

Efecto de cocción de granos de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en su contenido de minerales, compuestos fenólicos y actividad antioxidante

Effect of thermal processing on mineral content, phenolic compounds, and antioxidant activity of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grain

Recepción del artículo: 05/09/2025 • Aceptación para publicación: 10/11/2025 • Publicación: 01/01/2026

Brenda Yudith Gómez-Pérez

Universidad Autónoma de Tamaulipas. Ciudad Victoria, Tamaulipas, México.

Araceli Minerva Vera-Guzmán*

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7523-1143>

José Luis Chávez-Servia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8816-4127>

Prisciliano Diego Flores

Mónica Lilian Pérez Ochoa

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2180-8066>

Instituto Politécnico Nacional, CIIDIR-Oaxaca. Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca, México.

*Autor para correspondencia:

avera@ipn.mx

Resumen

El grano de frijol común es fuente de nutrientes minerales y compuestos fenólicos pero su proceso térmico de cocción en agua modifica su composición química y la fracción biodisponible final depende de la variedad. El objetivo fue evaluar los cambios en el contenido de minerales, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en grano por efecto de cocción en agua en una colección de poblaciones de frijol nativo pigmentado de Oaxaca. El contenido de minerales en muestras de grano molido con y sin cocción de cinco poblaciones de frijol se determinó por espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente, y el efecto térmico en polifenoles, flavonoides, antocianinas y actividad antioxidante (DPPH y FRAP) fue evaluado por espectrometría UV-visible. El proceso de cocción cambió la composición del grano; por ejemplo, el contenido de Cu, Fe, Mg, K y S decreció y estos patrones de respuestas presentaron alta variabilidad entre poblaciones. En compuestos fenólicos y actividad antioxidante, la cocción generó una reducción mayor del 50% en polifenoles, flavonoides, antocianinas y actividad antioxidante e indica que la cocción que se hace comúnmente en los hogares genera desnaturalización de compuestos bioactivos y su actividad antioxidante, pero la fracción final disponible es relevante para la salud.

Palabras clave: Compuestos bioactivos, micro y macronutrientes minerales, tratamiento térmico de granos.

Abstract

Common bean grains are source of mineral nutrients and phenolic compounds, but the thermic process of cooking in water modify substantially their chemical composition and the final bioavailable fraction is variable on base to variety. The aim was evaluated the changes on mineral micro and macroelement contents, in phenolic compounds and antioxidant activity in grain as result of the water cooking effect based in the evaluation of local collection of pigmented bean populations from Oaxaca. Mineral content in grain samples with and without cooking of five accessions or populations of common bean was determined by inductively coupled plasma-optical emission spectrometry, and thermic effect in polyphenols, flavonoids, anthocyanins and antioxidant activity (DPPH and FRAP) was evaluated by spectrophotometry UV-vis. The cooking process change substantially the grain composition; for example, the Cu, Fe, Mg, K and S content decreased and this response patterns presented high variability among accessions. In phenolic compounds and antioxidant activity the cooking produced a drastic reduction from 50% or more in polyphenols, flavonoids, anthocyanins and antioxidant activity (DPPH and FRAP) and indicate that practice common at home of beans cooking produce denaturation of bioactive compounds and their antioxidant activity, but the final fraction available is relevant for the health.

Keywords: Bioactive compounds, micro and macronutrients minerals, thermic treatment of grains.

Introducción

El grano de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es un alimento básico transcendental en la dieta de las poblaciones de México y Latinoamérica (Broughton *et al.*, 2003). En el Centro-Sur de México, existe una amplia diversidad de frijoles nativos pigmentados con diferentes características morfológicas y colores de grano, desde blanco, amarillos, rojos, negros, grisáceos y combinaciones de dos, tres y hasta cuatro colores de testa (Espinosa-Pérez *et al.*, 2015). Los granos se caracterizan por poseer un alto contenido de proteínas, minerales, carbohidratos, ácidos grasos insaturados y vitaminas (Celmeli *et al.*, 2018; Baptista *et al.*, 2017) y son fuentes de compuestos fenólicos como ácidos fenólicos, flavonoides y antocianinas (Capistrán-Carabarin *et al.*, 2019; Aquino-Bolaños *et al.*, 2016), con actividad antioxidante y efecto preventivo contra enfermedades del síndrome metabólico, cáncer y neurodegenerativas, y otras asociadas con la alimentación (Ganesan y Xu, 2017).

El grano de frijol en México se consume mediante múltiples formas de preparación desde una cocción simple hasta un platillo más elaborado. Usualmente se emplea una cocción del grano en agua o bien tostado con diferentes temperaturas y tiempos dependiendo de la dureza del grano para integrar harinas (Barros-Valeros, 2015; Martínez-López *et al.*, 2018). El procesamiento de grano a harinas mediante tecnologías tradicionales y/o avanzadas ayudan a promover e incrementar el consumo de frijol y permiten aprovechar al máximo sus propiedades nutricional-nutraceuticas; algunos ejemplos de procesamiento son las harinas a partir de granos secos, granos pre-cocidos y secados, granos de frijol nixtamalizados y secados, entre otros (Téllez-Téllez *et al.*, 2009; Audu y Aremu, 2011; Santiago-Ramos *et al.*, 2018), o para el desarrollo de alimentos procesados tipo botanas o frituras (snack), mediante un proceso de extrusión que consiste, en general, en cocción por calentamiento a temperaturas altas (100 a 150 °C) en tiempos cortos (Kamau *et al.*, 2020). Esto es, en función del tipo y condiciones de procesamiento, se deduce que genera cambios en la composición química de los granos y su posterior disponibilidad de nutrimentos o compuestos bioactivos (Augustin *et al.*, 1981; Corzo-Ríos *et al.*, 2020; Teixeira-Guedes *et al.*, 2019).

Entre los cambios fisicoquímicos del grano de frijol común (*P. vulgaris*) y ayocote (*P. coccineus*) son incrementos en fibra dietética y proteínas, disminuyen los compuestos no nutricionales, lípidos, cenizas, ácido fítico, polifenoles totales y taninos, y se destruyen o desnaturalizan los inhibidores de tripsina (Corzo-Ríos *et al.*, 2020). La cocción del grano induce un decrecimiento del 25 al 30% de vitaminas solubles (tiamina, riboflavina, niacina, vitamina B₆ y ácido fólico) y

también decrece la concentración de minerales; por ejemplo, 61.5 % en sodio, del 10 al 20% en K, P, Mg, Zn, Mn, Cu y Fe, y no se altera el contenido de Ca (Augustin *et al.*, 1981). Estas alteraciones en composición también son influenciadas por la especie, variedad, tamaño y dureza de grano y tiempo de almacenamiento (Corzo-Ríos *et al.*, 2020; Espinoza-García *et al.*, 2016; Teixeira-Guedes *et al.*, 2019; Rousseau *et al.*, 2020). En este contexto, se evaluó el efecto de cocción de granos de frijol común en su contenido de macro y microelementos minerales, polifenoles totales, flavonoides y antocianinas entre poblaciones nativas de Oaxaca.

Materiales y métodos

Germoplasma y cocción de grano

Las muestras poblacionales (lote de semillas) de *P. vulgaris* L. (frijol común) fueron colectadas entre agricultores de Villa de Zaachila, Oaxaca donde la testa pigmentada de grano correspondió visualmente a amarillo (P-65), rojo (P-58), atigrado (gris-negro, P-68) y negro (P-61 y P-63). Cada muestra de grano fue fraccionada para integrar una submuestra sin cocción y otra hervida o cocida. Esta última consistió en hervir agua a ebullición y se incorporó la muestra a cocción (1:4, grano:agua, v/v) durante 120 min, se retiró del fuego, filtró y se dejó secar a temperatura ambiente. Las fracciones de grano con y sin cocción fueron molidas en un molino tipo ciclónico, se pasaron por una malla de 500 micras y la harina se envasó en un recipiente de plástico ámbar y almacenada a 8 °C hasta su análisis.

Evaluación del contenido de macro y microelementos

Una muestra de 1.5 g de harina en cada población, se llevó a peso constante en estufa (Barnstead/Thermolyne Oven series 9000, USA) a 105 °C (AACC 44-15), después se incineró a 570 °C en mufla (Barnstead/Thermolyne 1400, USA). Posteriormente, el residuo de ceniza se hidrolizó con 3 mL de ácido clorhídrico concentrado (J.T. Baker®) y se aforó a 50 mL con agua desionizada. La determinación de micro y macronutrientes (Cu, Fe, Zn, Mn, P, Ca, Mg, K, Na y S), se hizo por espectrometría de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES Thermo Scientific iCAP 6500 DUO, England) y la cuantificación, se hizo con base en estándares multielementos de referencia (High Purity Standards®, USA); P, Mg, K, Ca, Fe y Na en un intervalo de 1 a 100 mg/L y para Cu, S, Mn y Zn de 0.2 a 5 µg/mL. El análisis de cada muestra se hizo por triplicado y los resultados se expresaron en mg/100 g en base seca.

Evaluación del contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante

Antocianinas. La extracción de antocianinas monoméricas se realizó a partir de 3 g de harina con etanol al 85% acidificado. La determinación se hizo de acuerdo con el método de pH diferencial descrito por Wrolstad (1976). En esencia se midió la absorbancia de la reacción con KCl pH 1 y CH₃COONa pH 4.5 en un espectrofotómetro (Shimadzu UV-1800, Kyoto, Japan), dentro de un intervalo de longitud de onda de 470 a 720 nm y se realizó por triplicado. La concentración de antocianinas monoméricas (AM) se calculó mediante la ecuación de Wrolstad (1976). $AM = (A \cdot PM \cdot FD \cdot 1000) / (\epsilon \cdot l)$. Donde; A = (A₅₁₀ - A₇₀₀) pH 1.0 - (A₅₁₀ - A₇₀₀) pH 4.5; PM = 449.2 g/mol peso molecular de cianidina-3-glucósido (C3G); ϵ = 26900 L/mol.cm coeficiente de extinción molar de cianidina-3-glucósido; FD = factor de dilución; y l = longitud de la celda (1 cm). Los resultados se expresaron como mg equivalentes de cianidina-3-glucósido por 100 g de muestra en base seca (mg C3G/100 g bs).

Polifenoles totales (PT). Se evaluaron de acuerdo con el método de Folin-Ciocalteu descrito por Singleton y Rossi (1965), a partir de un extracto de 3 g de harina y metanol al 80%, mediante lecturas de absorbancias en un espectrofotómetro UV-vis (Shimadzu UV-1800, Kyoto, Japan) y por triplicado. El contenido de polifenoles totales se calculó con referencia a una curva de calibración de ácido gálico 0.02 a 0.125 mg/mL ($r^2 = 0.99$) y se reportó en mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de muestra en base seca (mg EAG 100/g bs).

Flavonoides. La determinación de flavonoides (F) se realizó por el método reportado por Zhishen *et al.* (1999). La absorbancia se registró a 510 nm en tres extractos o por triplicado mediante un espectrofotómetro UV-vis. El contenido de flavonoides fue calculado con base en una curva de calibración de (+)-catequina de 0.012 a 0.122 µg/mL ($r^2 = 0.99$) y se reportó como mg equivalentes de catequina por gramo de muestra en base seca (mg EC/g bs).

Actividad antioxidante por el método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo). La actividad antioxidante de las muestras se condujo mediante el método DPPH, descrito por Brand-Williams *et al.* (1995) a través de lecturas por triplicado a 517 nm en un espectrofotómetro UV-vis. La actividad antioxidante se registró con base en la curva de calibración de Trolox (ácido 6 hidroxio-2, 5, 7, 8-tetrametilcroman-2-carboxílico) en un rango de 0.13 a 0.79 µmol/mL ($r^2 = 0.99$) y se expresó en µmol equivalentes de Trolox por gramo de muestra en base seca (µmol ET/g bs).

Actividad antioxidante por el método FRAP (capacidad de reducción férrica). En este caso, se determinó por el método de FRAP descrito por Benzie y Strain (1999). La cuantificación de actividad antioxidante se realizó con base en la curva de calibración de Trolox de 100 a 1000 µmol/L ($r^2 = 0.99$) y los resultados se expresaron como µmol ETrolox/g bs.

Análisis estadísticos

Con base en los análisis de muestras por triplicado, se integró una base de datos y posteriores análisis de varianza mediante un modelo lineal completamente aleatorio con el propósito de evaluar las diferencias entre muestras poblacionales o colectas, entre procesamientos (con y sin cocción) e interacción colectas-procesamiento o cocción. Complementariamente, se hicieron comparaciones múltiples de medias por el método de Tukey ($P \leq 0.05$). Todos los análisis estadísticos se realizaron mediante el paquete estadístico SAS (SAS Inc., 2000).

Resultados y discusión

Variación en contenido de minerales

En el análisis de varianza se determinaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) en contenido de micro y macroelementos entre procesos de cocción, entre poblaciones colectadas o colectas e interacción cocción-colecta, excepto para la interacción proceso de cocción-colecta en contenido de Mn y Zn, y por repetición. En general, de acuerdo con la magnitud de la varianza total explicada, el efecto de muestras o colectas analizadas tuvo un mayor efecto en contenido de micro y macroelementos minerales (Cuadro 1).

Cuadro 1. Significancia de cuadrados medios del análisis de varianza del contenido de micro y macroelementos en frijol común (*P. vulgaris*), nativo de Oaxaca.

Micro y macroelementos minerales	Fuentes de variación				CV (%)	
	Repetición	Cocción (Co)	Colecta (A)	Co x A	Error	
Micronutrientes						
Cu	0.01 ^{ns}	0.2**	0.1**	0.07**	0.004	6.4
Fe	0.6 ^{ns}	271.3**	281.1**	211.4**	0.4	6.0
Mn	<0.001 ^{ns}	0.1**	0.4**	0.01 ^{ns}	0.002	3.1
Zn	0.1 ^{ns}	1.9**	2.5**	0.2 ^{ns}	0.06	6.9
Macronutrientes						
Ca	49.8 ^{ns}	7625.7**	4461.7**	696.8*	187.2	5.7
P	30.7 ^{ns}	37467.5**	3952.6**	1580.6**	40.0	1.3
Mg	4.0 ^{ns}	15490.5**	1048.3**	28.4**	5.6	1.4
K	156.9 ^{ns}	3881235**	36098**	17049**	148.7	1.0
Na	12.5 ^{ns}	1410.5**	12.4**	70.3**	23.2	14.5
S	10.1 ^{ns}	2726.5**	60.8**	265.1**	8.1	5.3

^{ns} = no significativo ($p > 0.05$); *significativo a $p \leq 0.05$; **significativo a $p \leq 0.01$; C.V. = coeficiente de variación.

Los resultados del proceso de cocción muestran que el calor del agua en ebullición o el proceso térmico modificó positiva y negativamente el contenido de micro y macroelementos. Por ejemplo, el contenido de Cu, Fe, P, Mg, K y S disminuyeron (13.2 a 46.2%), en cambio la concentración de Mn, Zn, Ca y Na incrementó (13.3 a 53.8%) significativamente (Cuadro 2).

En este caso, el Fe y Zn relacionados con la desnutrición de mujeres embarazadas y niños en edad escolar, aunque se encuentran en el grano de frijol se modifican por el efecto de la cocción, disminuyendo cerca del 50% la disponibilidad de Fe. En este sentido De Oliveira *et al.* (2018) señalan que la cocción del grano de frijol altera significativamente la biodisponibilidad de micro y macronutrientes en el producto procesado. No obstante, tiene un efecto diferencial de acuerdo con la variedad o genotipo y la forma de cocción, p. ej. extracción o vapor (De Oliveira *et al.*, 2018; Faria *et al.*, 2018). En otros casos reportados, la concentración de Ca, Zn y Mn no se altera (Carvalho *et al.*, 2012; Wang *et al.*, 2010) y también se menciona que el agua de cocción o 'caldo' concentra una gran cantidad de minerales del grano (Carvalho *et al.*, 2012).

Entre colectas o poblaciones nativas de frijol se determinaron diferencias significativas en contenido de micro y macroelementos en grano. En este caso, la población Pob-63 sobresalió en contenido de Cu, Fe, Mn, Zn, Ca, P y Na pero bajo en K, en contraposición la población Pob-58 presentó valores significativamente bajos en Fe, Mn, Ca y P, también fue el caso de Pob-61 en Zn y Mg, y Pob-68 en Mn y Cu (Cuadro 2). Estos resultados indican que, entre poblaciones o variedades locales existe alta variabilidad en composición como parte de sus rangos genéticos e interacciones con el ambiente local donde fueron cultivadas. No obstante, no se descartan otros factores de influencia como la forma de almacenamiento del grano por los agricultores que donaron el material o bien la condición intrínseca de dureza a la cocción, entre otros elementos (Gouveia *et al.*, 2014; Chávez-Servia *et al.*, 2016; Espinoza-García *et al.*, 2016).

Cuadro 2. Comportamiento promedio del contenido de micro y macroelementos en función del efecto de cocción y variación entre poblaciones nativas de frijol común de Oaxaca.

Proceso de cocción/colecta	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca	P	Mg	K	Na	S
mg/100 g de muestra en base seca										
Efecto del proceso de cocción:										
Sin cocción	1.1 a ¹	13.2 a	1.5 b	3.4 b	223 b	539 a	187 a	1560 a	26 b	63 a
Con cocción	0.9 b	7.1 b	1.7 a	3.9 a	255 a	468 b	141 b	841 b	40 a	44 b
Colectas o poblaciones evaluadas:										
Pob-58	1.0 bc	6.4 c	1.4 c	3.4 bc	196 c	475 d	154 c	1143 c	32 ab	52 b
Pob-61	1.1 b	7.0 bc	1.6 b	3.2 c	231 b	501 bc	149 d	1227 b	31 b	59 a
Pob-63	1.2 a	22.4 a	1.9 a	4.8 a	267 a	544 a	166 b	1107 d	34 a	54 b
Pob-65	0.9 bc	7.1 bc	1.8 a	3.3 c	252 ab	490 c	168 b	1305 a	35 a	52 b
Pob-68	0.8 c	7.9 b	1.4 c	3.7 b	248 ab	507 b	183 a	1222 b	34 a	53 b

¹ Entre proceso de cocción o entre colectas, medias con la misma no difieren significativamente (prueba de Tukey, $P \leq 0.05$).

La interacción por efecto del proceso de cocción en el contenido de minerales en las colectas indicó un cambio por efecto del proceso térmico; Cu, Fe, Mg, K y S disminuyeron, caso contrario de Ca, P y Na que presentaron mayor contenido y disponibilidad, y Mn y Zn no sufrieron cambio significativo por efecto del proceso de cocción en los granos de frijol (Cuadro 3).

Los resultados de los granos de las poblaciones de frijol muestran un decrecimiento del contenido de Cu, Fe, Mg, K y S

por efecto del tratamiento térmico o cocción, pero el Ca, P y Na tiende a incrementar su concentración. Tradicionalmente para consumo humano, los granos de frijol son cocidos hasta un completo reblandecimiento y usualmente con sal, entre otros ingredientes para hacerlo palatable; en consecuencia, parece natural que cada población de frijol reaccione diferencialmente al proceso de cocción. Sin embargo, las variedades locales más sobresalientes en concentración de microelementos después de la cocción fueron Pob-63 en Fe, Ca y Na, Pob-68 en Ca, P y Na, y en contraposición las poblaciones Pob-58 y Pob-61 presentaron un mayor grado de decrecimiento en la mayoría de micro y macroelementos (Cuadro 3). En todos los casos se afectó sustancialmente el contenido de Fe, Mg y K, y la bioaccesibilidad porque están enlazados a otros compuestos nutricionales o bioactivos (Naozuka y Oliveira, 2012; De Oliveira *et al.*, 2018; Faria *et al.*, 2018). Por ejemplo, el proceso térmico favorece la desnaturalización e hidrólisis de proteínas e influye en la capacidad de quelación de iones de metales y consecuentemente en la disponibilidad de minerales esenciales (De Oliveira *et al.*, 2018).

Cuadro 3. Valores medios del efecto de la interacción proceso de cocción y poblaciones de frijol común, en relación el contenido de micro y macroelementos.

Cocción-poblaciones	Cu	Fe	Mn	Zn	Ca	P	Mg	K	Na	S
mg/100 g de muestra en base seca										
Sin cocción										
Pob-58	1.1 b ¹	6.9 cd	1.3 a	3.3 a	175 e	423 g	180 c	1551 bc	26.8 bc	66.8 a
Pob-61	1.1 bc	8.0 bc	1.5 a	3.1 a	211 de	451 f	171 d	1584 b	24.0 c	70.3 a
Pob-63	1.5 a	35.9 a	1.9 a	4.5 a	239 b-d	465 f	189 b	1524 cd	31.9 a-c	64.3 a
Pob-65	0.90 d	6.7 cd	1.8 a	2.9 a	252 bc	493 e	188 b	1629 a	23.6 c	49.7 bc
Pob-68	0.93 cd	8.2 bc	1.3 a	3.2 a	238 b-d	508 de	206 a	1515 d	25.1 bc	66.1 a
Con cocción										
Pob-58	0.88 d	5.8 d	1.5 a	3.5 a	217 cd	514 cd	128 g	734 h	37.5 a-c	37.3 d
Pob-61	0.97 b-d	6.1 d	1.7 a	3.3 a	251 bc	521 cd	128 g	871 g	38.3 ab	48.6 bc
Pob-63	0.99 b-d	8.8 b	1.9 a	5.1 a	296 a	527 c	143 f	691 i	36.0 a-c	42.9 cd
Pob-65	0.98 b-d	7.6 b-d	1.8 a	3.6 a	252 bc	551 b	148 f	980 e	45.7 a	53.6 b
Pob-68	0.93 d	7.5 b-d	1.5 a	4.2 a	258 ab	580 a	160 e	930 f	42.6 a	39.4 d

¹ En columna, medias con la misma letra no difieren significativamente (prueba de Tukey, $P \leq 0.05$).

En términos nutricionales potenciales, el consumo de 100 g de harina de granos cocidos podría cubrir el requerimiento diario de Fe y Zn en aproximadamente 71 a 89% en la dieta de niños y de 36 a 78% en adultos, respectivamente, pero cubriría totalmente las necesidades diarias de Cu y Mn, en ambos grupos de edad (Trumbo *et al.*, 2001).

Compuestos fenólicos y actividad antioxidante

En el análisis de varianza se determinaron diferencias significativas ($P \leq 0.05$, 0.01) entre proceso de cocción, entre colectas o poblaciones evaluadas e interacción cocción-poblaciones en contenido de polifenoles, flavonoides, antocianinas y actividad antioxidante (DPPH y FRAP). Entre fuentes de variación el cuadrado medio o magnitud de varianza se observó que, el efecto debido al proceso de cocción presentó la mayor magnitud de varianza que la variación por las poblaciones evaluadas e

interacción proceso de cocción-poblaciones y también indica que el proceso térmico modifica sustancialmente la concentración de compuestos fenólicos y actividad antioxidante (Cuadro 4).

Cuadro 4. Significancia de cuadrados medios del análisis de varianza del contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante en frijol común, nativo de Oaxaca.

Fuentes de variación	Polifenoles totales	Flavonoides	Antocianinas	Actividad antioxidante	
				DPPH	FRAP
Proceso de cocción (Co)	91.6**	2.94**	26.19**	401.84**	15255.1**
Colectas o poblaciones (A)	7.6**	0.34**	17.95**	39.62**	4102.8**
Co x A	0.9**	0.09**	1.36*	3.93*	615.4**
Error	0.18	0.013	0.39	0.99	40.42
C.V. (%)	16.5	26.0	28.9	16.8	12.5

*Significativo a $p \leq 0.05$; **significativo a $p \leq 0.01$; C.V. = coeficiente de variación.

El proceso térmico de cocción induce una desnaturalización y/o decremento del contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante, desde 78.4, 79.5 a 80.6% para el contenido de antocianinas, polifenoles totales y flavonoides respectivamente, y en actividad antioxidante del 35.6 al 76.4% (Cuadro 5). No obstante que, en un proceso de cocción domestico no se descarte que parte de esos compuestos se concentre en el agua de cocción o caldo (Xu y Chang 2011; Teixeira-Guede *et al.*, 2019), pero es oportuno señalar que la cocción y tiempo de exposición al calor induce una degradación de la estructura aromática de los compuestos fenólicos (Granito 2005). Korus *et al.* (2007) mencionan que el calor o cocimiento por extrusión genera degradación del 9 al 33% de ácidos fenólicos como ácido cafeico y ácido clorogénico e incluso la quercetina disminuye hasta un 84%. La disminución de la capacidad antioxidante se puede atribuir a la pérdida de compuestos antioxidantes solubles en el agua durante la cocción del grano y a la formación de complejos de fenoles-proteínas sin actividad antioxidante (Korus *et al.*, 2007; Rocha-Guzmán *et al.*, 2007; Xu y Chang, 2008).

Cuadro 5. Comparaciones de los valores medios de compuestos fenólicos y actividad antioxidante por efecto del proceso de cocción y entre colectas de frijol común, nativos de Oaxaca, México.

Proceso de cocción/ población	Polifenoles totales (mg AG/g bs)	Flavonoides (mg EC/g bs)	Antocianinas (mg EC3G/g bs)	Actividad antioxidante (μ mol ET/g bs)	
				DPPH	FRAP
Proceso de cocción					
Sin cocción	11.7 a ¹	0.36 a	7.4 a	58.8 a	59.5 a
Con cocción	2.4 b	0.07 b	1.6 b	13.9 b	38.3 b
Colectas o poblaciones (color de testa)					
P-58 (rojo)	7.7 b	0.32 a	2.7 bc	33.5 b	44.5 b
P-61 (negro)	6.0 b	0.19 bc	9.3 a	31.8 b	43.6 bc
P-63 (negro)	11.3 a	0.16 c	9.2 a	61.9 a	66.4 a
P-65 (amarillo)	7.2 b	0.29 a	0.04 c	36.1 b	38.6 c
P-68 (atigrado)	7.8 b	0.26 ab	5.9 ab	40.9 b	61.7 a

¹En columna, entre procesos o entre poblaciones, medias con la misma letra no difieren significativamente (prueba de Tukey, $p < 0.05$)

Entre colectas o poblaciones evaluadas se registraron diferencias significativas en compuestos fenólicos y actividad antioxidante, así como una alta variabilidad. Por ejemplo, en polifenoles la variación fue de 6 a 11.3 mg EAG/g bs, en flavonoides de 0.16 a 0.32 mg EC/g bs, en antocianinas de 0.04 a 9.3 mg C3G/g bs, en actividad antioxidante evaluada por el método de DPPH de 31.8 a 61.9 μ mol ET/ g y por FRAP de 38.6 a 66.4 μ mol ET/g bs.

En esta diferenciación interpoblacional o intercolecta, la población P-63 de testa negra sobresalió en contenido de polifenoles, antocianinas y actividad antioxidante evaluada por los métodos de DPPH y FRAP, y le sigue P-68 de testa con diferentes manchas de colores (atigrada) que destacó en flavonoides, antocianinas y actividad antioxidante evaluada por FRAP. Las colectas de testa negra (P-61 y P-63) sobresalieron en contenido de antocianinas, pigmento que se asocia con el color negro, con diferencias significativas respecto a P-58 de testa roja y P-65 de testa amarilla, donde P-68 se mostró intermedia en ambos patrones (Cuadro 5). Estos patrones de contenido de antocianinas en testa coinciden con los reportado por Aquino-Bolaños *et al.* (2016).

En compuesto fenólicos y actividad antioxidante las poblaciones o colectas interactuaron significativamente con el proceso de cocción. Esto es, todas las poblaciones redujeron drásticamente el contenido de polifenoles, flavonoides antocianinas y actividad antioxidante por efecto del proceso térmico. Por ejemplo, todas las poblaciones presentaron bajo contenido de polifenoles totales después de la cocción en un rango de 1.8 a 2.8 mg AG/g bs comparado con la evaluación sin cocción (9.9 a 20.1 mg AG/g bs). En flavonoides la población P-58 de testa roja presentó una reducción cercana al 50% del valor registrado con grano sin cocción (0.58 mg EC/g bs) y en las otras poblaciones la reducción fue mayor. En concentración de antocianinas P-61 y P-63 de testa negra redujeron su contenido, pero P-65 (amarilla) y P-68 (atigrado) la reducción fue de alta magnitud que no se detectaron o bien una degradación total después de su cocción. Todos estos efectos de la cocción en composición se relacionaron con bajas significativas en actividad antioxidante, del 70 a 80% en el método de DPPH y alrededor del 50% en FRAP (Cuadro 6). Xu y Chang (2011), separaron la testa y cotiledones del frijol y lo sometieron a un proceso térmico y concluyeron que la fracción de testa es más afectada que los cotiledones, y se conservan, aunque en baja proporción, diferentes compuestos fenólicos asociados con alta actividad antioxidante.

Cuadro 6. Respuesta promedio en compuesto fenólicos y actividad antioxidante en la interacción de cocción-colectas o poblaciones de frijol común, nativo de Oaxaca.

Proceso de cocción/colectas o poblaciones	Polifenoles totales (mg AG/g bs)	Flavonoides (mg EC/g bs)	Antocianinas (mg EC3G/g bs)	Actividad antioxidante (μ mol ET/g bs)	
				DPPH	FRAP
Sin cocción					
P-58 (rojo)	12.6 b ¹	0.48 a	3.5 c	53.9 c	52.2 cd
P-61 (negro)	9.9 c	0.35 b	15.4 a	52.8 c	55.9 c
P-63 (negro)	20.1 a	0.29 c	16.4 a	105.0 a	88.2 a
P-65 (amarillo)	12.7 b	0.50 a	0.04 d	63.4 b	54.3 c
P-68 (atigrado)	13.1 b	0.51 a	5.9 b	66.8 b	74.8 b
Con cocción					
P-58 (rojo)	2.8 d	0.16 d	0.07 d	13.1 de	36.8 f
P-61 (negro)	2.1 d	0.02 f	3.3 c	10.8 e	31.3 g
P-63 (negro)	2.4 d	0.04 ef	2.1 c	18.9 d	44.7 e
P-65 (amarillo)	1.8 d	0.09 e	ND	8.8 e	22.9 h
P-68 (atigrado)	2.5 d	0.01 f	ND	15.0 de	48.6 d

¹En columna, medias con la misma letra no difieren significativamente (prueba de Tukey, $p < 0.05$); ND= No determinado

Conclusiones

Los resultados de evaluación del efecto de cocción del grano de cinco poblaciones o colectas de frijol común mostraron que, el proceso térmico de agua en ebullición o cocción generó un decremento de macro y microelementos, compuestos fenólicos y actividad antioxidante en comparación con los granos sin cocción. En Cu, Fe, Mg, K y S disminuyeron sus concentraciones, pero en Ca, P y Na favoreció un ligero incremento y estos patrones de respuestas presentaron alta variabilidad entre colectas evaluadas. El proceso térmico causó cambios o reducciones drástica en polifenoles, flavonoides, antocianinas y actividad antioxidante del 50% o más e indica que la cocción que se hace comúnmente en los hogares genera desnaturalización de los compuestos bioactivos y su actividad antioxidante. Sin embargo, el efecto es variable de colecta a colecta o entre lotes de muestra y persisten ciertas fracciones de compuestos funcionales asociados con efectos benéficos para la salud.

Agradecimientos

Al instituto Politécnico Nacional, por el financiamiento de los proyectos SIP-20250559 y SIP-20252367.

Literatura citada

- Aquino-Bolaños, E. N., García-Díaz, Y. D., Chávez-Servia, J. L., Carrillo-Rodríguez, J. C., Vera-Guzmán, A. M., y Heredia-García, E. (2016). Anthocyanins, polyphenols, flavonoids and antioxidant activity in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(8), 581–588. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-02-147>
- Audu, S. S., y Aremu, M. O. (2011). Effect of processing on chemical composition of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour. *Pakistan Journal of Nutrition*, 10(11), 1069–1075.
- Augustin, J., Beck, C. B., Kalbfleish, G., Kagel, L. C., y Matthews, R. H. (1981). Variation in the vitamin and mineral content of raw and cooked commercial *Phaseolus vulgaris* classes. *Journal of Food Science*, 46(6), 1701–1706. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1981.tb04467.x>
- Baptista, A., Pinho, O., Pinto, E., Casal, S., Mota, C., y Ferreira, I. M. (2017). Characterization of protein and fat composition of seeds from common beans (*Phaseolus vulgaris* L.), cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and bambara groundnuts (*Vigna subterranea* L. Verdc) from Mozambique. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(2), 442–450. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9412-2>
- Barros-Valeros, M. C. (2015). Frijolitos de la olla. *Revista UNAM*, 16(2), 1607–6079.
- Benzie, F. F., y Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., y Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, 28(1), 25–30.
- Broughton, W. J., Hernández, G., Blair, M., Beebe, S., Gepts, P., y Vanderleyden, J. (2003). Beans (*Phaseolus* spp.) – model food legumes. *Plant and Soil*, 252(1), 55–128.
- Capistrán-Carabarin, A., Aquino-Bolaños, E. N., García-Díaz, Y. D., Chávez-Servia, J. L., Vera-Guzmán, A. M., y Carrillo-Rodríguez, J. C. (2019). Complementarity in phenolic compounds and the antioxidant activities of *Phaseolus coccineus* L. and *P. vulgaris* L. landraces. *Foods*, 8(8), Artículo 295. <https://doi.org/10.3390/foods8080295>
- Carvalho, L. J., Corrêa, M., Pereira, E., Nutti, M., Carvalho-Ribeiro, J. V. E. G., y Freitas, S. (2012). Iron and zinc retention in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) after home cooking. *Food & Nutrition Research*, 56(1), Artículo 15618. <https://doi.org/10.3402/fnr.v56i0.15618>
- Celmeli, T., Sari, H., Canci, H., Sari, D., Adak, A., Eker, T., y Toker, C. (2018). The nutritional content of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces in comparison to modern varieties. *Agronomy*, 8(9), Artículo 166. <https://doi.org/10.3390/agronomy8090166>
- Chávez-Servia, J. L., Heredia-García, E., Mayek-Pérez, N., Aquino-Bolaños, E. N., Hernández-Delgado, S., Carrillo-Rodríguez, J. C., Gill-Langarica, H. R., y Vera-Guzmán, A. M. (2016). Diversity of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) landraces and the nutritional value of their grains. En A. K. Goyal (Ed.), *Grain legumes* (pp. 1–33). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/63439>
- Corzo-Ríos, L. J., Sánchez-Chino, X. M., Cardador-Martínez, A., Martínez-Herrera, J., y Jiménez-Martínez, C. (2020). Effect of cooking on nutritional and non-nutritional compounds in two species of *Phaseolus* (*P. vulgaris* and *P. coccineus*) cultivated in Mexico. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 20, 100206. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100206>
- De Oliveira, A. P., Oliveira, M. B. S., Fioroto, A. M., Oliveira, P. V., y Naozuka, J. (2018). Effect of cooking on the bioaccessibility of essential elements in different varieties of beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Composition and Analysis*, 67, 135–140. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2018.01.012>
- Espinosa-Pérez, E. N., Ramírez-Vallejo, P., Crosby-Galván, M. M., Estrada-Gómez, J. A., Lucas-Florentino, B., y Chávez-Servia, J. L. (2015). Clasificación de poblaciones nativas de frijol común del centro-sur de México por morfología de semilla. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(1), 29–38.
- Espinoza-García, N., Martínez-Martínez, R., Chávez-Servia, J. L., Vera-Guzmán, A. M., Carrillo-Rodríguez, J. C., Heredia-García, E., y Velasco-Velasco, V. A. (2016). Contenido de minerales en semilla de poblaciones nativas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39(3), 215–223.
- Faria, M. A., Araújo, A., Pinto, E., Oliveira, C., Oliva-Teles, M. T., Almeida, A., y Ferreira, I. M. (2018). Bioaccessibility and intestinal uptake of minerals from different types of home-cooked and ready-to-eat beans. *Journal of Functional Foods*, 50, 201–209. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2018.10.001>
- Ganesan, K., y Xu, B. (2017). Polyphenol-rich dry common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and their health benefits. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(11), Artículo 2331. <https://doi.org/10.3390/ijms18112331>

- Gouveia, C. S., Freitas, G., de Brito, J. H., Slaski, J. J., y de Carvalho, M. Â. P. (2014). Nutritional and mineral variability in 52 accessions of common bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.) from Madeira Island. *Agricultural Sciences*, 5(4), 317–329. <https://doi.org/10.4236/as.2014.54034>
- Granito, M., Torres, A., Frías, J., Guerra, M., y Vidal-Valverde, C. (2005). Influence of fermentation on the nutritional value of two varieties of *Vigna sinensis*. *European Food Research and Technology*, 220(2), 176–181.
- Kamau, E. H., Nkhata, S. G., y Ayua, E. O. (2020). Extrusion and nixtamalization conditions influence the magnitude of change in the nutrients and bioactive components of cereals and legumes. *Food Science and Nutrition*, 8(4), 1753–1765.
- Korus, J., Gumul, D., y Czechowska, K. (2007). Effect of extrusion on the phenolic composition and antioxidant activity of dry beans of *Phaseolus vulgaris* L. *Food Technology and Biotechnology*, 45(2), 139–146.
- Martínez-López, L., Zapata-Martelo, E., Ayala-Carrillo, M. D. R., Martínez-Corona, B., Vázquez-Carrillo, G., Jacinto-Hernández, C., y Espinosa-Calderón, A. (2018). Conocimiento práctico y teórico de maíz y frijol en la región triqui Alta, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(1), 111–121. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.852>
- Naozuka, J., y Oliveira, P. V. (2012). Cooking effects on iron and proteins content of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) by GF AAS and MALDI-TOF MS. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 23(1), 156–162.
- Rocha-Guzmán, N. E., González-Laredo, R. F., Ibarra-Pérez, F. J., Nava-Berumen, C. A., y Gallegos-Infante, J. A. (2007). Effect of pressure cooking on the antioxidant activity of extracts from three common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Food Chemistry*, 100(1), 31–35. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.005>
- Rousseau, S., Celus, M., Duijsens, D., Gwala, S., Hendrickx, M., y Grauwet, T. (2020). The impact of postharvest storage and cooking time on mineral bioaccessibility in common beans. *Food and Function*, 11(9), 7584–7595. <https://doi.org/10.1039/D0FO01302A>
- Santiago-Ramos, D., Figueroa-Cárdenas, J. D., Vélez-Medina, J. J., y Salazar, R. (2018). Physicochemical properties of nixtamalized black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours. *Food Chemistry*, 240, 456–462. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.156>
- SAS Institute Inc. (2000). *SAS® Procedures Guide* (Versión 8).
- Singleton, V. L., y Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144–158.
- Teixeira-Guedes, C. I., Oppolzer, D., Barros, A. I., y Pereira-Wilson, C. (2019). Impact of cooking method on phenolic composition and antioxidant potential of four varieties of *Phaseolus vulgaris* L. and *Glycine max* L. *LWT - Food Science and Technology*, 103, 238–246. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.010>
- Téllez-Téllez, P., San Vicente, A. A., Buendía-González, M. O., Mendoza, J. V., y Carrillo, G. V. (2009). Optimización de nixtamalización de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y desarrollo de un nuevo producto alimenticio. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 1(1), 25–31.
- Trumbo, P., Yates, A. A., Schlicker, S., y Poos, M. (2001). Dietary reference intakes: Vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc. *Journal of the American Dietetic Association*, 101(3), 294–301.
- Wang, N., Hatcher, D. W., Tyler, R. T., Toews, R., y Gawalko, E. J. (2010). Effect of cooking on the composition of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *Food Research International*, 43(2), 589–594. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.012>
- Wrolstad, R. E. (1976). *Color and pigment analyses in fruit products* (Station Bulletin 624). Agricultural Experimental Station of Oregon State University.
- Xu, B. J., y Chang, S. K. C. (2008). Total phenolic content and antioxidant properties of eclipse black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by processing methods. *Journal of Food Science*, 73(2), H19–H27.
- Xu, B. J., y Chang, S. K. C. (2011). Reduction of antiproliferative capacities, cell-based antioxidant capacities and phytochemical contents of common beans and soybeans upon thermal processing. *Food Chemistry*, 129(3), 974–981. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.05.057>
- Zhishen, J., Mengcheng, T., y Jianming, W. (1999). The determination of flavonoids contents in mulberry and their scavenging effects in superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64(4), 555–559. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(98\)00102-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(98)00102-2)