sólido (FDI) se secó a 90°C hasta alcanzar peso constante. Al filtrado se le añadieron 220 mL de etanol al 95% precalentado a 60°C, dejándolo precipitar a temperatura ambiente durante 60 minutos. Tras filtrar, el residuo (FDS) se lavó con etanol al 78% y acetona, y finalmente se secó a 90°C.

La fibra dietética total corresponde a la suma de FDI y FDS, cuyos valores previamente fueron ajustados con la determinación de proteínas y cenizas (métodos AOAC).

Capacidad de hidratación (CH)

Definida como la cantidad de agua que se une a la fibra sin la aplicación de cualquier fuerza externa, excepto la gravedad y la presión atmosférica (Tosh & Yada, 2010).

Se utilizó 0,5 g de FDI-C (fibra dietética insoluble de cascarilla cruda) y FDI-T (fibra dietética de cascarilla tostada), a cada muestra se adicionó 10 mL de agua bidestilada a 20°C, dejando reposar por 24 hrs, después de este tiempo se centrifugó a 3000 r.p.m por 20 minutos, el sobrenadante fue eliminado y el residuo se pesó inmediatamente. Para los cálculos se utilizó la ecuación 1:

$$CH = \frac{w_2 - w_1}{w_1}$$

CH(g/g)=capacidad de hidratación

W1=Peso inicial

W2=Peso muestra hidratada

Capacidad de hinchamiento (CHI)

Expresa el volumen que ocupa un peso conocido de fibra, esta propiedad es determinante en el efecto de aumento de volumen de las heces (Raghavendra et al., 2004).

En una probeta de 25 mL se colocó 0,5 g de muestra, se añadió 10 mL de agua bidestilada dejándose reposar por 24 horas. La capacidad de hinchamiento corresponde al volumen expandido (Bai et al., 2022; Luo et al., 2017). Para los cálculos se consideró la ecuación 2:

$$CHI = \frac{v}{w}$$

CHI(mL/g)=capacidad de hinchamiento

V=Volumen expandido

W=Peso muestra

Capacidad de captación de aceite (CCAc)

Es conveniente hacer la determinación de este indicador, que permite conocer la capacidad de la fibra dietética para retener grasas y sabores liposolubles .

En un vaso de precipitado se pesó 0,5 g de muestra y se añadió 20 mL de aceite de soya, se mezcló fuertemente y se dejó reposar por 24 horas a 37 °C, la mezcla fue centrifugada a 3000 r.p.m por 30 minutos, el residuo sólido se pesó inmediatamente (Li et al., 2022).

Los cálculos se realizarán con la ecuación 3:

$$CCAc = \frac{w_2 - w_1}{w_1}$$

CCAc(g/g)=capacidad de captación de aceite

W1=Peso inicial

W2=Peso final

Determinación de azúcares totales en la fibra dietética soluble

La cuantificación del contenido de azúcares totales en la fibra dietética soluble en la cascarilla cruda y tostada de *V.faba* L, se realizó por el método espectrofotométrico ácido sulfúrico-UV, modificación del clásico método Fenol-ácido sulfúrico (DuBois et al., 2002), se fundamenta en la reacción del ácido sulfúrico concentrado con soluciones acuosas de carbohidratos, producto de esta reacción se forman derivados del furfural que absorben luz UV (Albalasmeh et al., 2013; Asghari & Yoshida, 2006). Permite la cuantificación de azúcares totales en soluciones acuosas de azúcares neutros (glucosa, fructosa, sucrosa, almidón, dextranos) y carbohidratos aniónicos (ácido poligalacturónico, Xantano)(Albalasmeh et al., 2013).

Previamente se elaboró la curva de calibración utilizando una solución patrón de glucosa de 1 mg/mL, se tomaron alícuotas de concentración 10, 20, 30, 40 μ g/mL al que se agregó 3 mL de ácido sulfúrico concentrado, agitándose por 30 segundos. Considerando que la reacción es altamente exotérmica se enfrió en baño de hielo durante 2 minutos hasta temperatura ambiente. Finalmente se hizo la lectura de las absorbancias a una longitud de onda de 315 nm (Albalasmeh et al., 2013), utilizando cubetas de cuarzo y un espectrofotómetro UV-vis Thermo-Evolution 300. Para las muestras se procedió de la misma manera, utilizando soluciones de FDS-C y FDS-T de concentración 10 mg/ mL, en cada caso y para su cuantificación se utilizó de 10 μ L.

Espectros de absorción UV

La presencia de azúcares solubles en la FDS, se identificó por los máximos de absorción UV que generan los derivados del furfural, formados por la reacción de los azúcares al ser sometidos a la acción del ácido sulfúrico concentrado. Para las lecturas se hizo un barrido de 200 a 400 nm de longitud de onda y se tomó como referencia los máximos de absorción de los espectros UV, reportados por López-Legarda et al., (2017) para galactosa 307 nm, Xilosa 313.5 nm, glucosa 316 nm y β -glucano 315 nm.

Espectroscopía FT-IR/ATR

Se realizó el análisis por espectroscopía FT-IR/ATR (Espectroscopía Infrarrojo por Transformada de Fourier con Reflectancia Total Atenuada) de las muestras de fibra dietética soluble de las cascarillas cruda y tostada (FDS-C y FDS-T), con el fin de hacer el seguimiento de la variación de la composición de la fibra dietética, mediante la identificación de los grupos funcionales característicos de los componentes de la fibra dietética obtenida.

Se utilizó un espectrofotómetro NICOLET 380 FT-IR, marca Thermo, con un accesorio Smart iTX™ y cristal de diamante. La medición espectral de las muestras sólidas, colocadas en el cristal de diamante del ATR, se realizó en el rango de 4000 a 400 cm⁻¹, con una resolución de 4 cm⁻¹ y un barrido de 32 scaneos para cada muestra. Los carbohidratos muestran bandas características en la región de 1200 a 800 cm⁻¹, que permiten caracterizar estas moléculas. Por ejemplo, fructosa (1054 cm⁻¹), glucosa (1028 cm⁻¹), maltosa (1024 cm⁻¹) y sacarosa (991 cm⁻¹), frecuencias correspondiente a vibraciones por estiramiento de grupos C-C, C-O y por flexión del grupo C-OH, propias de estos azúcares (Cortez, 2020).

Resultados y discusión

Composición proximal

Tabla 1. Composición proximal de la cascarilla de *Vicia faba* L.

	Cascarilla cruda		Cascarilla Tostada	
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
Humedad	5,95	0,28	3,21	0,06
Proteína	4,18	0,47	7,83	0,17
Grasa	2,33	0,25	0,75	0,14
Ceniza	3,58	0,16	1,58	0,18
Fibra	69,7	3,11	71,6	1,56
Carbohidratos	14,26	0,17	15,42	0,33
n=2				

El proceso de tostado disminuye la humedad, por tanto aumenta la concentración de los otros nutrientes, en el caso de proteínas, varía de 4,18% en crudo a 7,83% en tostado, tabla 1, estos resultados se encuentran dentro de los rangos de proteína bruta reportados por Krenz et al., (2023). para cáscara de habas crudas con 4,3 % -20,79 %. El porcentaje de grasa en la cascarilla tostada es menor a la del estado crudo, posiblemente debido a la oxidación de lípidos por efecto de la temperatura a la que fue sometida las habas. La fibra cruda en la cascarilla cruda y tostada, es alta con 69,70% y 71,60% respectivamente. De acuerdo al reporte de Krenz et al., (2023) la cáscara de haba cruda contiene un promedio de 61,47% de celulosa, 4,9% de hemicelulosa y 6,4% de lignina, como parte de la fibra cruda.

Fibra dietética soluble, insoluble y total

Tabla 2. Fibra dietética en cascarilla cruda y tostada

Muestra	FDI-C	FDI-T	FDS-C	FDS-T	FDT-C	FDT-T
% Fibra (X)	72.28	60.94	19.73	24.14	92.01	85.09
SD	3.72	3.88	2.26	0.49	4.91	3.43
n=4						

FDI-C=fibra dietética insoluble en cascarilla cruda, FDI-T=fibra dietética insoluble en cascarilla tostada FDS-C= fibra dietética soluble en cascarilla cruda, FDS-T= fibra dietética soluble en cascarilla tostada, FDT= fibra dietética total.

Según los resultados de la tabla 2, la media de FDI-C, disminuye con el proceso del tostado a 60,94 %. Sin embargo, la FDT-C con 92,01 % es mayor a la FDT-T. Al realizar el ANOVA de la data de los resultados, se ha encontrado diferencia estadística significativa entre los % de la FDI de las muestras cruda y tostada con un valor p < 0,05. Esto sugiere que el tostado tiene efecto en el % de FDI-C.

Por otro lado, los % de FDS y FDT de la cascarilla cruda y tostada no muestran diferencia significativa (p > 0,05), a un nivel de confianza del 95%.

Estos resultados se asemejan a lo hallado por Marconi et al., (2000) quienes reportan, que la cocción convencional y en microondas de frijoles y garbanzos comparado con legumbres crudas, muestran un aumento en la fracción de fibra soluble y disminución de la fibra insoluble. Estos cambios se atribuyeron a una solubilización y despolimerización parcial de la hemicelulosa. Debe considerarse además, que en el proceso de tostado de la semilla se libera cierta cantidad de vapor de agua del propio alimento, que induce al ablandamiento del tejido vegetal de la cascarilla y la degradación de algunos polisacáridos, liberándose azúcares de menor peso molecular. Considerando los % de FDT encontrados en esta investigación, las cascarillas cruda y tostada pueden ser buena fuente de fibra dietética, pues sus valores son mayores a los reportados por otros investigadores. Orcón, (2023), reporta 56,53% de FDT en cáscara de habas secas, así mismo, Karaman et al. (2017) informan 82,3% de FDT en la cubierta de semillas de haba.

Propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética insoluble

Tabla 3. Propiedades fisicoquímicas: CH, CHI, CCAc de FDI de cascarillas cruda y tostada de *V faba* L.

Muestra	FDI-C			FDI-T
CH (g/g)	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
CHI (mL/g)	1.64	0.07	1.16	0.15
CCAc (g/g)	2.5	0.11	2.5	0.2
n=3				

CH (capacidad de hidratación), CHI (capacidad de hinchamiento) CCAc (capacidad de captación de aceite)

Los resultados de las propiedades de la FDI-C y FDI-T, que se resume en la tabla 3, muestran la capacidad del área superficial de la fibra dietética insoluble de las cascarillas de habas crudas y tostadas. Se observa que las muestras crudas tienen una mayor capacidad de hidratación con respecto a las

muestras tostadas; en cambio, la capacidad de hinchamiento tiene una media casi idéntica entre las muestras crudas y tostadas, lo que sugiere que el proceso de tostado no afecta significativamente esta variable. Por otro lado, la variación de la capacidad de captación de aceite muestra una disminución para las muestras tostadas en comparación con las crudas. Los resultados del ANOVA realizados para estas tres variables confirman que estadísticamente existe diferencia significativa (valor $p < 0,05$), para la CH y CCAC entre las muestras crudas y tostadas; pero, no ocurre lo mismo con la CHI, que no muestra diferencia estadística ($p > 0,05$) entre los grupos comparados. Se observa que la mayor capacidad de hidratación (CH) corresponde a FDI-C, con 1,64 g/g, mayor a la FDI-T, es posible debido a la variación de la proporción de polisacáridos hidrofílicos frente a los no hidrofílicos, es decir que en la FDI-C, existe mayor cantidad de moléculas solubles que captan agua por puentes hidrógeno.

La capacidad de hinchamiento (CHI) para FDI-C y FDI-T, no muestra diferencia, sin embargo, su valor correspondiente a 2.5 mL/g, puede favorecer el movimiento peristáltico de los intestinos, con incremento del volumen fecal (Bai et al., 2022; Hua et al., 2019). Estos resultados en alguna medida no se alejan de los reportados en otras matrices, como el que informa Bai et al., (2022), WHC 4,35 (water holding capacity), OHC 2,18 (oil holding capacity) y SC 2,03 (swelling capacity) para la FDI del té; pero mucho menor que el reportado por Yang et al. (2014) en la cáscara de soya de 3,52 - 4,07 para la capacidad de hidratación (WHC). Estas propiedades pueden variar dependiendo del tamaño de las partículas, se considera que partículas de fibra más pequeñas tienen una mayor densidad aparente y pueden reducir la capacidad de la fibra para absorber agua y aceite (Huang et al., 2020).

Cuantificación de azúcares totales en la fibra dietética soluble

Tabla 4. Elaboración de curva de calibración con solución patrón de glucosa 1mg/mL

Glucosa 1 mg/mL	Concentración µg/mL	Absorbancia λ 315 nm
1	10	0,373
2	20	0,467
3	30	0,558
4	40	0,641



Figura 2. Soluciones patrón de glucosa y de fibra dietética soluble de cascarilla cruda y tostada (FDS-C y FDS-T).

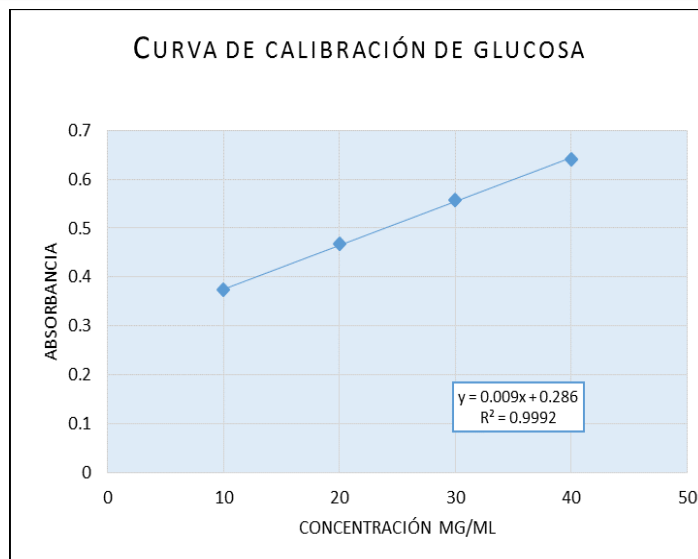


Figura 3. Curva de calibración de glucosa

La cantidad de azúcares solubles totales en la FDS, se calculó con la ecuación de regresión lineal de la curva de calibración $y = 0,0089 X + 0,2863$.

Tabla 5. Concentración de azúcares solubles en FDS-C y FDS-T

Muestra	Absorvancia	Concentración µg/mL	% Azúcares solubles
FDS-C	0.438	16.89	16.89
FDS-T	0.534	27.56	27.56

Según la tabla 5, el porcentaje de azúcares solubles es mayor en la FDS-T 27,56 %, frente a 16,89% de la FDS-C, mostrando una relación directa con el incremento de FDS para la cáscara de habas tostada (Tabla 2).

Estos resultados demuestran que el proceso de tostado afecta los enlaces que unen la celulosa y la hemicelulosa, quedando esta última más expuesta a la acción enzimática en la etapa de la digestión, generando una parcial degradación de polisacáridos y oligosacáridos, liberando fragmentos moleculares más pequeños y más solubles (Rashid et al., 2015; Yang et al., 2017). Las investigaciones sobre FDS informan que, en su mayoría está formado por oligómeros de manosa, ramnosa, glucosa, xilosa, arabinosa identificados y cuantificados por HPLC. Shen et al. (2019) reportan, presencia de fucosa, arabinosa, galactosa, glucosa, Xilosa y manosa, en FDS de cáscaras de frijol negro. Así mismo Li et al. (2022) mencionan resultados de HPLC, que la FDS del marlo de maíz contiene manosa, ramnosa, ácido galacturónico, glucosa, xilosa y arabinosa. Esto explica que la composición de la FDS es semejante, resaltando más la presencia de azúcares neutros, puede que varíe en cantidad dependiendo del método de extracción de fibra, procesos a los que son sometidos las matrices alimentarias o la variedad genética.

Espectros UV de la fibra dietética soluble

Los espectros UV, permite realizar un seguimiento de la presencia de azúcares en la FDS de la cascarilla cruda y

tostada. En el espectro UV de la FDS-C (figura 4), se observa un máximo de absorción correspondiente a 302 nm y para la FDS-T, el máximo de absorbancia es 299 nm, con un ligero desplazamiento debido a la diferencia de la composición de azúcares en ambas muestras, como consecuencia del proceso térmico al que se sometió las habas. Los máximos de absorción obtenidos en ambas muestras de FDS, están dentro de los rangos que reporta la bibliografía, demostrando la presencia de

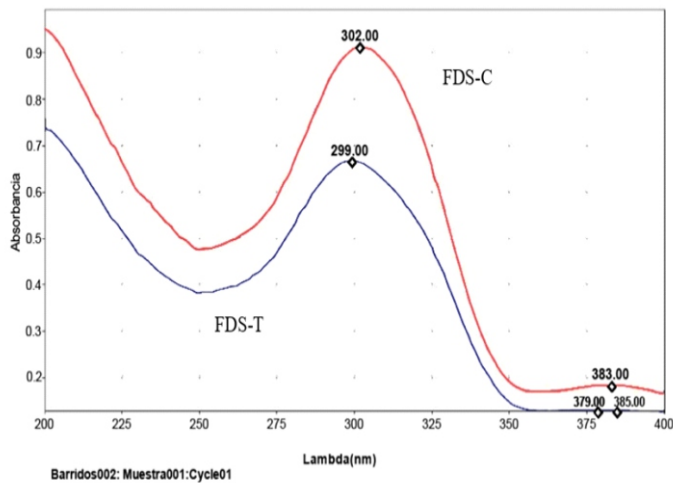


Figura 4. Espectros UV de fibra dietética soluble de cascarilla cruda y tostada (FDS-C y de FDS-T).

Se conoce que todos los carbohidratos en solución tienen un máximo de absorción de 490 nm, utilizando el método fenol-ácido sulfúrico. Sin embargo, Albalasmeh et al.(2013) observaron que todos los carbohidratos tienen un máximo de absorción de 315 nm, según el método ácido sulfúrico-UV. Debe considerarse que estos valores dependen de la calidad del ácido sulfúrico empleado para hidrolizar y deshidratar los carbohidratos, formando furfural y sus derivados, con máximos de absorción en este rango de longitud de onda.

Espectros FTIR/ ATR de la fibra dietética soluble

Los espectros FT-IR/ATR de FDS-C y FDS-T (figura 5 y 6) corresponden a duplicados de ambas muestras. En los espectros de FDS-C1 y FDS-C2 (figura 5), se observa picos desde 1355 cm^{-1} -517 cm^{-1} , mientras que las bandas de absorción de FDS-T1 y FDT-T2 (figura 6), están entre 1138 cm^{-1} - 508 cm^{-1} , relacionadas a grupos funcionales característicos de los carbohidratos.

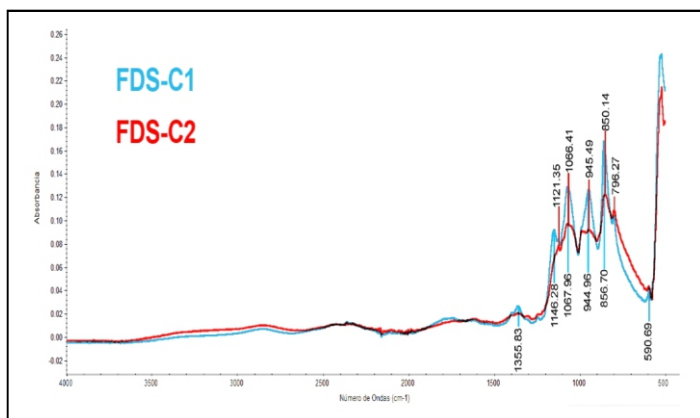


Figura 5. Espectros FTIR/ATR de fibra dietética soluble en cascarilla cruda de *V.faba* L (FDS-C1 y FDS-C2)

Las señales de los espectros de FDS-C1 y FDC2 (figura 5), son semejantes, resaltando una señal intensa entre 856 cm^{-1} - 850 cm^{-1} ; pero, en FDS-T1 y FDS-T2 (figura 6), disminuye la intensidad en la misma region, señal que según la literatura corresponde a una vibración por estiramiento C-O del enlace glicosídico en oligosacáridos. Estas diferencias demuestran que el proceso de tostado afecta a los enlaces glicosídicos.

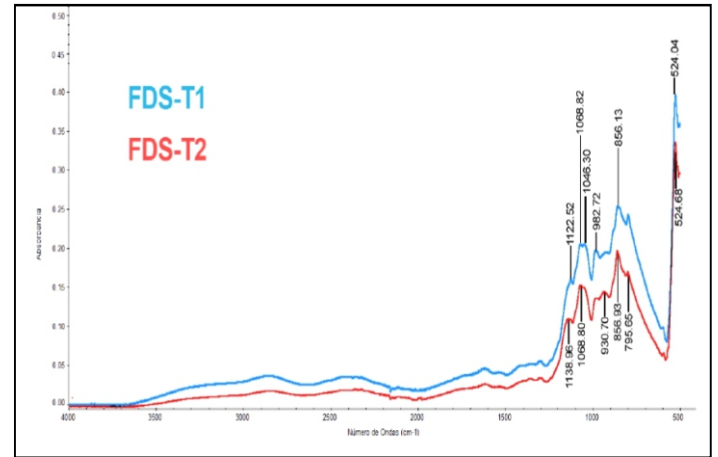


Figura 6. Espectro FTIR/ATR de fibra dietética soluble en cascarilla tostada de *V.faba* L. (FDS-T1 y FDS-T2)

Además, en la figura 5, resalta un pico de baja intensidad a 1355 cm^{-1} , correspondiente al estiramiento C-O del grupo C-OH. Sin embargo esta señal ya no se observa en los espectros de FDS-T (figura 6), lo que explica que ocurrió modificaciones estructurales por el tratamiento térmico al que se sometió las semillas de *V.faba* L.

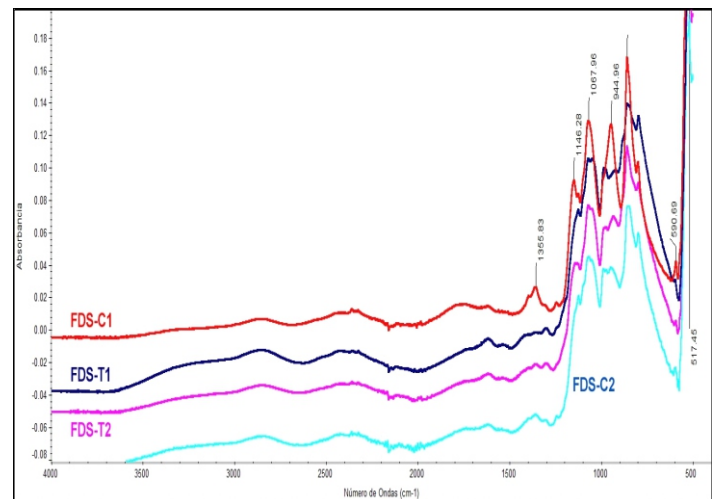


Figura 7. Espectro FT-IR/ATR comparativo entre FDS-C1, FDS-C2 y FDS-T1, FDS-T2

Comparando los espectros correspondientes a la FDS de la cascarilla cruda y tostada (figura 7), se observa que la region entre 1200 cm^{-1} a 700 cm^{-1} , es común a las cuatro muestras, según las referencias bibliográficas corresponden a señales característicos de los azúcares, que dependiendo de si es un monosacárido, disacárido, oligosacárido o polisacárido se asignan diferentes valores de frecuencias en esta region.

Un pico de intensidad mediana, común a los cuatro espectros se ubica entre 1068 cm^{-1} - 1066 cm^{-1} , correspondiente a la vibración por estiramiento de los grupos C-O- y C-OH propio de azúcares. Estos resultados se asemejan al reportado por quienes al realizar el análisis de los espectros FTIR de la FDS de la mazorca de maíz, ubican un pico intenso a 1031 cm^{-1} , común a todos los espectros de comparación por varios tratamientos y de modo concluyente mencionan que las señales entre $1300\text{-}950\text{ cm}^{-1}$ corresponde a la región de la huella dactilar de polisacáridos, relacionado a la vibración de estiramiento de C-O- C y C-O-H, en glucopiranosas. De la misma manera, menciona que cada polisacárido en particular tiene una banda específica en la zona de $1200\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$, región dominada por vibraciones de estiramiento de grupos laterales (C-OH) y la vibración del enlace glicosídico (C-O-C). Por tanto los picos de absorción observados en esta investigación, están dentro de la región correspondiente a la huella dactilar de los carbohidratos, que corrobora la presencia de estos en la FDS-C y FDS-T.

Conclusiones

La cascarilla de *Vicia faba* L. (habas) cruda y tostada tiene alto contenido de fibra cruda $69,70\%$ y $71,60\%$ respectivamente, indicador favorable para la extracción de fibra dietética alimentaria. La cantidad de fibra dietética insoluble es mayor en la cascarilla cruda, variando de $72,28\%$ a $69,94\%$ de FDI en cascarilla tostada, con una diferencia significativa. Sin embargo, la FDS es mayor en cascarilla de habas tostadas, variaciones que evidencian el efecto del tostado en los polisacáridos y oligosacáridos que conforman la cascarilla de esta leguminosa. Por tanto, la cascarilla cruda y tostada constituyen una buena fuente de FDI y FDS, cuyo consumo puede además favorecer a una economía circular.

La FDI de cascarilla cruda y tostada, muestran una buena capacidad de hidratación e hinchamiento, propiedades que pueden ayudar a un buen peristaltismo intestinal.

El contenido de azúcares solubles totales en FDS, permitió determinar que el proceso de tostado incrementa la degradación de polisacáridos, generando mayor cantidad de azúcares solubles, con $27,56\%$ después del tostado, comparado con $16,89\%$ antes del tostado. Por consiguiente, la capacidad de fermentación a nivel del colon de la FDS de cascarilla tostada, sería beneficiosa para la salud humana, favoreciendo la conservación de la microbiota intestinal.

Los espectros FTIR-ATR de la FDS-C y FDS-T no difieren mucho, mostrando bandas de absorción características entre la región de 1300 cm^{-1} a 500 cm^{-1} correspondientes a grupos funcionales inherentes a los carbohidratos y coincidentes por lo reportado en la bibliografía, demostrándose ligeros cambios fisicoquímicos por efecto del tostado. Los resultados obtenidos en la investigación de este residuo agroindustrial, genera la posibilidad de poder ser utilizada en la alimentación humana, adicionada a otros alimentos carentes de fibra dietética.

Agradecimientos

Mi agradecimiento a la Mgt. Emma Urrunaga Soria, Coordinadoras del Área de Bioquímica y a la Mgt. Janet Gonzales Bellido, Coordinadora del Área de Química Orgánica de la Escuela Profesional de Química de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, quienes me permitieron hacer uso de los laboratorios y equipos de estas áreas para hacer realidad esta investigación.

Referencia bibliográfica

- Ahmad, S., & Khan, I. (2020). Role of Dietary Fibers and Their Preventive Measures of Human Diet. En S. Ahmad & N. A. Al-Shabib (Eds.), *Functional Food Products and Sustainable Health* (pp. 109-130). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4716-4_8
- Albalasmeh, A. A., Berhe, A. A., & Ghezzehei, T. A. (2013). A new method for rapid determination of carbohydrate and total carbon concentrations using UV spectrophotometry. *Journal Carbohydrate Polymers*, *97*(2), 253-261. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.04.072>
- Anjos, O., Campos, M., Ruiz, P., & Antunes, P. (2015). Application of FTIR-ATR spectroscopy to the quantification of sugar in honey. *Food Chemistry*, *169*, 218-223. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.138>
- Asghari, F. S. A., & Yoshida*, H. (2006). Acid-Catalyzed Production of 5-Hydroxymethyl Furfural from D-Fructose in Subcritical Water. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, *45*(7), 2163-2173. <https://doi.org/10.1021/ie051088y>
- Bai, X., He, Y., Quan, B., Xia, T., Zhang, X., Wang, Y., Zheng, Y., & Wang, M. (2022). Physicochemical properties, structure, and ameliorative effects of insoluble dietary fiber from tea on slow transit constipation. *Food Chemistry*: *X*, *14*, 100340. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100340>
- Çalışkantürk Karataş, S., Günay, D., & Sayar, S. (2017). In vitro evaluation of whole faba bean and its seed coat as a potential source of functional food components. *Food Chemistry*, *230*, 182-188. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.037>
- Cortez, P. M. (2020). *La espectroscopia aplicada al análisis de alimentos y bebidas*. Repositorio CIATEJ.
- Cruz, A., Guamán, M., Castillo, M., Glorio, P., & Martínez, R. (2015). Fibra dietaria en subproductos de mango, maracuyá, guayaba y palmito. *Revista Politécnica*, *36*(2), Article 2.
- Dai, F.-J., & Chau, C.-F. (2017). Classification and regulatory perspectives of dietary fiber. *Journal of Food and Drug Analysis*, *25*(1), 37-42. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.09.006>
- DuBois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (2002). *Colorimetric Method for Determination of Sugars and Related Substances* (world) [Research-article]. ACS Publications; American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>
- Elmståhl, H. (2002). Resistant starch content in a selection of starchy foods on the Swedish market. *European journal of clinical nutrition*, *56*, 500-505. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601338>
- Food and Agriculture Organization (FAO). (2014). *Definitional Framework of Food Losses and Waste*. FAO Rome, Italy.
- Hua, M., Lu, J., Qu, D., Liu, C., Zhang, L., Li, S., Chen, J., & Yinshi, S. (2019). Structure, physicochemical properties and adsorption function of insoluble dietary fiber from ginseng residue: A potential functional ingredient. *Journal Food Chemistry*, *286*, 522-529. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.114>

- Huang, S.-C., Liao, T.-S., Cheng, T.-C., Chan, H.-Y., Hwang, S.-M., & Hwang, D.-F. (2020). In vitro interactions on glucose by different fiber materials prepared from mung bean hulls, rice bran and lemon pomace. *Journal of Food and Drug Analysis*, 17(4). <https://doi.org/10.38212/2224-6614.2599>
- Hussain, S., Jōudu, I., & Bhat, R. (2020). Dietary Fiber from Underutilized Plant Resources—A Positive Approach for Valorization of Fruit and Vegetable Wastes. *Sustainability*, 12(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/su12135401>
- Kacuráková, M. (2000). FT-IR study of plant cell wall model compounds: Pectic polysaccharides and hemicelluloses. *Carbohydrate Polymers*, 43(2), 195-203. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(00\)00151-X](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(00)00151-X)
- Karaman, E., Yilmaz, E., & Tuncel, N. B. (2017). Physicochemical, microstructural and functional characterization of dietary fibers extracted from lemon, orange and grapefruit seeds press meals. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 11, 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2017.06.001>
- Krenz, L. M. M., Grebenteuch, S., Zoche, K., Rohn, S., & Pleissner, D. (2023). Valorization of faba bean (*Vicia faba*) by-products. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-03779-9>
- Lettow, M., Grabarics, M., Mucha, E., Thomas, D. A., Polewski, L., Freyse, J., Rademann, J., Meijer, G., Von Helden, G., & Pagel, K. (2020). IR action spectroscopy of glycosaminoglycan oligosaccharides. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 412(3), 533-537. <https://doi.org/10.1007/s00216-019-02327-7>
- Li, S., Hu, N., Zhu, J., Zheng, M., Liu, H., & Liu, J. (2022). Influence of modification methods on physicochemical and structural properties of soluble dietary fiber from corn bran. *Food Chemistry: X*, 14, 100298.
- López-Legarda, X., Taramuel-Gallardo, A., Arboleda, C., Segura-Sánchez, F., & Restrepo-Betancur, E. L. F. (2017). Comparación de métodos que utilizan ácido sulfúrico para la determinación de azúcares totales. *Revista Cubana de Química*, 29(2), 180-198. <http://ojs.uo.edu.cu/index.php/cq>
- Luo, X., Wang, Q., Zheng, Y., & Xiao, J. (2017). Hydration properties and binding capacities of dietary fibers from bamboo shoot shell and its hypolipidemic effects in mice. *Food and chemical toxicology*, 109, 1003-1009. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.02.029>
- Marconi, E., Ruggeri, S., Cappelloni, M., Leonardi, D., & Carnovale, E. (2000). Physicochemical, Nutritional, and Microstructural Characteristics of Chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Following Microwave Cooking. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(12), 5986-5994. <https://doi.org/10.1021/jf0008083>
- Masood, F., Haque, A., Ahmad, S., & Malik, A. (2020). Potential of Food Processing By-products as Dietary Fibers. En S. Ahmad & N. A. Al-Shabib (Eds.), *Functional Food Products and Sustainable Health* (pp. 51-67). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4716-4_5
- McCleary, B. V., DeVries, J. W., Rader, J. I., Cohen, G., Prosky, L., Mugford, D. C., Champ, M., & Okuma, K. (2012). Determination of Insoluble, Soluble, and Total Dietary Fiber (CODEX Definition) by Enzymatic-Gravimetric Method and Liquid Chromatography: Collaborative Study. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 95(3), 824-844. https://doi.org/10.5740/jaoacint.CS2011_25
- Mertens, D. R. (2003). Challenges in measuring insoluble dietary fiber. *Journal of Animal Science*, 81(12), 3233-3249. <https://doi.org/10.2527/2003.81123233x>
- Morales M, M. (2014). Obtención de un polvo instantaneo por atomización a partir del extracto de la cáscara de la haba (*Vicia faba*) Tostada. Universidad Nacional San Cristobal de Huamanga.
- Niu, Y., de Huicheng, C., Huo, T., Sun, X., Gong, Q., & Yu, L. (2020). A novel fat replacer composed by gelatin and soluble dietary fibers from black bean coats with its application in meatballs. *LWT-food Science and Technology*, 122(109000). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.109000>
- Orcón, G. V. (2023). Propiedades funcionales de la fibra dietaria de cáscara de habas (*Vicia faba*) en ratas Holtzman sometidas a estreñimiento [Tesis para optar el Grado de Mgister]. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Raghavendra, S. N., Rastogi, N. K., Raghavarao, K. S. M. S., & Tharanathan, R. N. (2004). Dietary fiber from coconut residue: Effects of different treatments and particle size on the hydration properties. *European Food Research and Technology*, 218(6), 563-567. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-0889-2>
- Rashid, S., Rakha, A., Anjum, F. M., Ahmed, W., & Sohail, M. (2015). Effects of extrusion cooking on the dietary fibre content and Water Solubility Index of wheat bran extrudates. *International Journal of Food Science & Technology*, 50(7), 1533-1537. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12798>
- Shen, M., Ge, Y., Kang, Z., Quan, Z., Wang, J., Xiao, J., Wang, W., & Cao, L. (2019). Yield and Physicochemical Properties of Soluble Dietary Fiber Extracted from Untreated and Steam Explosion-Treated Black Soybean Hull. *Journal of Chemistry*, 2019, 1-9. <https://doi.org/10.1155/2019/9736479>
- Tosh, S., & Yada, S. (2010). Dietary fibres in pulse seeds and fractions: Characterization, functional attributes, and applications. *Food Research International*, 43, 450-460. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.005>
- Wiercigroch, E., Szafraniec, E., Czamara, K., Pacia, M. Z., Majzner, K., Kochan, K., Kaczor, A., Baranska, M., & Malek, K. (2017). Raman and infrared spectroscopy of carbohydrates: A review. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 185, 317-335.
- Yang, Y., Ma, S., Wang, X., & Zheng, X. (2017). Modification and Application of Dietary Fiber in Foods. *Journal of Chemistry*, 2017, 1-8. <https://doi.org/10.1155/2017/9340427>