



IV CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS

PROCESAMIENTO Y UTILIZACIÓN DE HARINAS NO CONVENCIONALES

Pablo Daniel Ribotta pdribotta@unc.edu.ar

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA (UNC) - Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales
CONICET - Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos Córdoba (CONICET-UNC)

Organiza:



FCEyN



UNC

I C Y T A C

**Trigo uso predominantemente en panificados y pastas
(propiedades tecnológicas: gluten)**



Otros cultivos:

Arroz en el sur y el este de Asia,

Mijo y sorgo en África,

Maíz en América central / sur

Centeno y avena en norte de Europa



Factores: tradición cultural y disponibilidad
(geográficos, económicos y climáticos)

Cambio climático (aumento temperatura y
disponibilidad de agua) afecta a los
rendimientos y la calidad tecnológica del trigo



Uso más generalizado de otros cultivos: mijo,
sorgo, triticale, legumbres, sarraceno, amaranto,
etc.

FUTURE-PROOFING SUPPLY CHAINS AGAINST CLIMATE CHANGE



Ingredient suppliers and food manufacturers are adopting a **variety of strategies to mitigate the risks of weather-related events**—and an increasingly unstable supply chain.

By Kayt Sukel, August 27, 2024

....While communities and industries all over the globe have been affected by the threat of climate change, the food and beverage **industry must find a way to mitigate the changes that are affecting the quality, availability, amount, and price of raw ingredients**....

....And with the United Nations sounding the alarm that, with continued rising temperatures, we should expect to see a **significant decline in staple crops like maize and wheat**, as well as widespread disruptions to global fishing and livestock industries, **it is clear that there's no time to waste**.....

Ciertos cultivos se han popularizado debido a sus propiedades nutricionales

Algunas harinas no convencionales con buenos volúmenes de producción

Cultivo	Carbohidratos (%)	Proteínas (%)	Fibra (%)	Grasas (%)	Vitaminas y Minerales
	70-75	10-15	8-10	1-3	Fe, P, vitaminas B (B1, B2, B3)
	70-80	7-8	2-4	1-3	Tiamina, P, manganeso
	72-80	9-10	2-6	4-5	Vitamina A (en maíz amarillo), Mg, P
	70-75	8-13	8-9	4-5	Mg, P, vitamina B6
	70-75	10-12	6-10	2-4	Fe, Zn, P, Vit B, antioxidantes (polifenoles)
	60-70	10-15	8-10	1-2	Fe, Zn, P, vitaminas B (B1, B2, B3)
	60-65	20-25	6-7	1-2	Fe, ácido fólico, Mg, potasio
	60-65	18-25	8-9	<1	Fe, folato, Mg
	60-65	17-22	7-8	4-6	Fe, Zn, Mg, vitaminas B (B1, B6)
	64-69	12-18	6-7	5-7	Fe, Mg, P, antioxidantes (flavonoides)
	60-56	13-16	6-7	5-7	Fe, Mg, P, antioxidantes (compuestos fenólicos)
	60-70	10-13	7-8	3-4	Mg, Cu, Mn, antioxidantes (rutin)

Estamos en: analizar procesos tecnológicos para la obtención de harinas y para la producción de alimentos

Adaptar y optimizar procesos de molienda

Fraccionar y obtener ingredientes de diferente composición y calidad

Refuncionalizar harinas: tratamientos térmicos



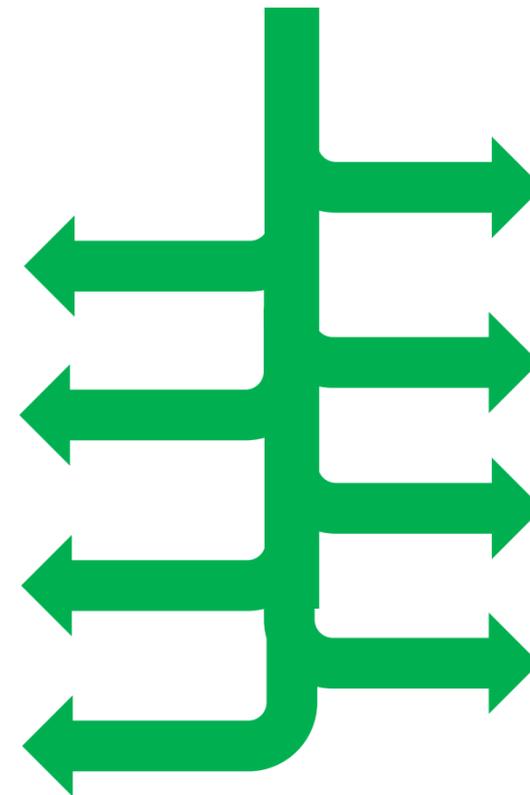
Sorghum bicolor (L.) Moench

Cereal adaptado a diversidad de ambientes

Rico en almidón

Contiene antioxidantes

Libre de gluten



Bajo costo de semillas (maíz)

Menor costo de implantación y protección
(Bajo uso de agroquímicos)

Bajo consumo de agua

Adapta a suelos con bajos regímenes hídricos

“Tiene ventajas para enfrentar el cambio climático representado por olas de calor y sequías,
frente a las cuales muestra muy buen comportamiento”

Sorghum bicolor (L.) Moench

Quinto cereal cultivado a nivel mundial 2023/2024: 58 Mt

Argentina



2023-2024: 2,5 Mt (4% mundial)

2024/2025: 3,0 a 3,8 Mt

Escenario de largo plazo: podría crecer hasta 6,37 Mt

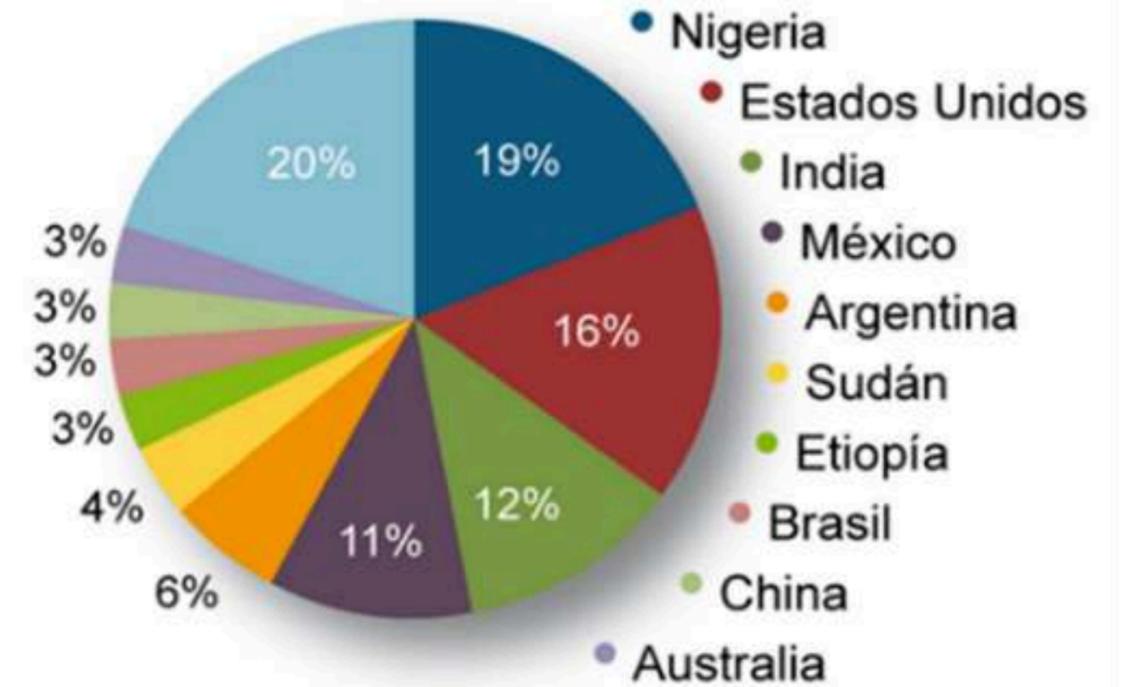
Bolsa de Comercio de Rosario- Mayo 2024

Sorgo forrajero

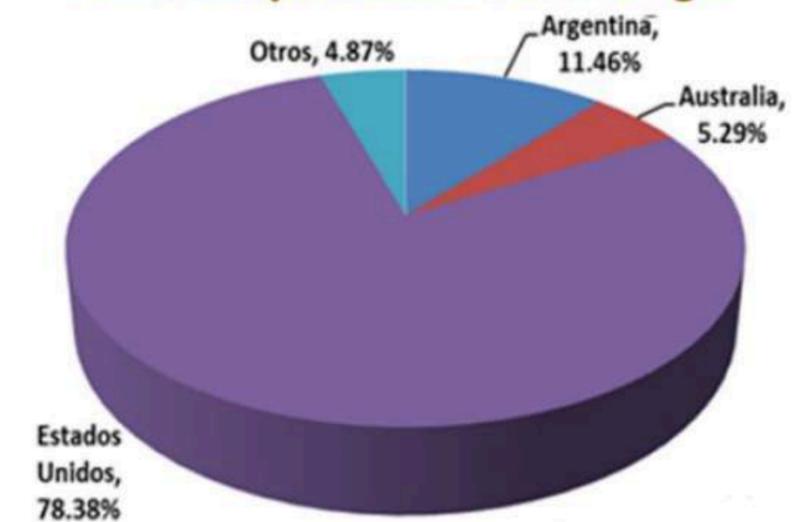
Sorgo granífero



Países productores de sorgo



Países exportadores de sorgo



(b)

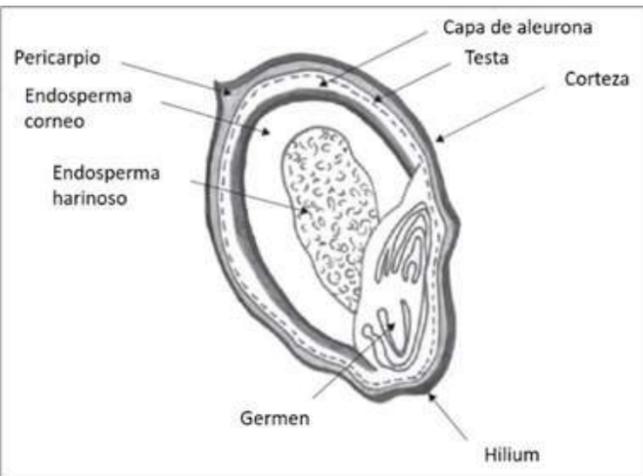
Grano de sorgo

generalmente esféricos y pueden ser de color blanco, rojo, amarillo o marrón.

Pericarpio: rico en fibra dietética insoluble y minerales (4 al 8%).

Germen 9-10 %: interior del grano contiguo a las capas externas (aceite, proteínas y enzima).

Endospermo \approx **84%**, almidón y proteínas (bajas cantidades de lípidos y fibra).



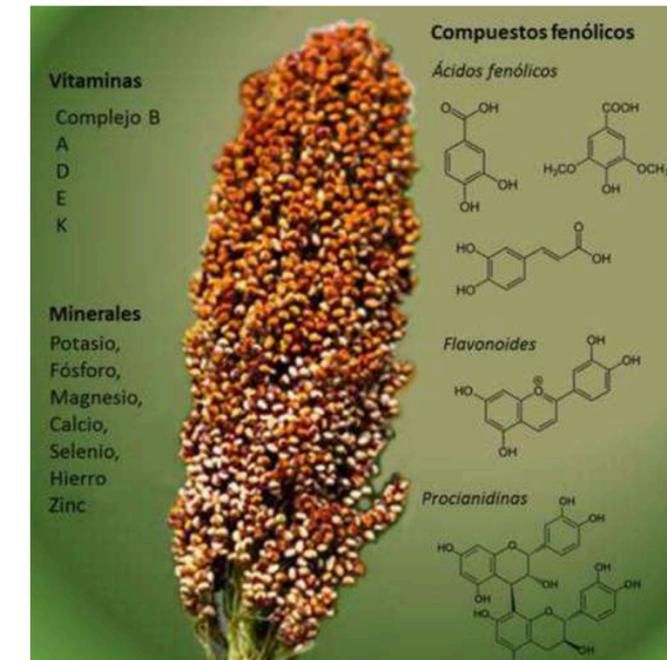
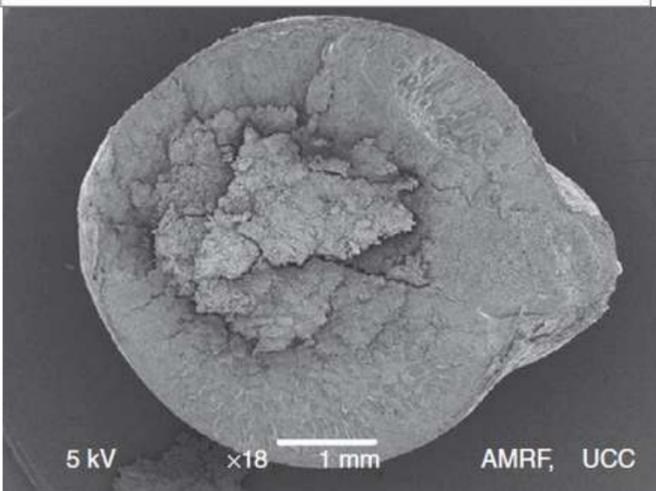
Proteínas (kafirinas): 8-13% - **NO posee prolaminas**

Almidón: 70% (3:1 amilopectina/amilosa)

Vit A, E, fuente de vit B

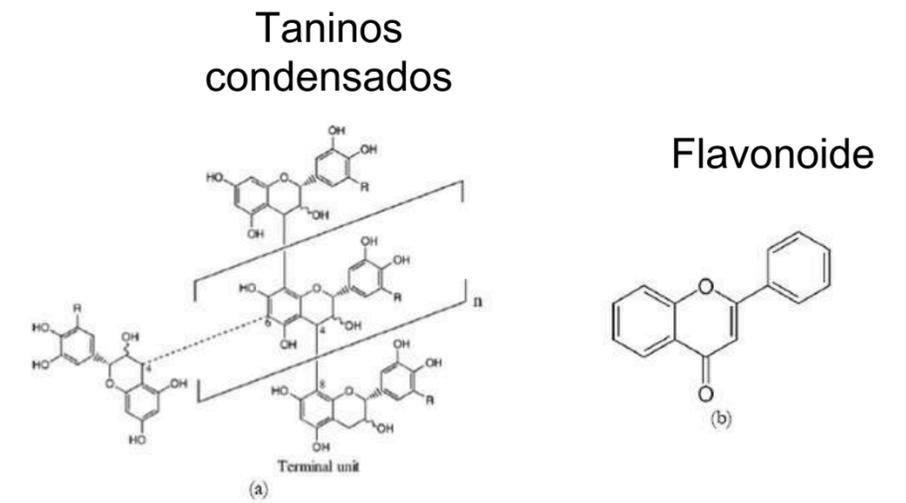
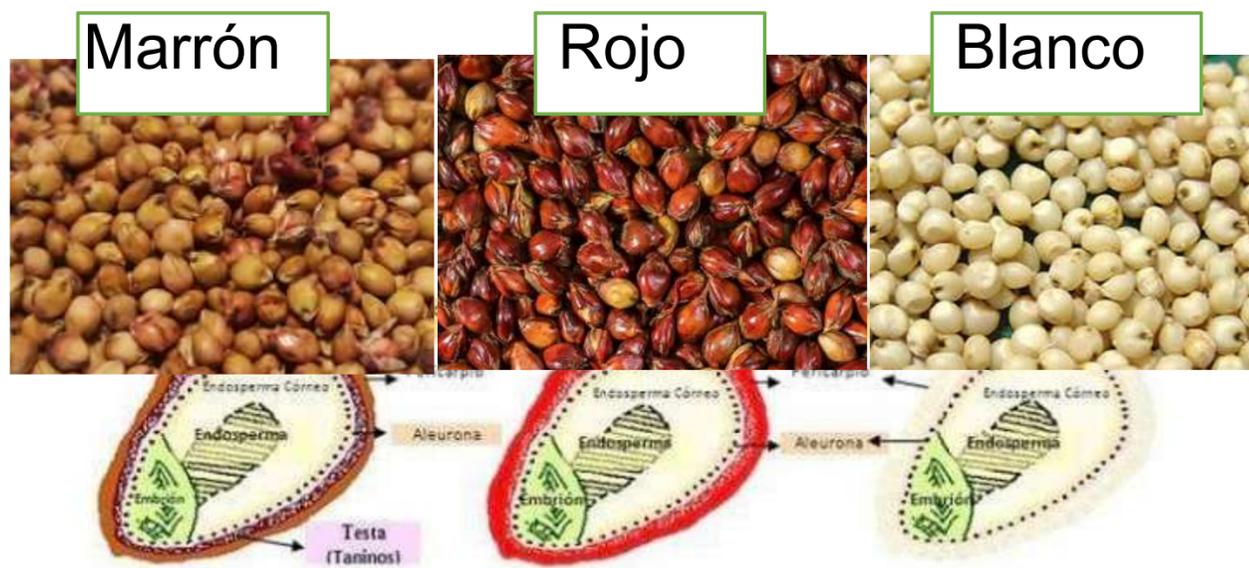
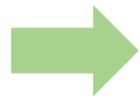
Compuestos fenólicos: flavonoides, ácidos fenólicos y taninos

Fibras 6-10 %



Excelente fuente de carbohidratos complejos, Fe, Zn, vitaminas complejo B y polifenoles

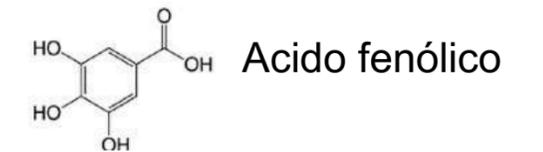
Grano de sorgo



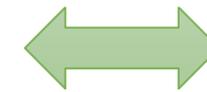
Epicarpio (parte externa): mayoría de pigmentos del grano de sorgo (color).

Algunos cultivares: subcapa pigmentada (testa) entre el pericarpio y el endosperma...

taninos condensados.



Taninos



Capacidad antioxidante y fibra dietaria

Protección (insectos, pájaros y hongos)
Propiedades antinutritivas (proteínas/minerales)
Sabor amargo y astringencia

Tipo I: **sin taninos y con polifenoles** (fenoles, antocianinas y flavonoides)

Tipo II: contienen **taninos en la testa** (pueden poseer color)

Tipo III: contienen **taninos en la testa y pericarpio** (pardos)

Acido fítico: capas externas como minerales: biodisponibilidad

Usos de sorgo

África y Asia → Alimentación humana

América de Norte y Australia → Alimentación animal y producción de etanol

Argentina → Alimentación animal (30%) y exportación (62%) y industrialización (8%)



PRODUCCIÓN DE ETANOL POR HECTÁREA



Analizar distintas estrategias para el agregado de valor del sorgo mediante su incorporación en la industria de alimentos considerando aspectos tecnológicos, nutricionales y sensoriales



Evaluar granos comerciales disponibles en la región



Harinas “blancas”

Composición química
Propiedades físicas



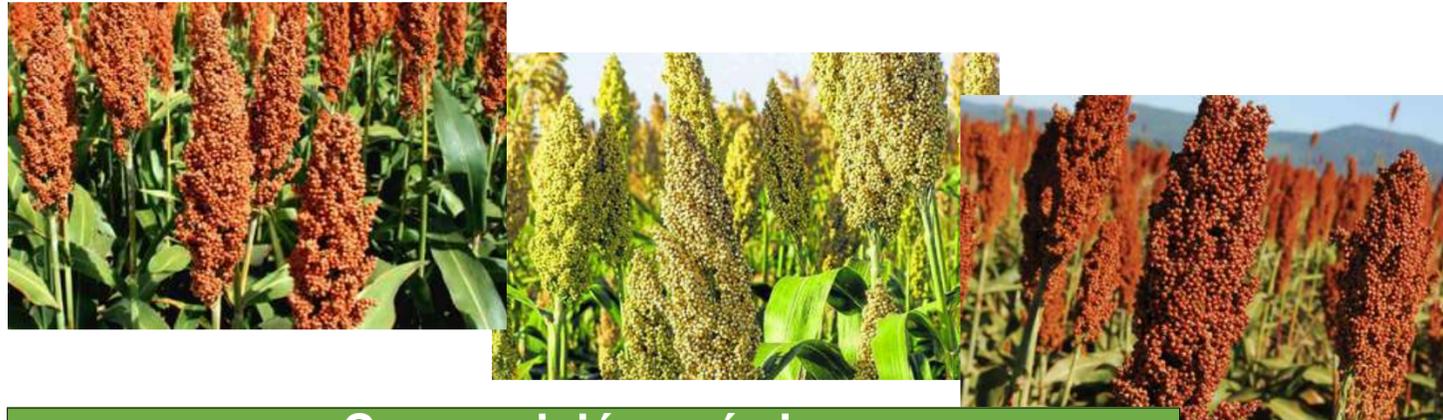
Conocer la variabilidad desde el punto de vista tecnológico



Harinas de 20 variedades comerciales de alto rendimiento

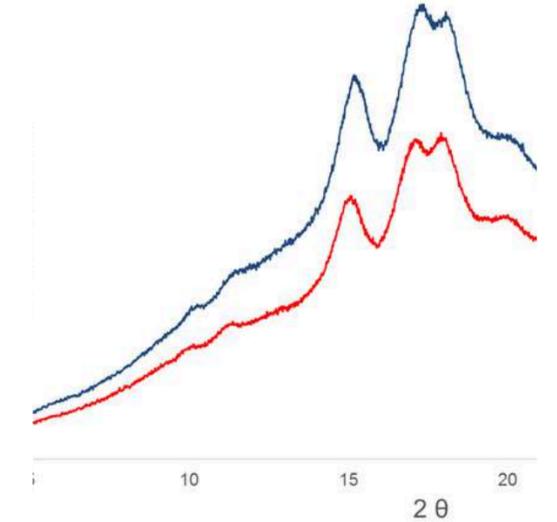
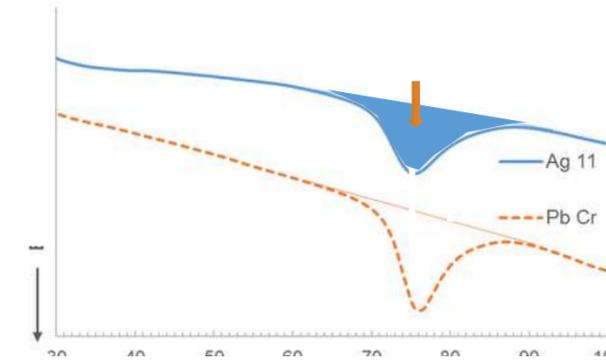


Harinas tamizadas de granos blancos, rojos y marrones

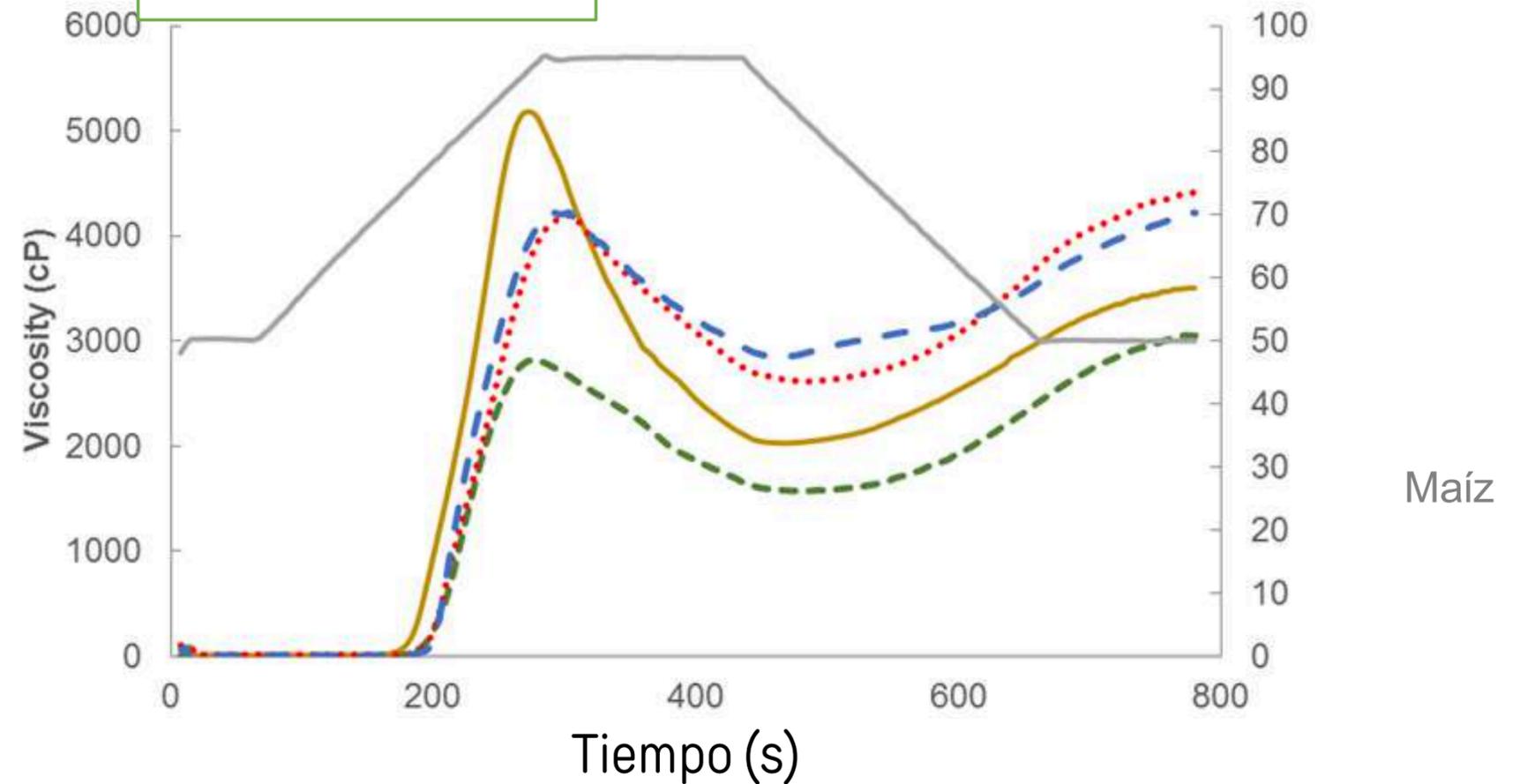


Composición química

	Min	Max	Media
Proteínas	8,4%	17,1%	12,2%
Cenizas	0,3%	1,0%	0,7%
Lípidos	1,7%	5,7%	3,6%
CH	77,0%	89,0%	79,7%
Amilosa	24,1%	29,8%	26,6%
PFT (mg ac tánico/100 g harina)	16,8	79,6	34,9



Max VP 5185 cP
Min VP 2809 cP



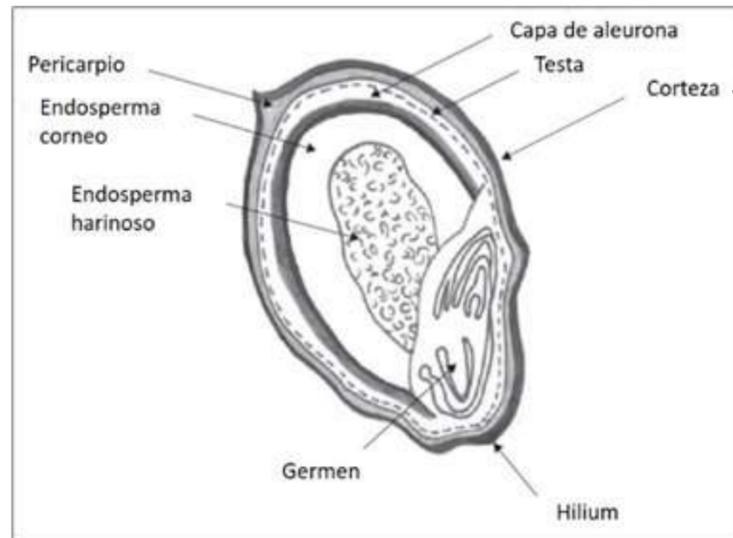
Las harinas mostraron una gran variabilidad en sus propiedades fisicoquímicas



Selección de harina adecuada según su uso requiere estudios mas exhaustivos

Grano y molienda

Tipo de molienda: Gran influencia sobre las características de las harinas obtenidas.



Sorgo: eliminar las capas fibrosas y muy coloreadas del pericarpio y tegumento (taninos) y reducir el resto a harina.

Parte del germen suele conservarse junto con el endospermo.

Descascarillado mecánico eficiente del sorgo es uno de los principales desafíos en el desarrollo de instalaciones de procesamiento

La adaptación de un molino diseñado para otros granos: desafío tecnológico (calidad vs rendimiento)

La funcionalidad y la calidad son impredecibles.



Problemas planteados

Industria: problemas de rendimiento y calidad variable

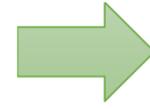
Estrategia seguida

**ANÁLISIS DE LOS PROCESOS DE MOLIENDA
(disponibles y escalables) y DE LOS GRANOS DE SORGO
Y VIDA UTIL DE HARINAS**



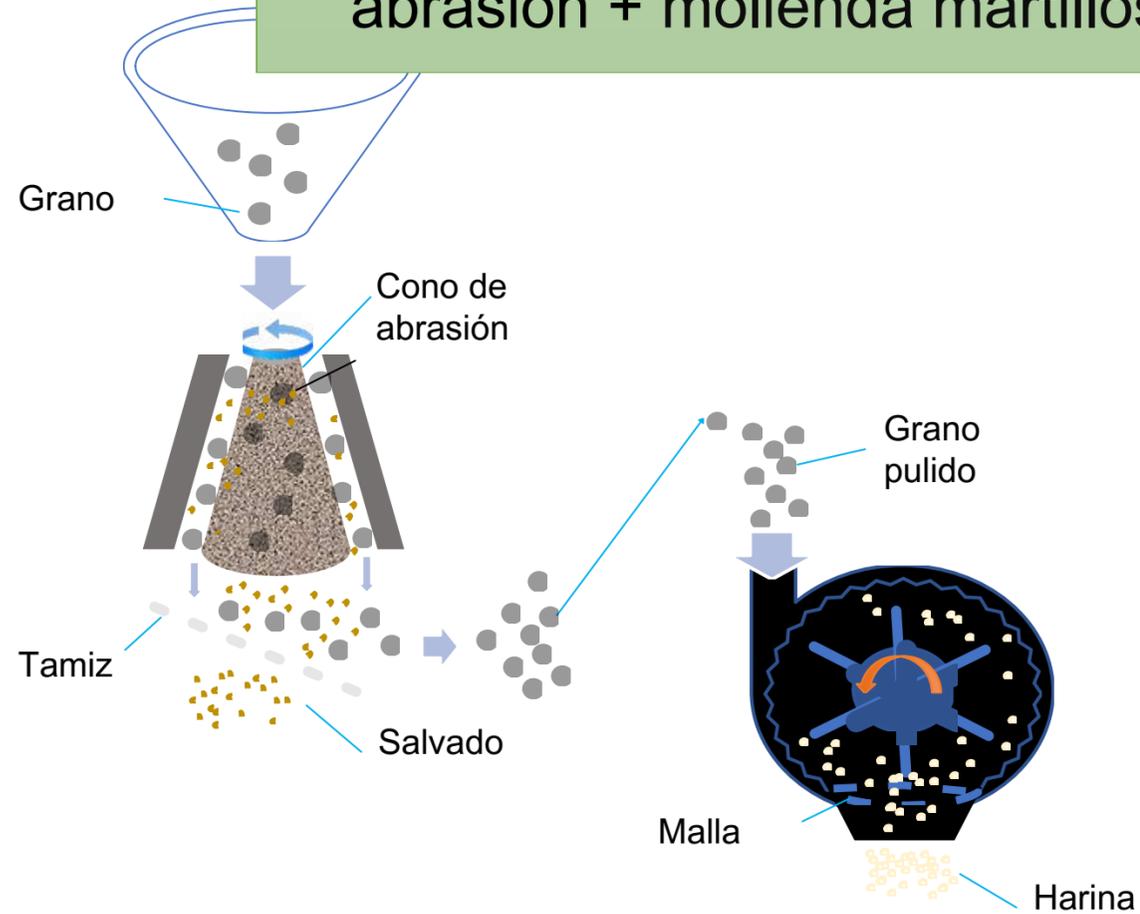
Tecnologías de molienda

Acondicionamiento



Añadir agua a los granos + reposo

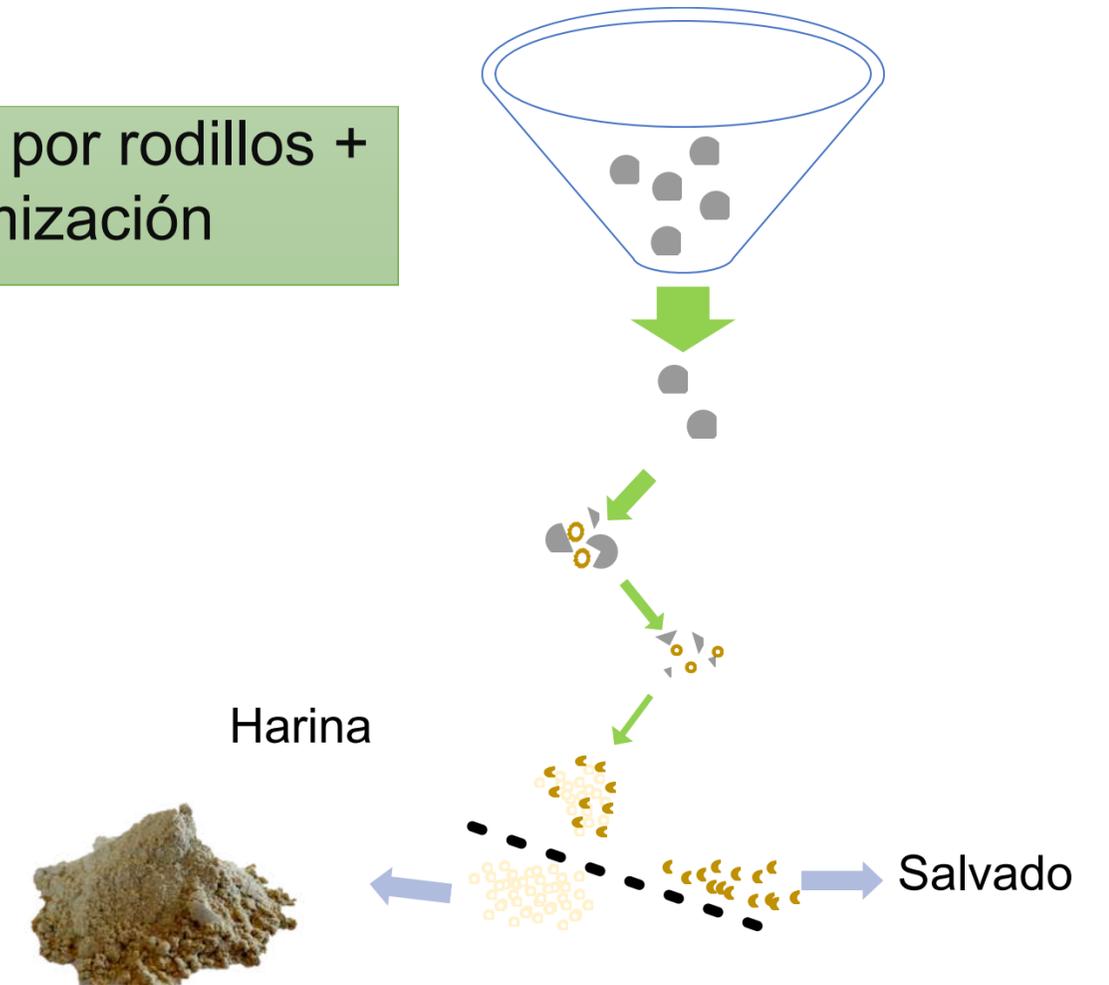
Proceso de pulido/descorticado por abrasión + molienda martillos



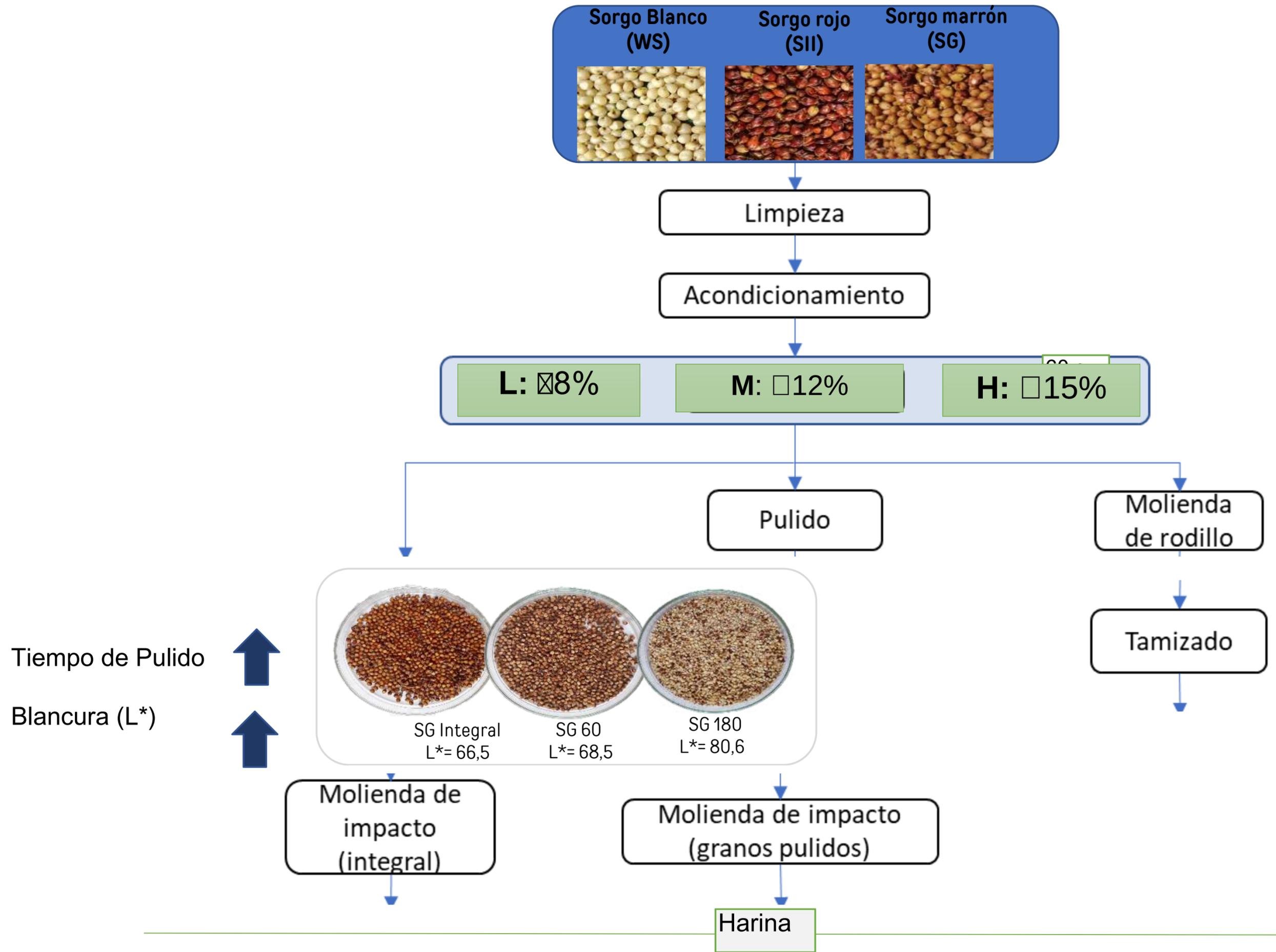
Ruptura por impacto entre discos y carcaza
Distribución de tamaño uniforme

Rendimiento de molienda: humedad del grano

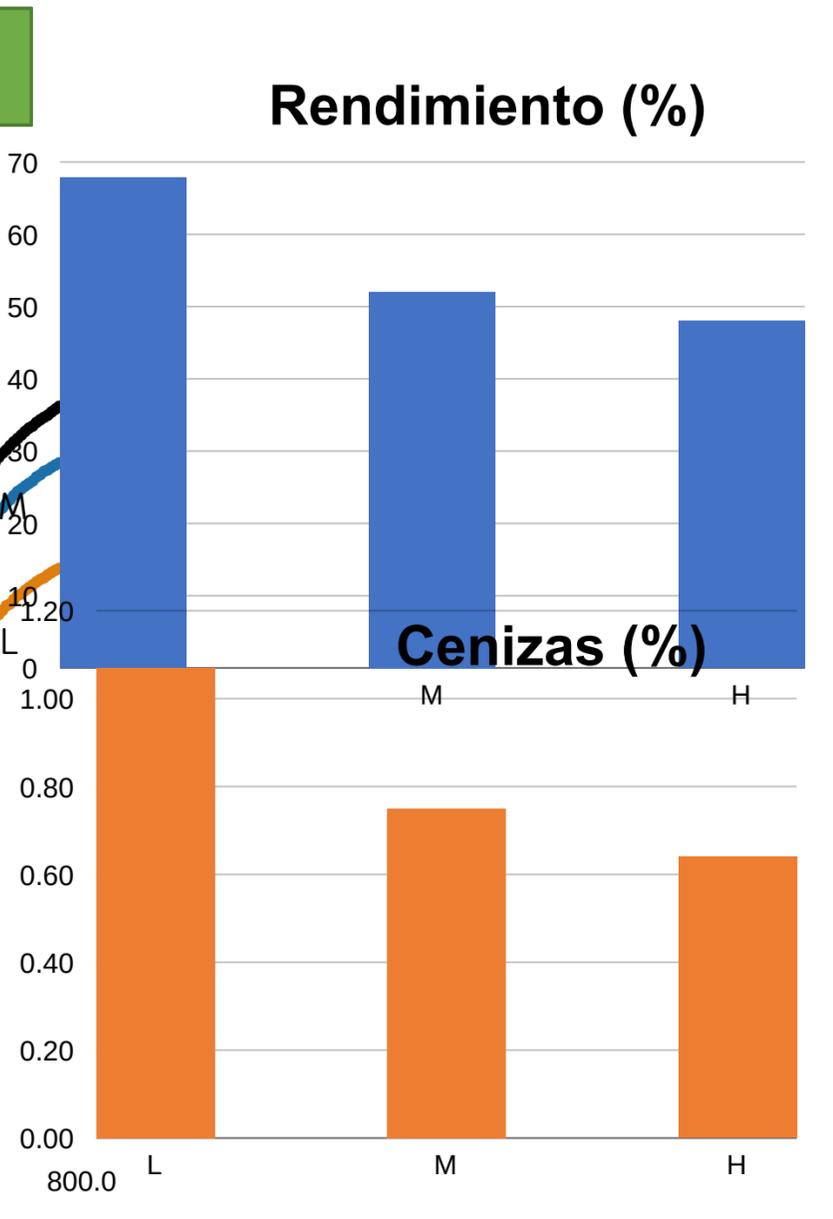
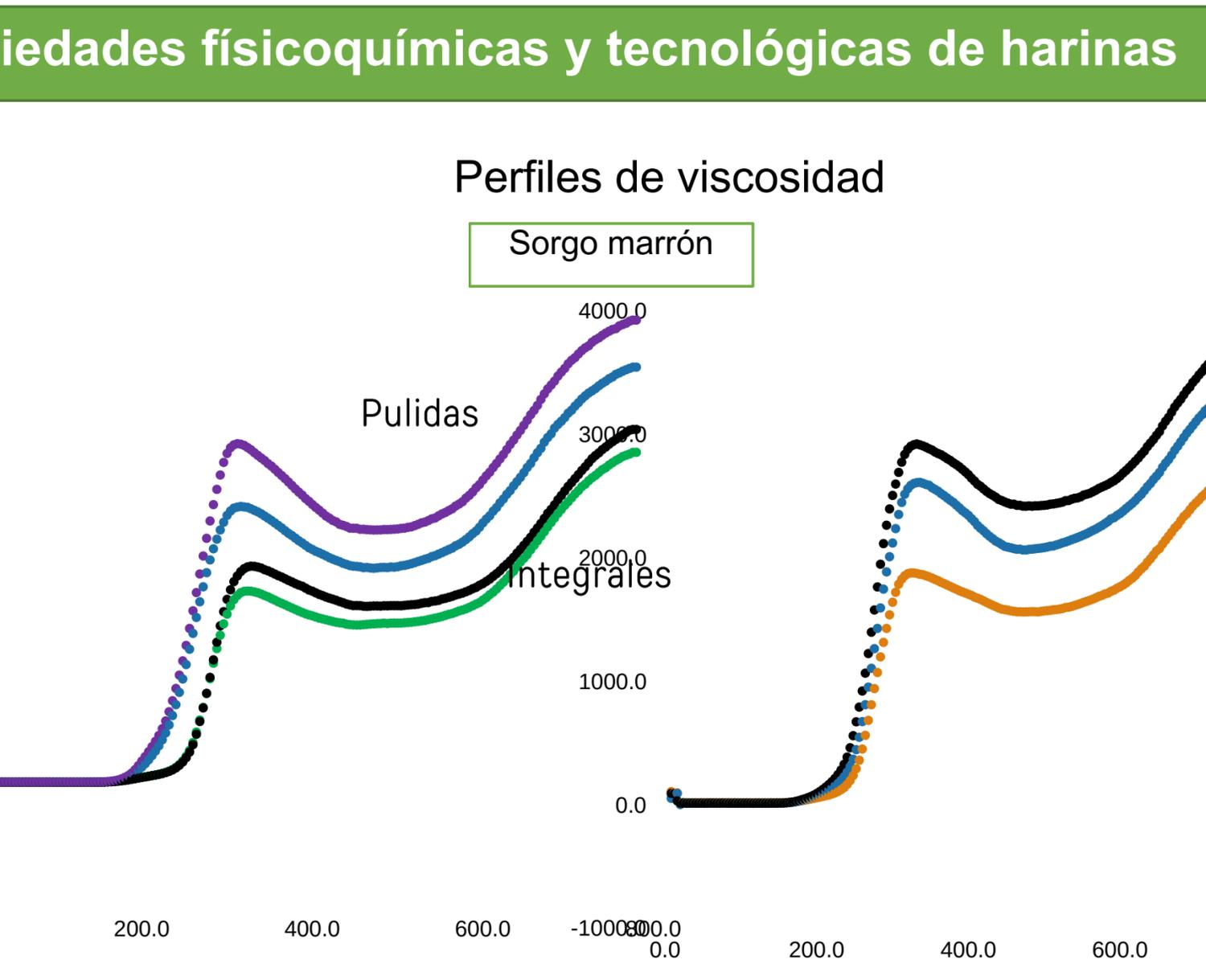
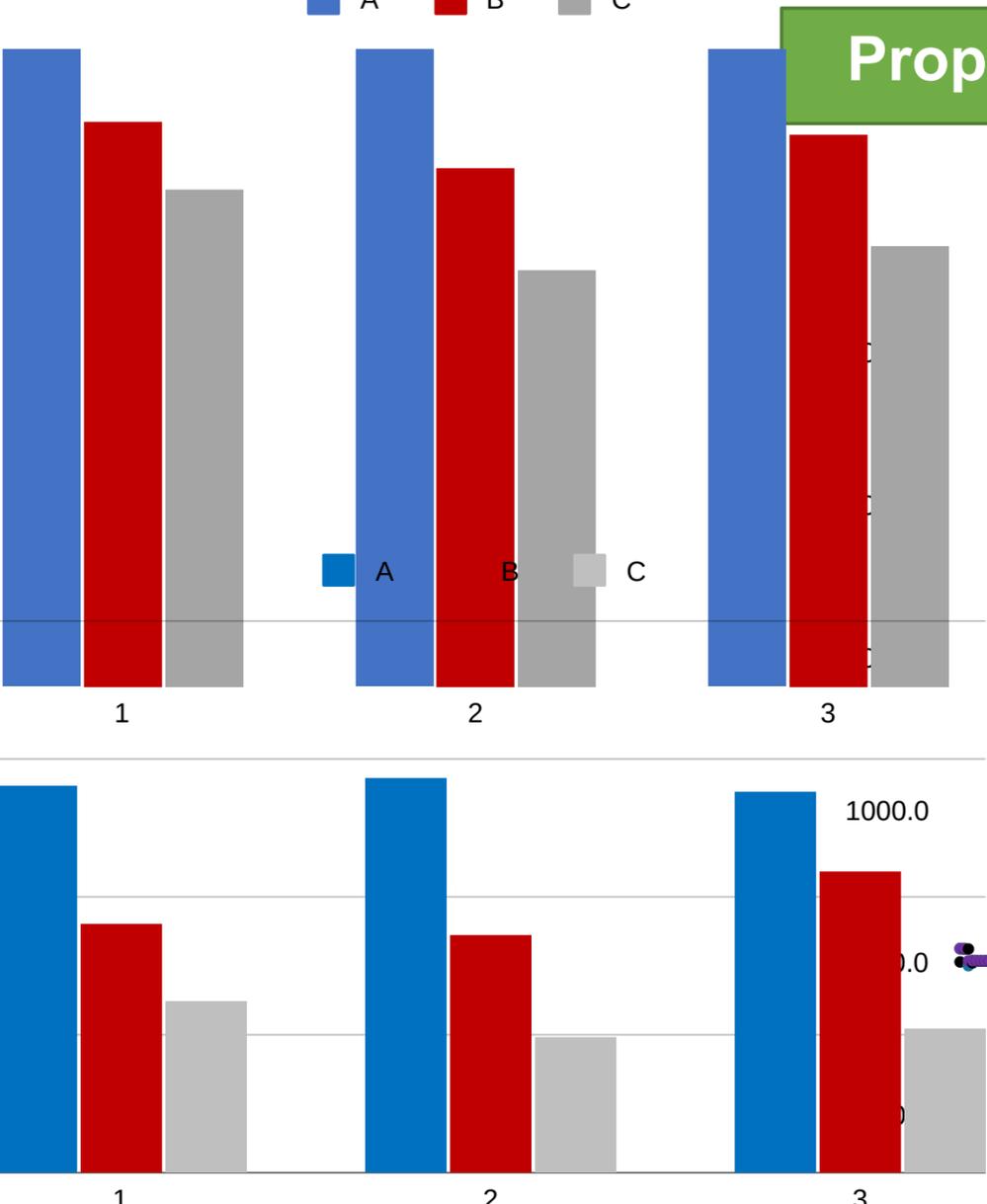
Molienda por rodillos + Tamización



Reducción gradual por compresión entre pares de rodillos
Variedad de fracciones de harinas
Menor rendimiento de molienda

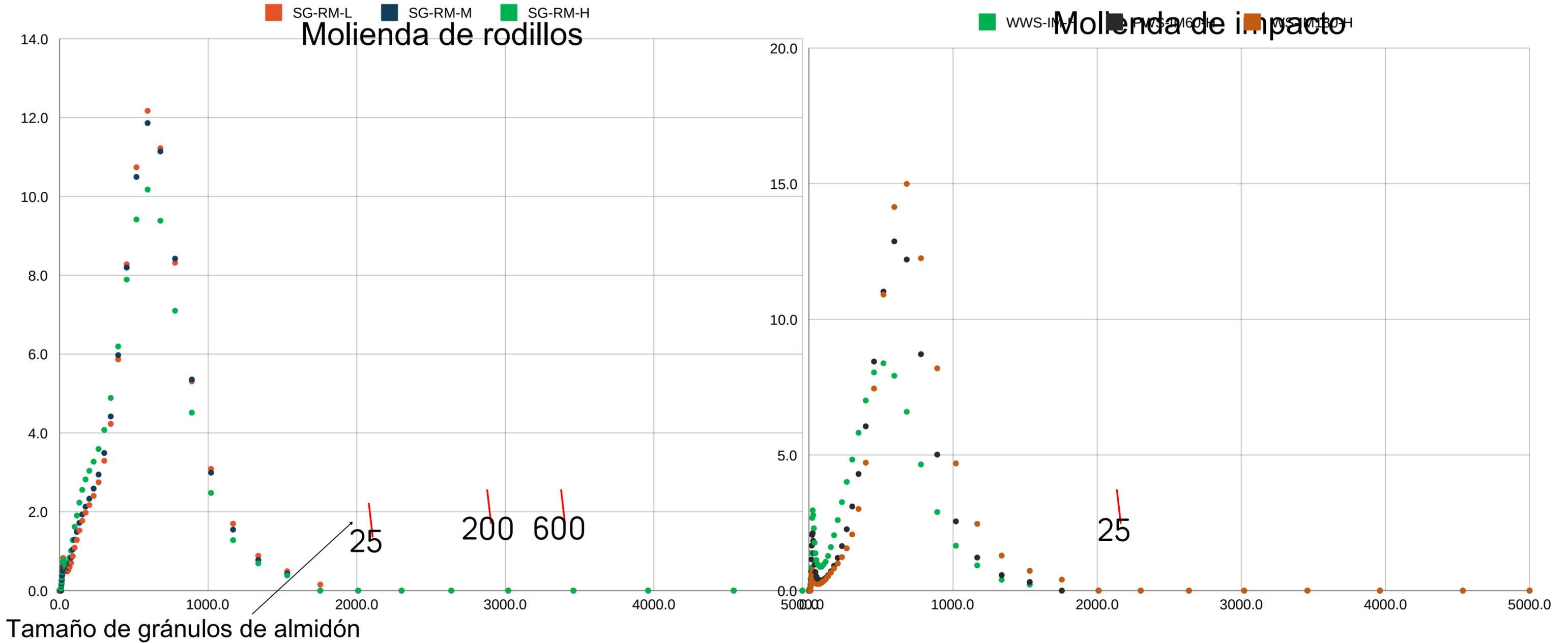


Propiedades físicoquímicas y tecnológicas de harinas



Pulido + Molienda de Impacto	Molienda por rodillos + tamización
Mayor rendimiento y % Cenizas	Menor rendimiento y % Cenizas
Menor % rendimiento y cenizas a mayor tiempo pulido	Menor % rendimiento y cenizas a mayor humedad
Aumento de viscosidad a mayor tiempo de pulido y en nuestras acondicionadas a mayor humedad	

Distribución de tamaños de partículas bimodal



Diámetro de partícula disminuyó gradualmente con la humedad

Grado de dispersión de tamaños de partícula disminuyó con el tiempo de pulido (salvado)

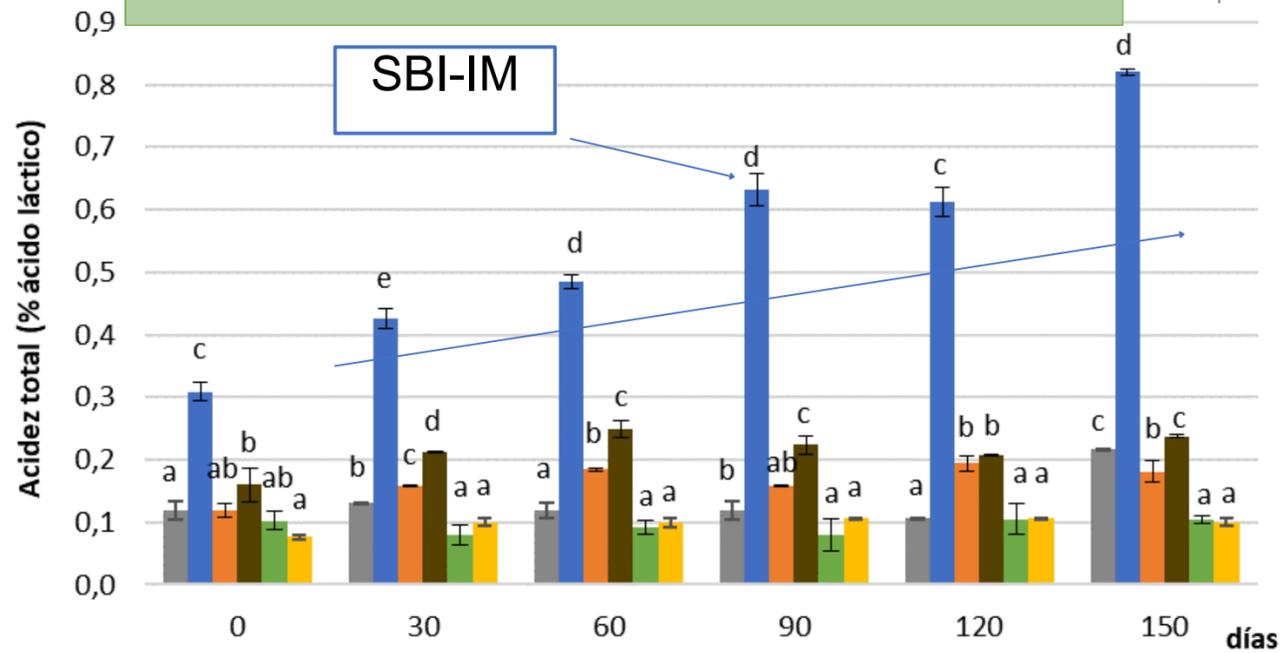
Ensayo de estabilidad 150 días

Límite CAA:
10 - 15 meq O₂/kg aceite
5 % Acidez para almidón

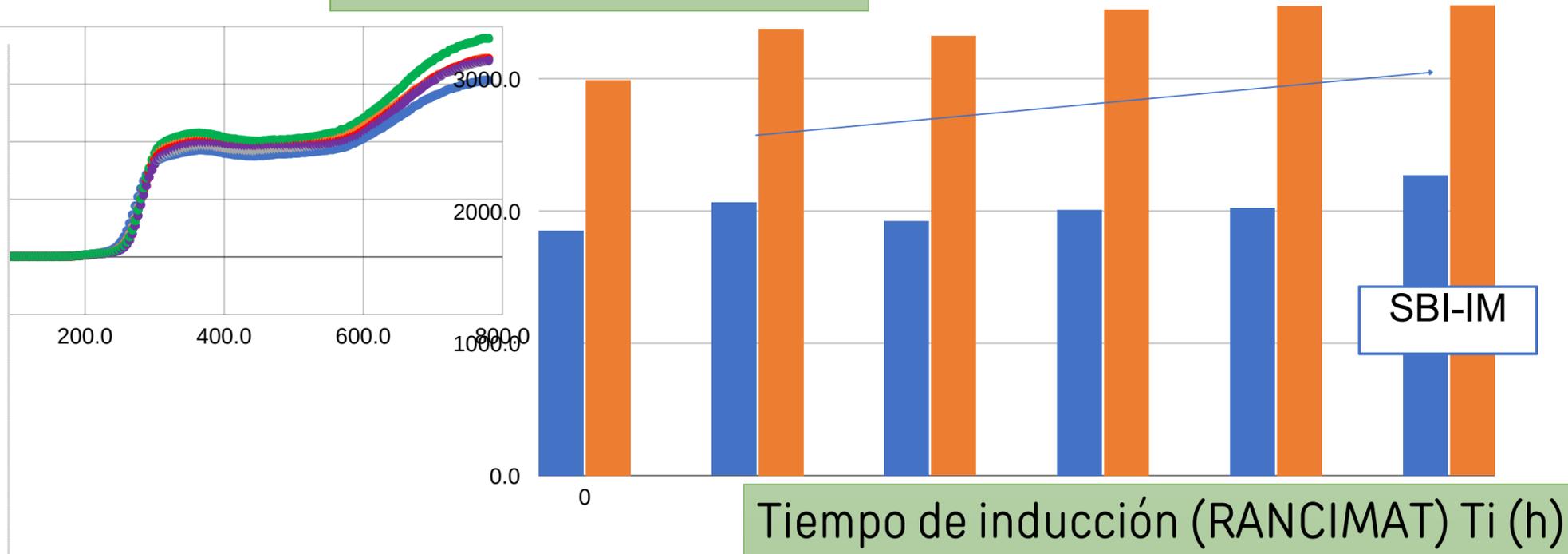
Índice de Peróxidos (meq O ₂ /kg aceite)						
Días	SBI-IM	SBP-IM	SMI-IM	SMP-IM	WS-RM	SG-RM
0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
150	ND	ND	4,9	ND	ND	ND

PV (Cp) FV (Cp)

Acidez total titulable en harinas

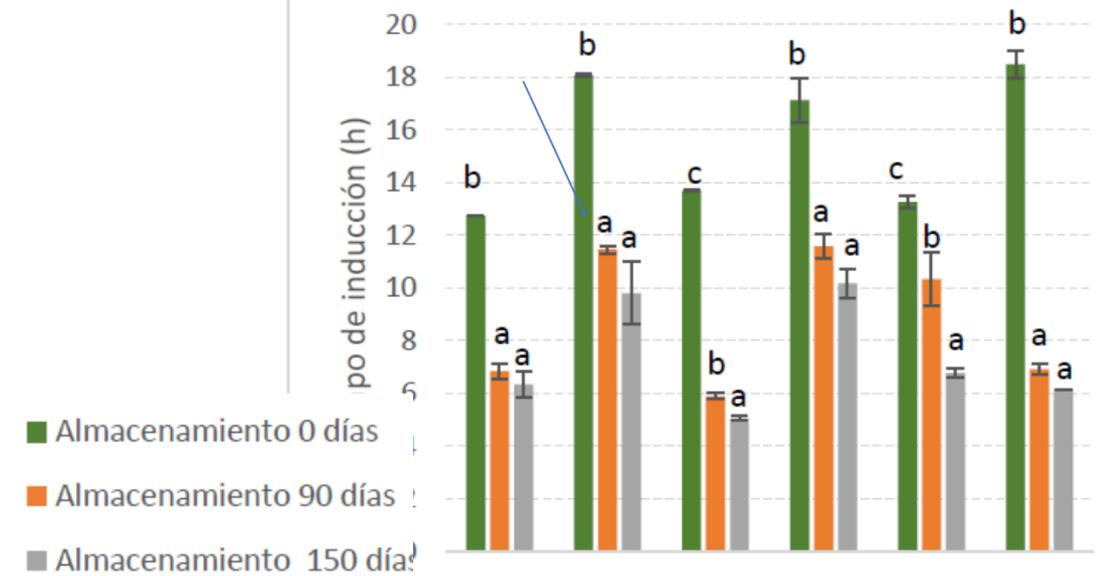


Perfil de viscosidad



Almacenamiento hasta 150 días:

Alta estabilidad en harina en SB parcialmente refinada (germen)
Aumento de viscosidad con el tiempo, especialmente en integrales
Reducción Ti (susceptibilidad a oxidación) hasta 90 días



**Acondicionamiento recomendado : 12% de humedad:
Molienda de rodillo (50 a 61 % rendimiento s/variedad) (similar tasa para trigo)
Pulido por 180 s y molienda de impacto (65 a 77 % rendimiento s/variedad)**

Composición y perfiles de viscosidad variaron con las condiciones de acondicionamiento y molienda

Almacenamiento hasta 150 días: estabilidad aceptable (cambios leves e indicativos de deterioro)

PANES

Sorgo marrón y Blanco

BIZCOCHUELOS

GALLETITAS

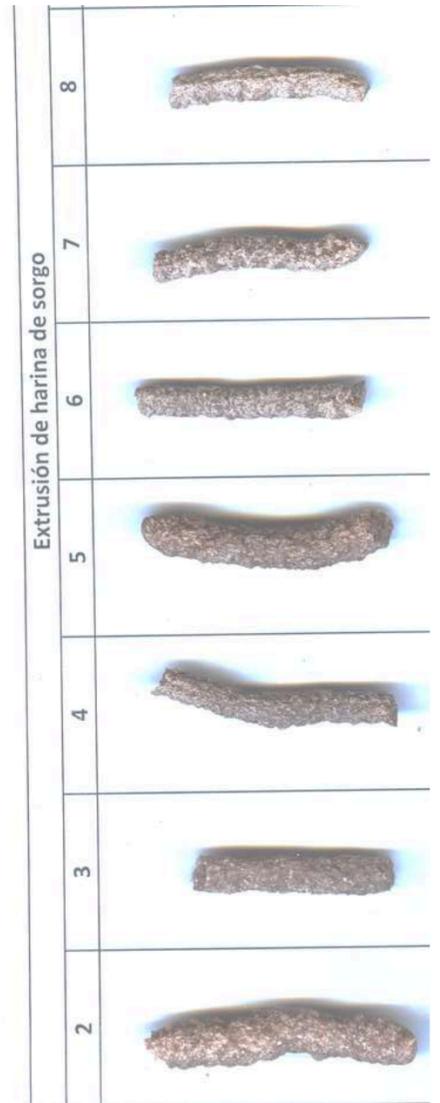
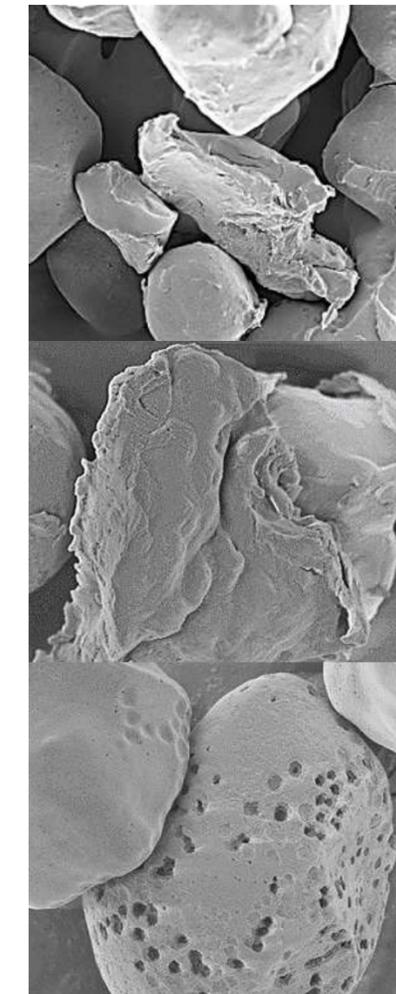
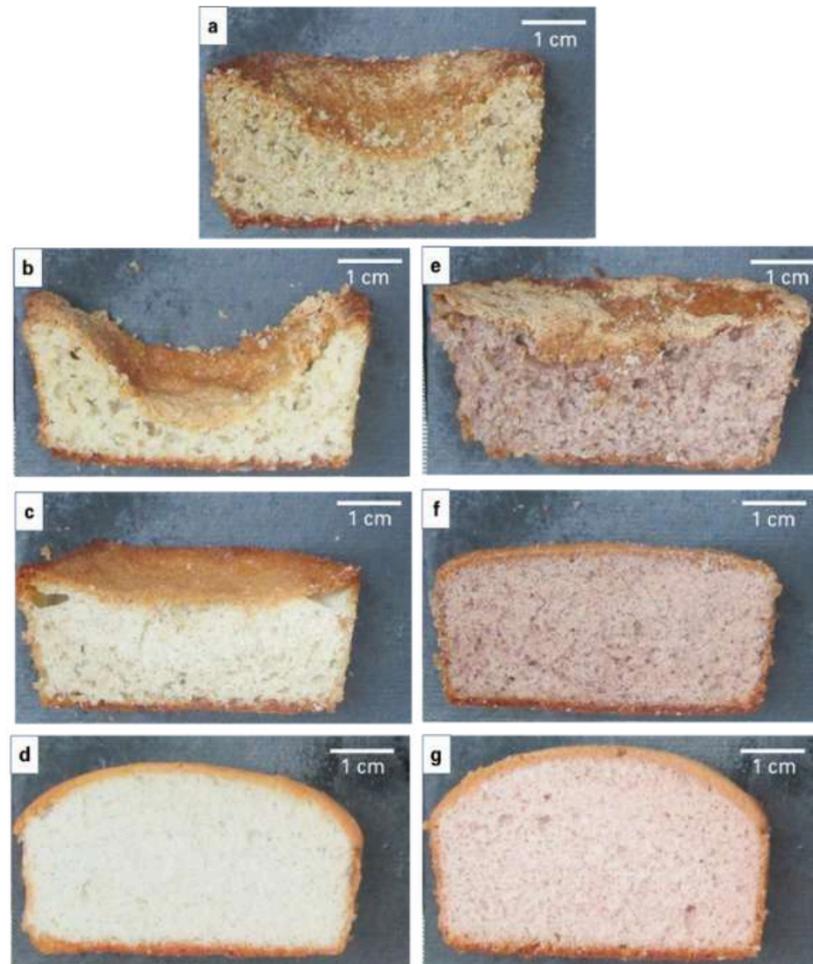
Sorgo + arroz

PASTAS SECAS

EXTRACCION Y MODIFICACION DE ALMIDONES

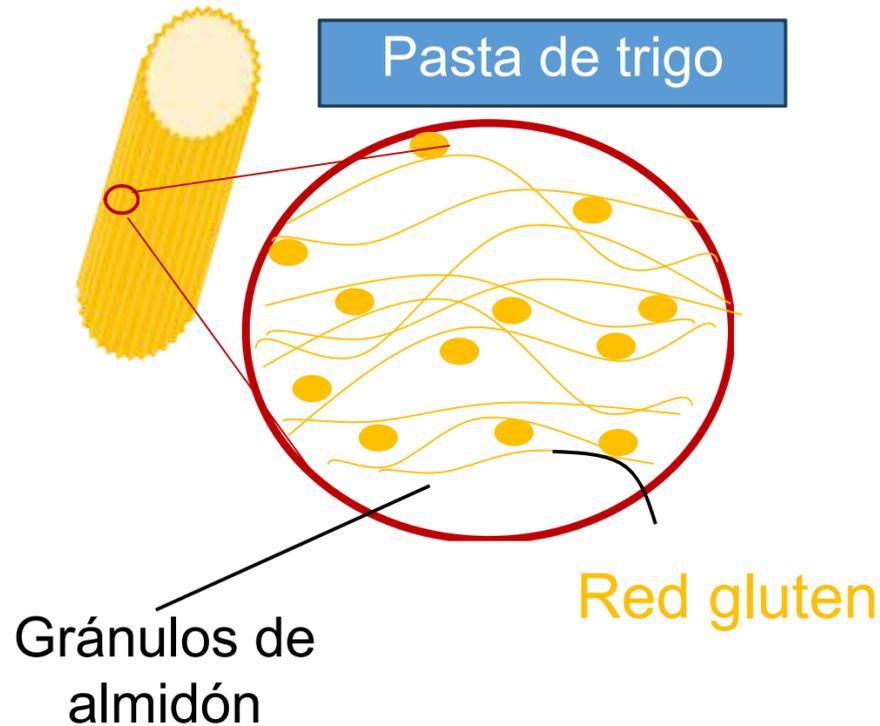
MODIFICACION POR EXTRUSION

Sorgo marrón y Blanco



Productos libres de gluten

Desarrollo pastas libres de gluten



Cocción: gluten desnaturaliza y forma film alrededor de granulo, limita hinchamiento, absorción y liberación al agua.

Pasta: gluten otorga textura firme y elástica

Gluten: Limita su hidrólisis por parte de las enzimas digestivas (IG)

El gluten clave en la obtención de pastas de calidad

Pastas libres de gluten

Problemas asociados:

Evitar desintegración, pegajosidad y pérdida de nutrientes y textura en la cocción

Utilizar tecnologías de producción similares (sin cambios mayores)

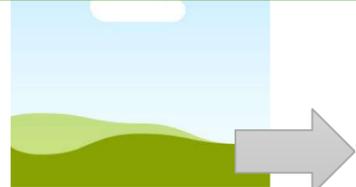
Obtener productos sensorialmente aceptables (sabor, color, textura)

Estrategia seguida



Análisis y optimización de la formulación (ingredientes que imiten gluten)

Sorgo Blanco



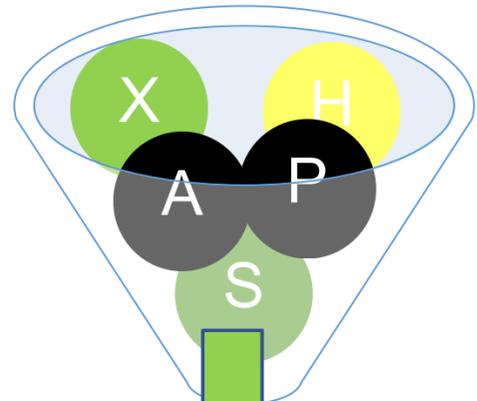
Sorgo marrón



Pulido + Molienda Impacto



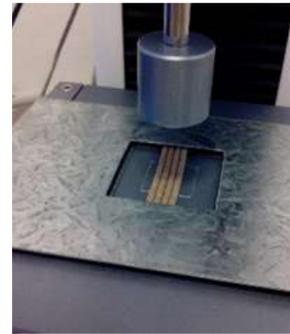
Albúmina de huevo (A), huevo en polvo (H), goma xántica (X) y almidón de maíz pregelatinizado (P).



Diseño experimental



Cocción

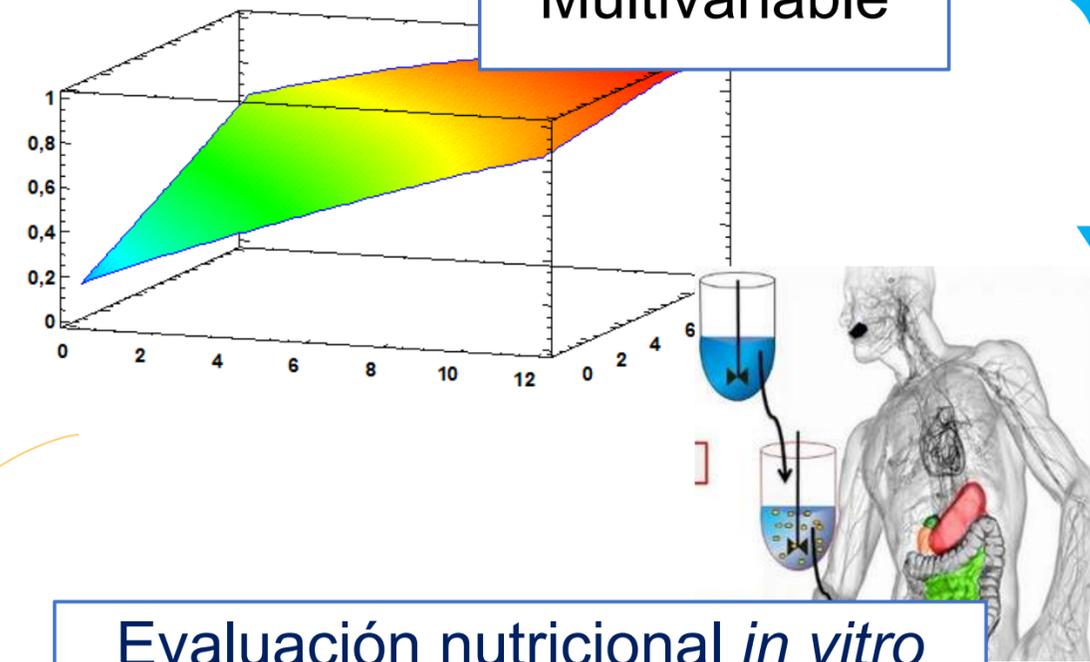


Textura



Color

Optimización Multivariable



Evaluación nutricional *in vitro*



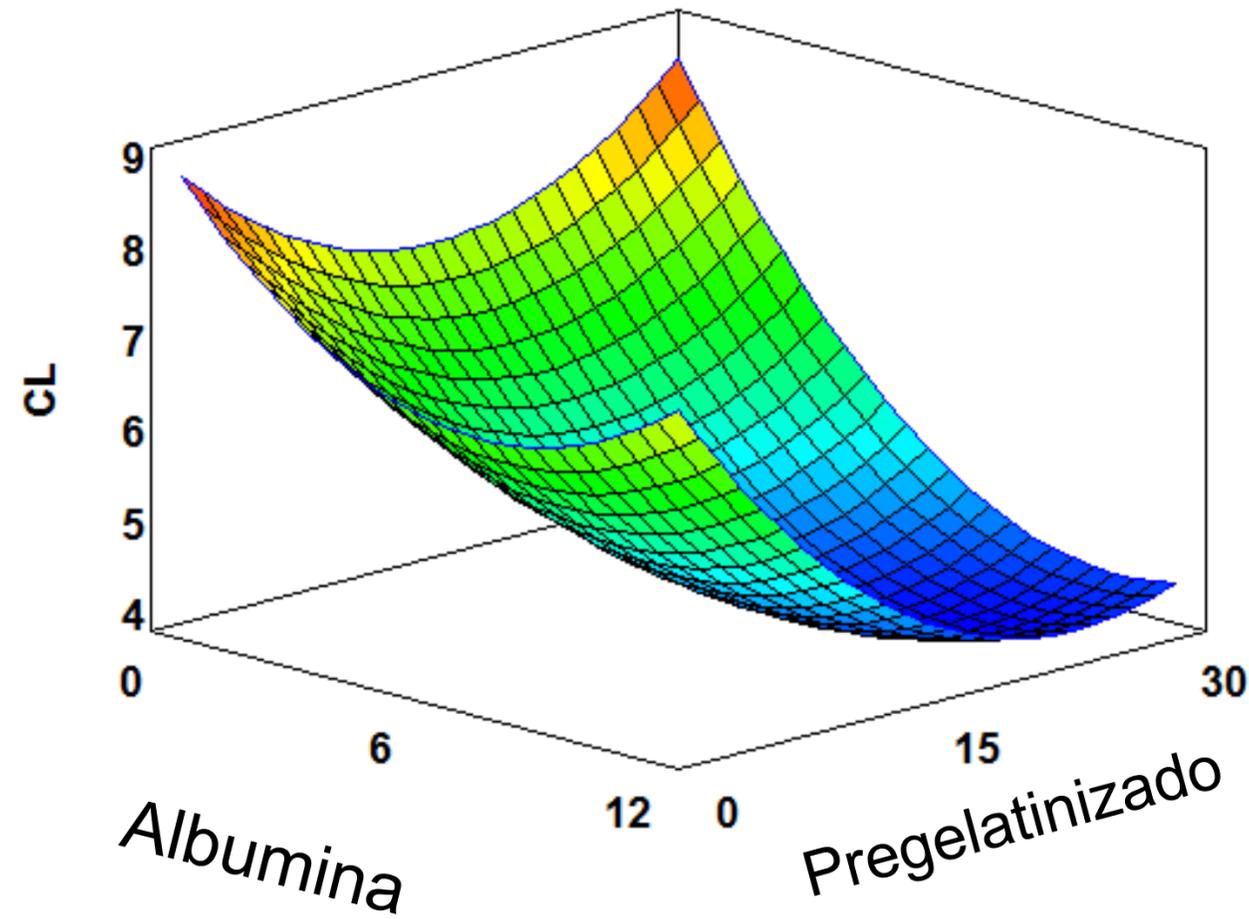
Análisis Sensorial

Prueba industrial



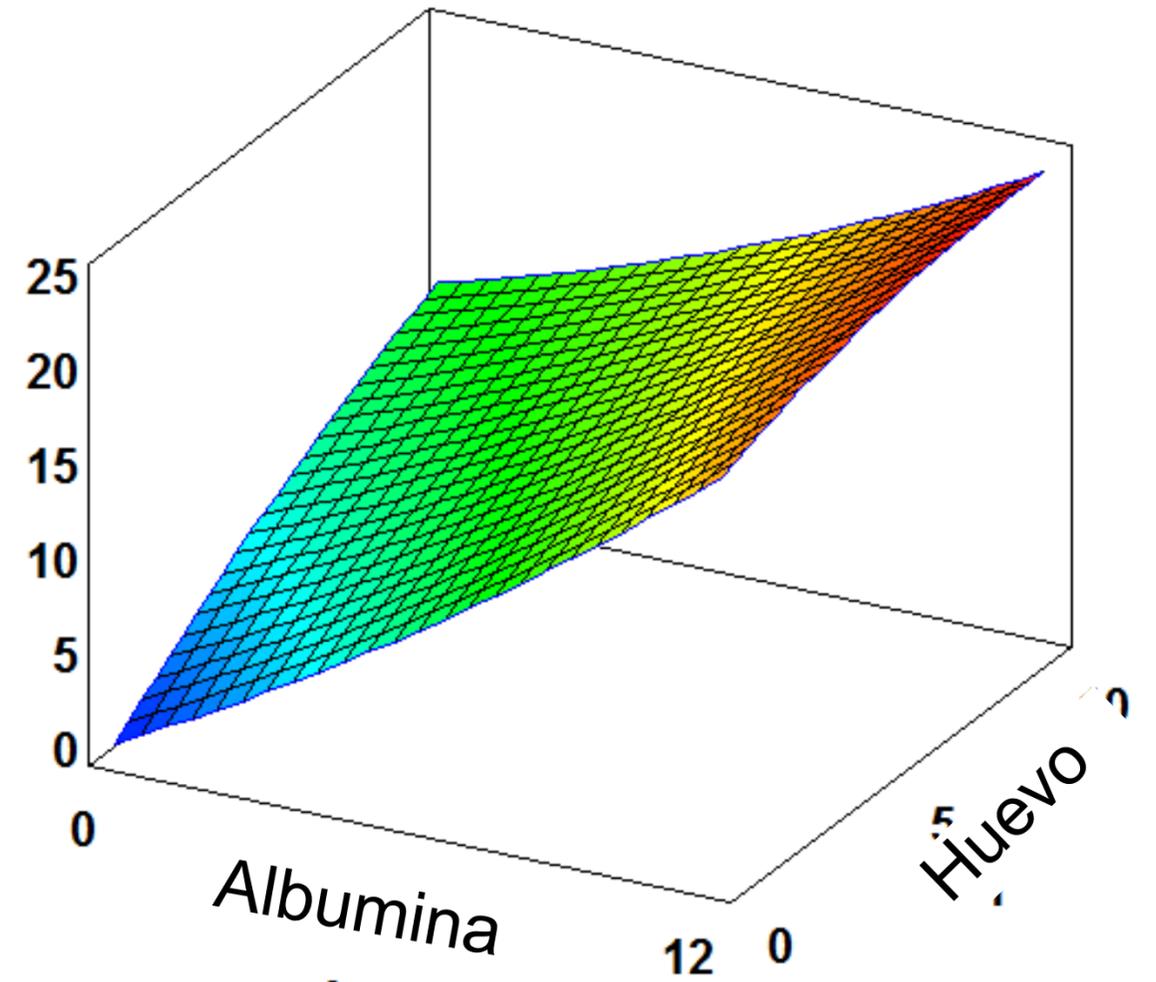
Pastas de Sorgo Blanco

Residuo de Cocción (g/100 g)



RC: 4,00 y 11,94% (hasta 8% aceptable)

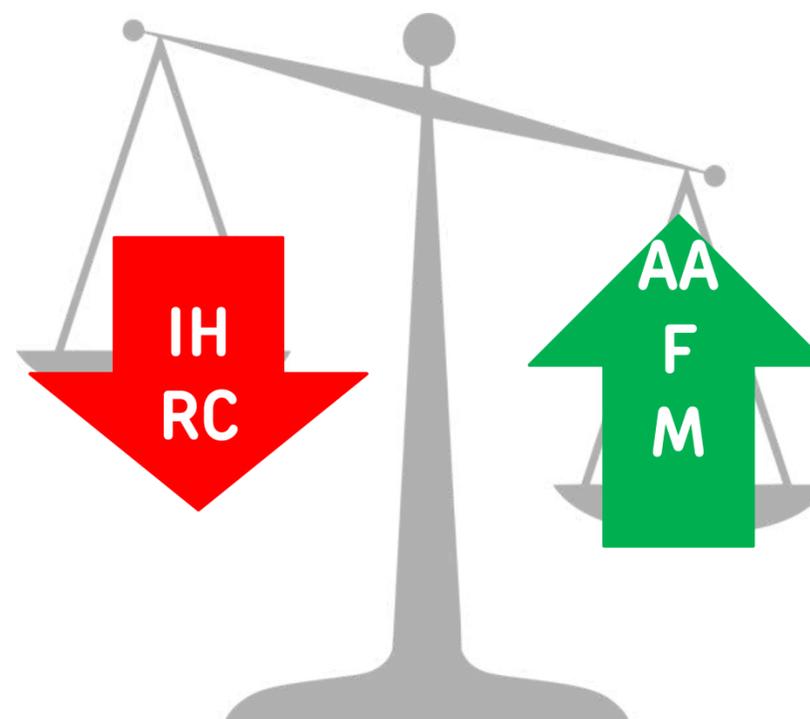
Masticabilidad (N)



Albúmina y almidón pregelatinizado mayor efecto mejorador de propiedades de cocción
 Albúmina, Xantica y Huevo fueron los que más contribuyeron a mejorar las propiedades texturales de las pastas

Pastas de Sorgo Blanco (PSB)

Pastas de Sorgo Marrón (PSM)



A: albúmina

H: huevo

X: xántica

P: Almidón Pregelatinizado

Ingrediente	Óptimo (g/100 g)	
	PSB	PSM
Goma xántica (X)	0,0	2,5
Albumina de huevo (A)	11,0	11,0
Huevo en polvo (H)	8,6	5,7
Almidón pregelatinizado (P)	17,7	1,0

	PSB	PSM
AA (%)	120,75	147,61
IH	1,62	1,92
RC (g/100 g)	5,76	5,38
Firmeza(N)	46,42	55,30
Masticabilidad(N)	30,20	32,25

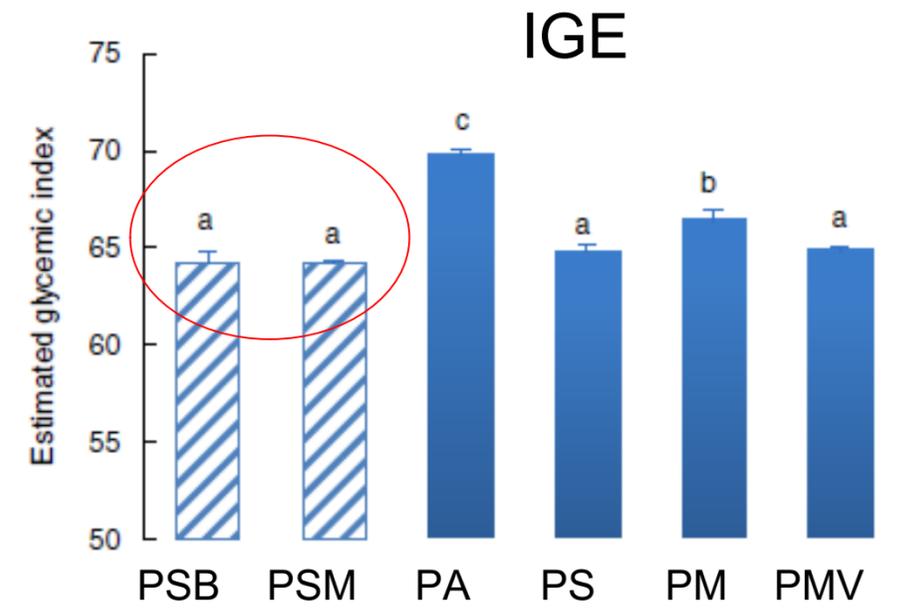
Pasta cocida y liofilizada	Fibra dietética (g)	Proteínas (g)	CPT (mg AG)	CARC-ABTS+ (µmol Trolox)	CRH (mg AG)
Pasta de sorgo blanco (PSB)	6,4 ^b	17,4 ^f	241 ^d	819 ^d	57 ^e
Pasta de sorgo marrón (PSM)	9,1 ^d	16,2 ^e	289 ^e	1129 ^e	72 ^f
Pasta de arroz (PA)	3,1 ^a	2,2 ^a	37 ^a	133 ^a	6 ^b
Pasta de soja (PS)	7,8 ^c	6,0 ^c	137 ^c	546 ^c	24 ^d
Pasta de maíz (PM)	3,4 ^a	9,1 ^d	52 ^b	308 ^b	3 ^a
Pasta de maíz con verduras (PMV)	10,4 ^e	5,2 ^b	131 ^c	510 ^c	21 ^c

CPT: contenido total de polifenoles, CRH: capacidad reductora de hierro, CARC-ABTS+: capacidad secuestrante de radical catión ABTS+.

Evaluación nutricional



Pastas LG IGE moderado = 59-70

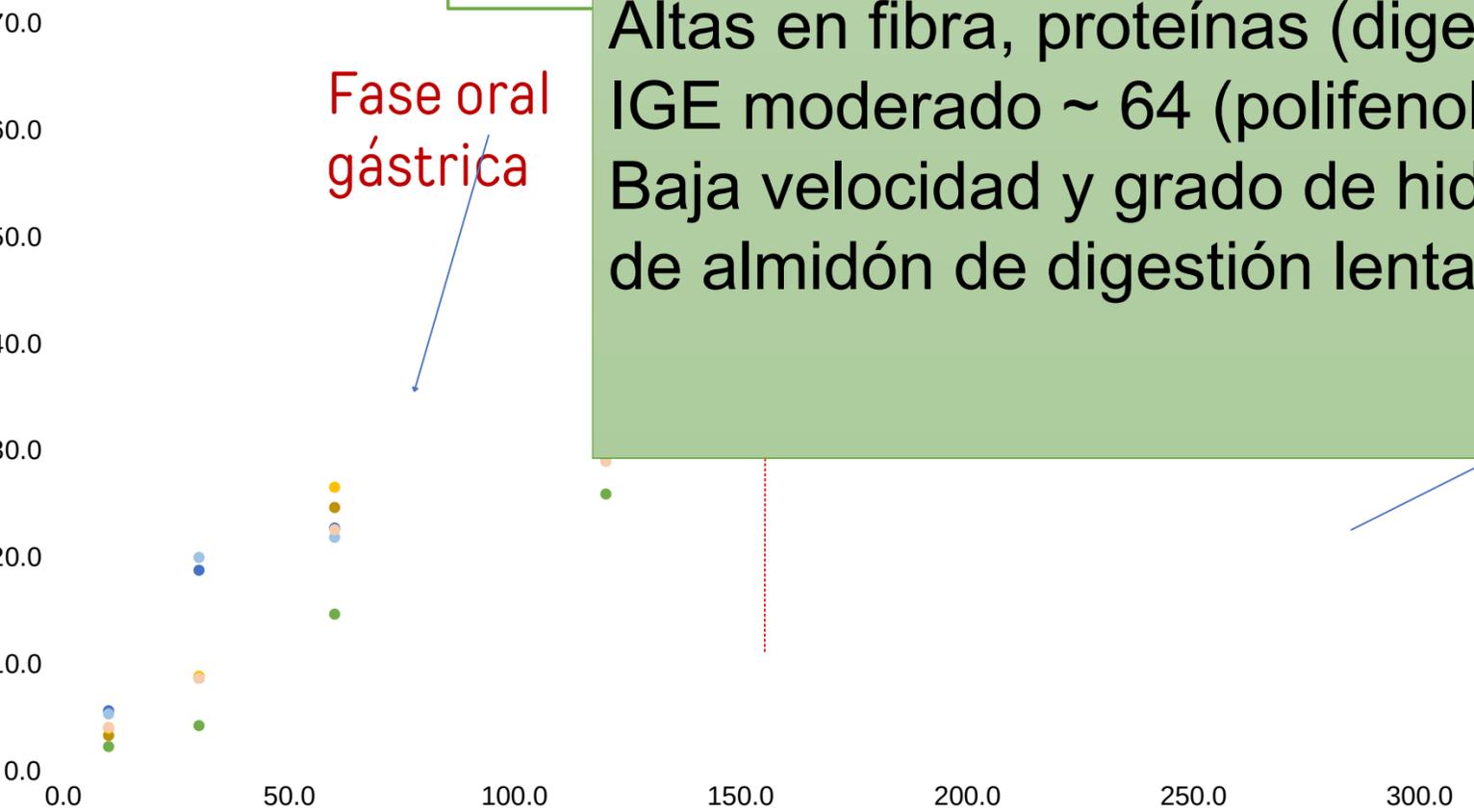


Cinética

Pastas de sorgo:

Altas en fibra, proteínas (digestibilidad) y polifenoles
 IGE moderado ~ 64 (polifenoles)
 Baja velocidad y grado de hidrólisis del almidón y alto contenido de almidón de digestión lenta.

Fase oral gástrica



Muestra	ARD	ALD	AR
	38,4 ^b	16,0 ^d	45,6 ^c
	33,3 ^a	19,4 ^e	47,3 ^c
	69,2 ^e	3,7 ^c	27,1 ^a
	64,7 ^d	0,2 ^a	35,1 ^b
	63,3 ^d	0,2 ^a	36,5 ^b
(PMV)	43,5 ^c	1,4 ^b	55,2 ^d

Pastas sorgo degradan mas rápido (Pregelatinizado + extrusor domestico) pero luego la velocidad disminuye lo que indica su alto contenido de ALD (interacciones con polifenoles y proteínas)

Evaluación Sensorial

Muestra	Firmeza*	Masticabilidad*	Adhesividad*	Apariencia superficial**	Preferencia**
Óptimo PSM	2,8 ^a	3,1 ^a	1,8 ^a	4,4 ^a	3,8 ^a
Óptimo PSB	3,7 ^{ab}	3,3 ^a	2,0 ^a	5,4 ^b	4,5 ^b
Pasta arroz comercial	4,4 ^b	4,4 ^b	3,0 ^b	6,8 ^c	5,8 ^c

Pasta de Sorgo Marrón
Pasta de Sorgo Blanco
Pasta de arroz



Aspecto superficial y preferencia general:
pastas de arroz comerciales tuvieron valores
más altos que las de sorgo

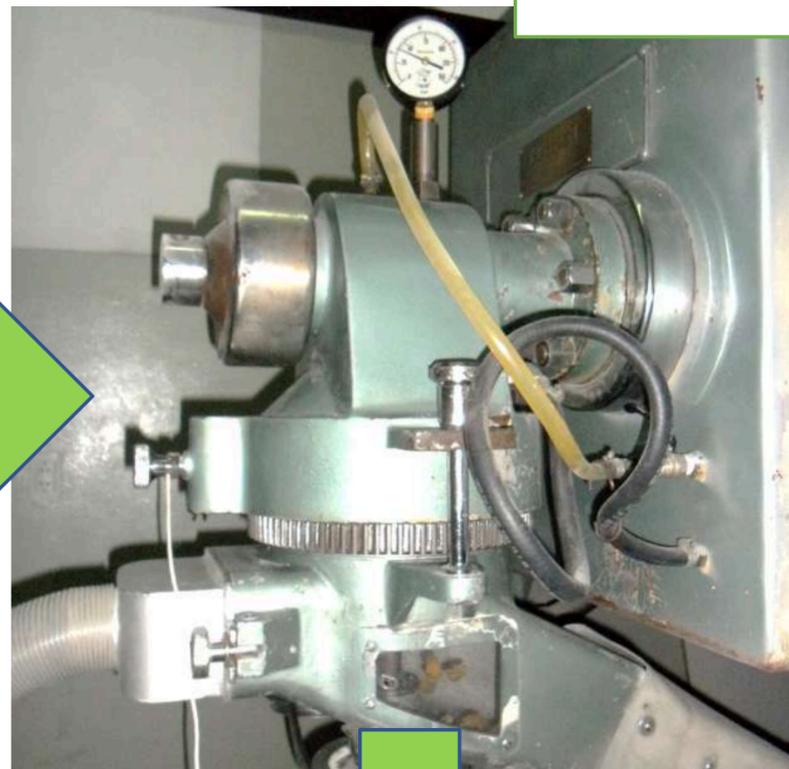
Pasta de sorgo blanco fue más
aceptable que la marrón

↓
Color del sorgo marrón

Extrusión



Amasado



Sin inconvenientes durante los procesos de transporte neumático, hidratación, mezcla o extrusión, que normalmente se utilizan para la producción de pasta de trigo

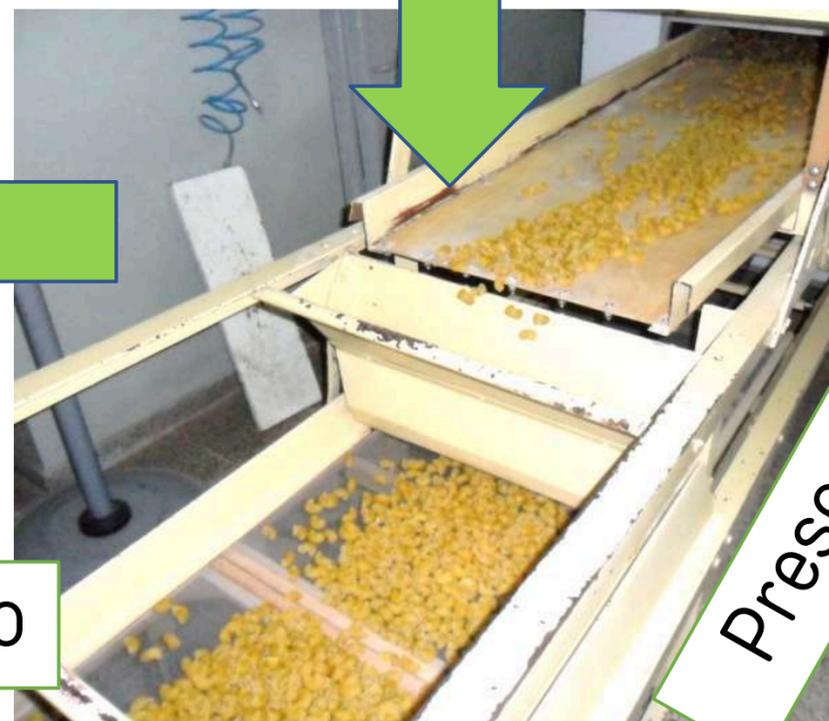
	PSB industrial	Pasta arroz comercial
IH (g/100 g)	1,6	1,6
RC (g/100 g)	5,2	3,2
AA (%)	208	112



PSB

Trigo

Secado



Presecado

Mayor presión de extrusión + proceso de pre-secado y secado

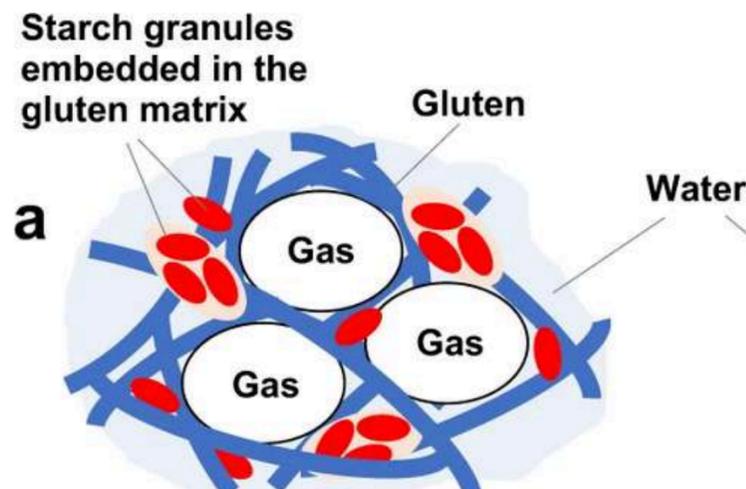
Producto de mejor calidad que a escala laboratorio

Las pastas LG a partir de harina de sorgo proporcionan una alternativa con potencial en el mercado de pastas para los productores industriales sin modificaciones en las líneas productivas

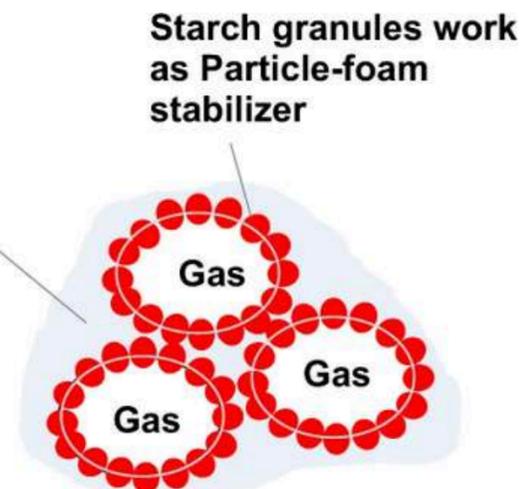


Desarrollo panes libres de gluten

Masa-gluten



Batido LG



Problemas asociados:

Necesidad de reemplazar la funcionalidad de la red de gluten: retener CO₂.



Uso de mezclas de harinas y almidones
Proteínas alternativas
Hidrocoloides, Emulsionantes, Proporción agua

Aspectos nutricionales

Tienen menos proteínas
Suelen tener más azúcares (enmascaran sabores extraños)
Suelen tener más grasa (grasas y aceites para palatabilidad y emulsionantes)
Bajos en fibras (en general)
Menos oferta de productos integrales
Vitaminas y minerales (no obligación de enriquecer harinas)

Estrategia seguida



Analizar la capacidad de harinas con propiedades físico-químicas diferentes en el proceso de producción de panes libres de gluten

Elaboración de panes

Sorgo Blanco (WS)



Acondicionamiento H: 12%

Integral

Pulido 180 s

Molienda Impacto (IM)

Molienda de rodillos y tamización

Ingredientes	Peso (g)
Harina de sorgo	180 (83%)
Harina de arroz	20 (11%)
Harina de Mandioca	10 (5,5%)
Levadura fresca	6
Margarina comercial	14
Agua	200
Sal	
CMC	2
SSL	1
Leudante químico	0,2

Batido

Fermentación

Batido

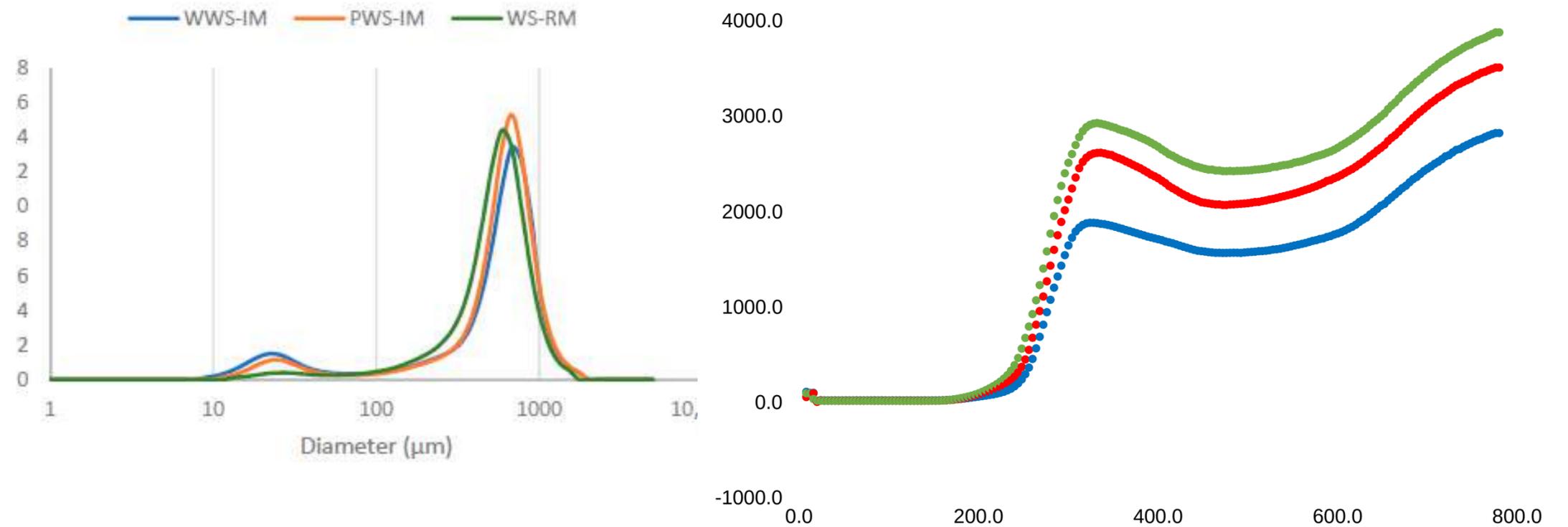
Fermentación en molde

Horneado



Características de las harinas

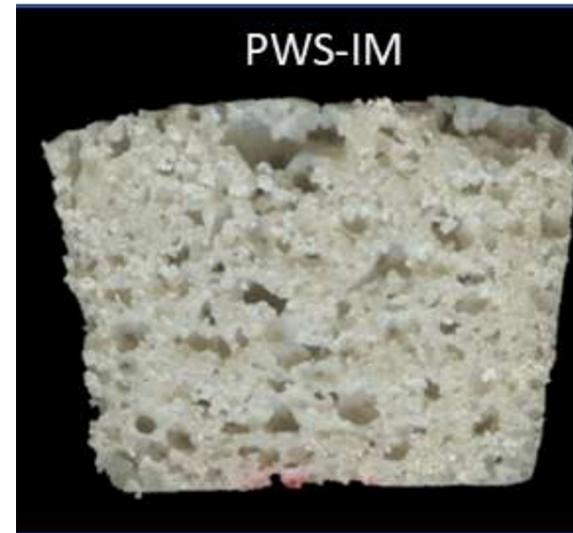
	Rend (%)	Cenizas (%)	L*	D4,3 (µm)	VP (cP)	VF (cP)
Integral por martillo WWS-IM	99	1,43	76	431	924	1966
Pulido 180 s + martillo PWS-IM	72	0,54	88	561	1115	2338
Rodillo + tamización WS-RM	52	0,71	80	468	1821	2988



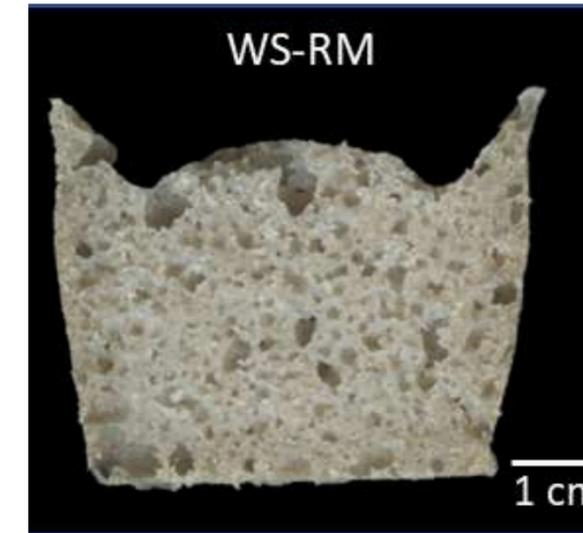
Integral + Impacto



Pulida + Impacto



Rodillos + tamizado



Volumen específico similar $\approx 4,7 \text{ cm}^3/\text{g}$

Firmeza intermedia

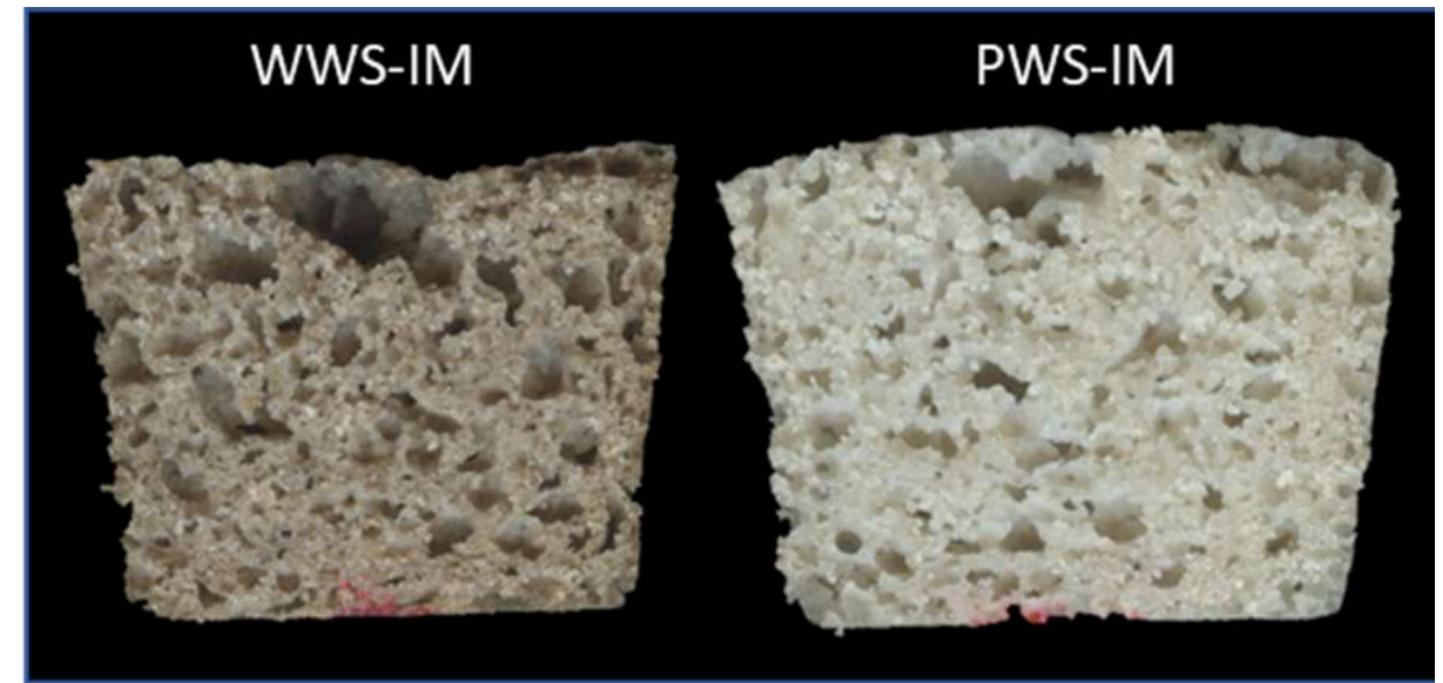
Menos firmes

Mayor firmeza

Mayor % alvéolos

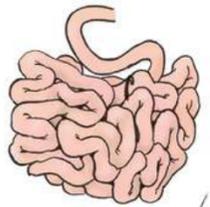
Colapso central

Ensayo de digestión in vitro



Fracciones potencialmente bioaccesibles y dializables de polifenoles y su actividad antioxidante.

Minerales relevantes



		TPC	FRAP	ABTS
		(mg GAE /100 a)	(mg TE /100 a)	(mg TE /100 a)
Extracto harinas	WWS-IM	53,6	72,5	13,7
	PWS-IM	21,3	45,0	7,9
Extracto panes	WWS-IM	41,5	65,0	13,5
	PWS-IM	18,5	32,5	7,8
Digestión in vitro de panes				
Fracción dializable (M1)	WWS-IM	0,43	5,0	18,4
	PWS-IM	0,19	2,5	17,5
Fracción no dializable (M2)	WWS-IM	5,63	47,5	ND
	PWS-IM	7,21	35,0	ND
Fermentación Colónica (M3)	WWS-IM	2,46	27,5	1,23
	PWS-IM	0,84	5,0	1,76

Harina/pan integral: mayor TCP y AA
 TPC disminuyeron durante la digestión
 Actividad antirradicalaria aumentó por la digestión intestinal (despolimerización de los compuestos fenólicos).

Fermentación colónica: aumentó TCP con respecto a la digestión intestinal (microbiota intestinal tuvo efecto positivo en la bioaccesibilidad)

Evaluación del contenido de minerales

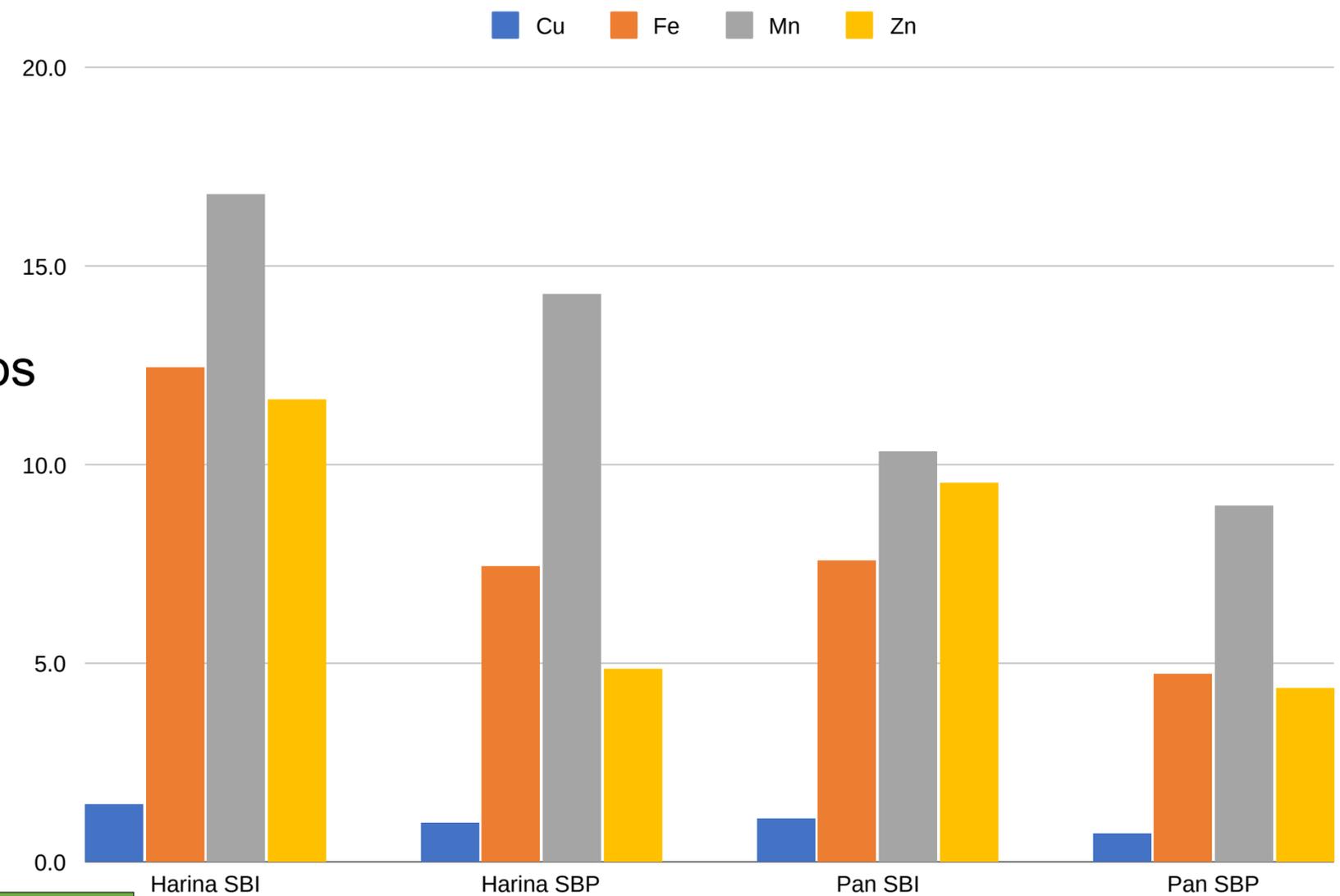
Panes Integrales mayor contenido de Cu, Fe, Mn y Zn

Pande sorgo cubren % significativos de la DDR de los minerales evaluados.

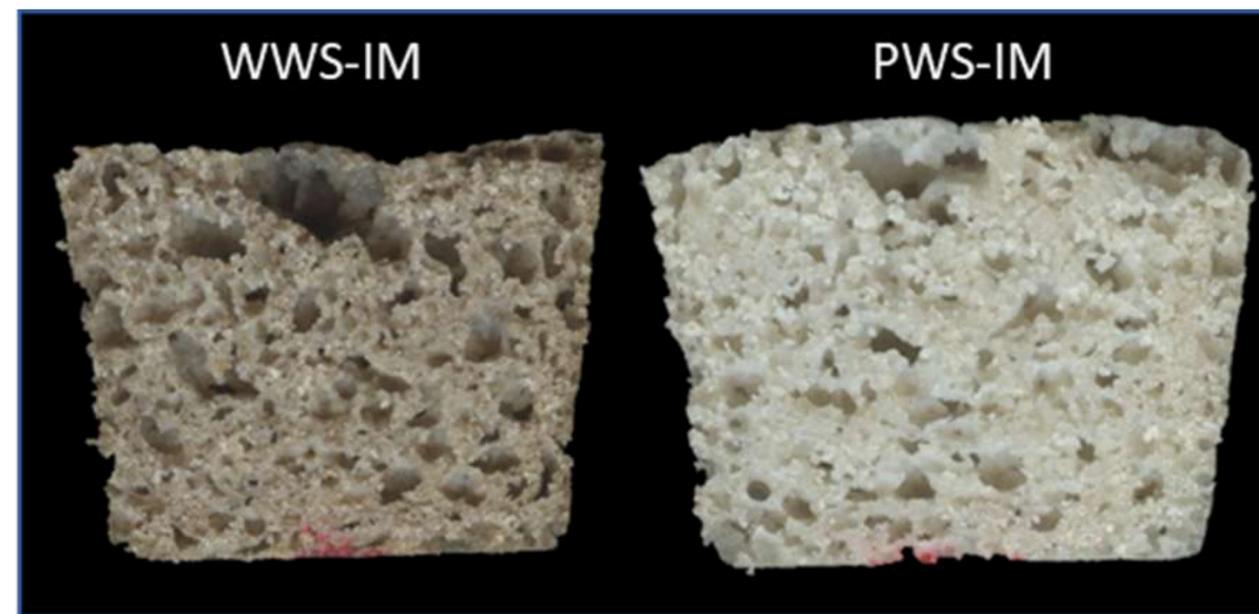
Dializabilidad in vitro de minerales en panes: fracción absorbida en el intestino delgado (dializable, M1)

Muestra	Cu (%)		Fe (%)		Mn (%)	Zn (%)	
WWS-IM	22,3	a	26,5	a	ND	1,9	a
PWS-IM	29,9	b	29,5	a	1,1	2,3	a

Fe y Cu presentaron mayores dializabilidad



Pan de harina integral mayor contenido de minerales después de la digestión *in vitro*, pero su dializabilidad fue menor que para panes elaborados con harinas pulidas



Pan elaborado con harina de sorgo blanco obtenidos por molienda de martillo mostraron calidad aceptable, con altos contenidos polifenoles (poliaminas, ácidos fenólicos y flavonoides) y capacidad antioxidante y minerales

Uso de Harinas integrales menor diazabilidad de minerales

Harinas pulidas son alternativas con alto potencial en el mercado para industrias sin modificaciones en las líneas productivas.

DESARROLLO DE BIZCOCHUELOS LIBRES DE GLUTEN

Batidos: emulsiones aceites/agua con burbujas de aire (fase discontinua)

Azúcar, almidón, proteínas dispersos o disueltos en la fase acuosa (fase continua).

Cantidad y distribución de aire incorporado: volumen y textura.

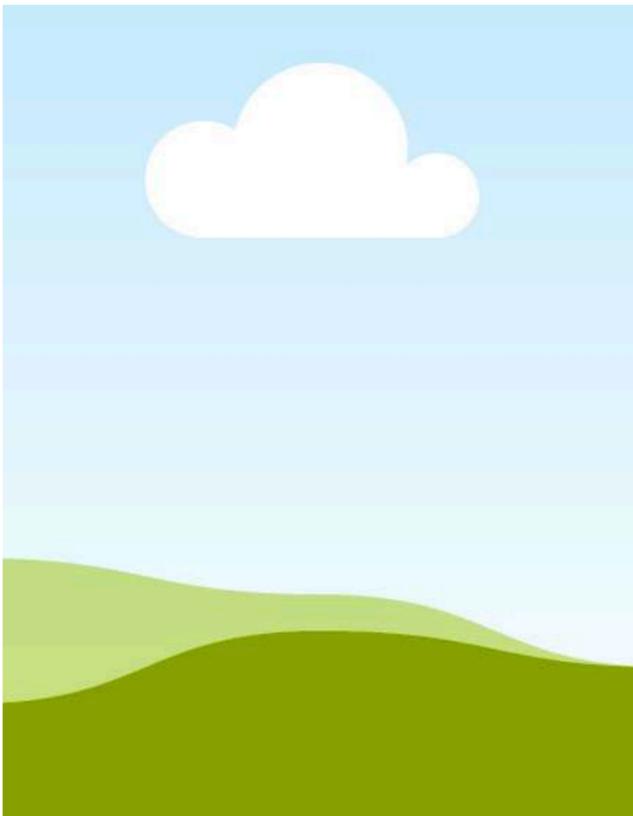
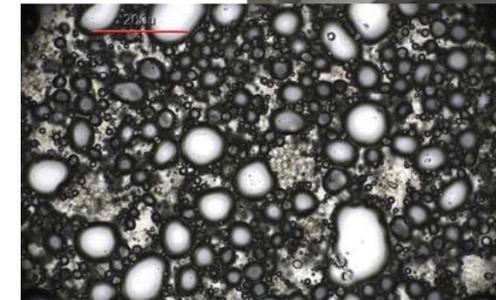
Horneado:

Aumento de volumen

Fase inicial: disminución de la viscosidad

Viscosidad debe mantenerse alta (gelatinización y coagulación)
para minimizar la pérdida de gas (colapso estructura)

Fase avanzada: fuerte aumento de viscosidad y seteo de la estructura



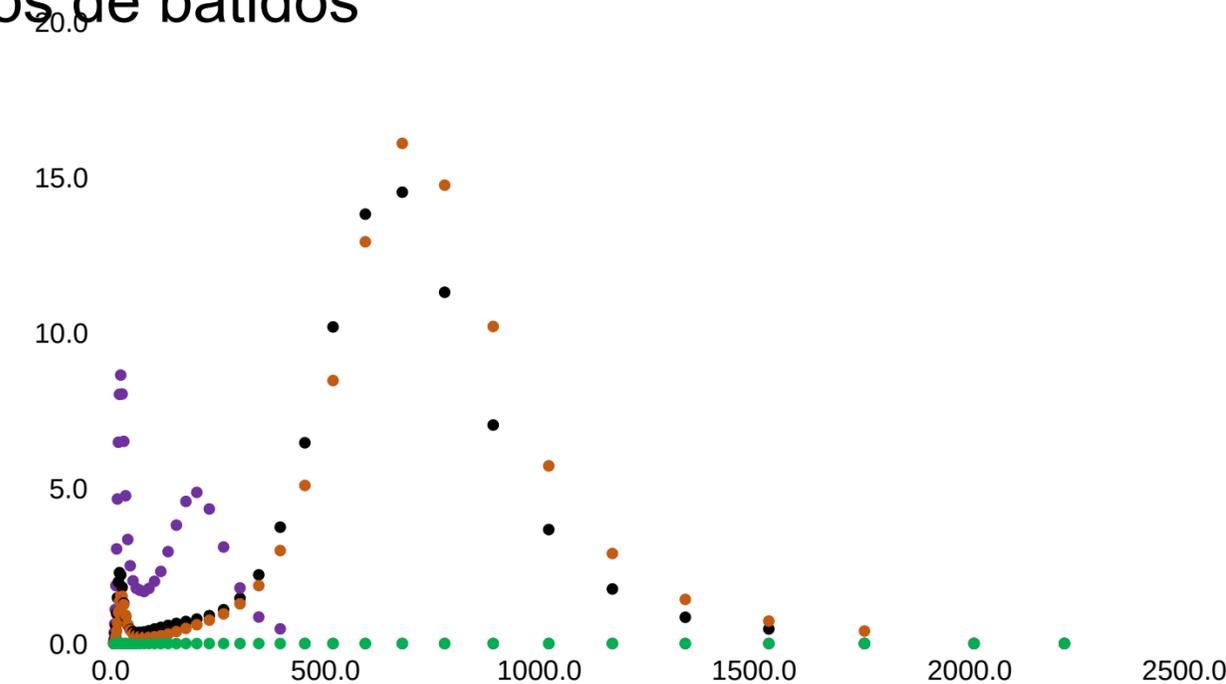
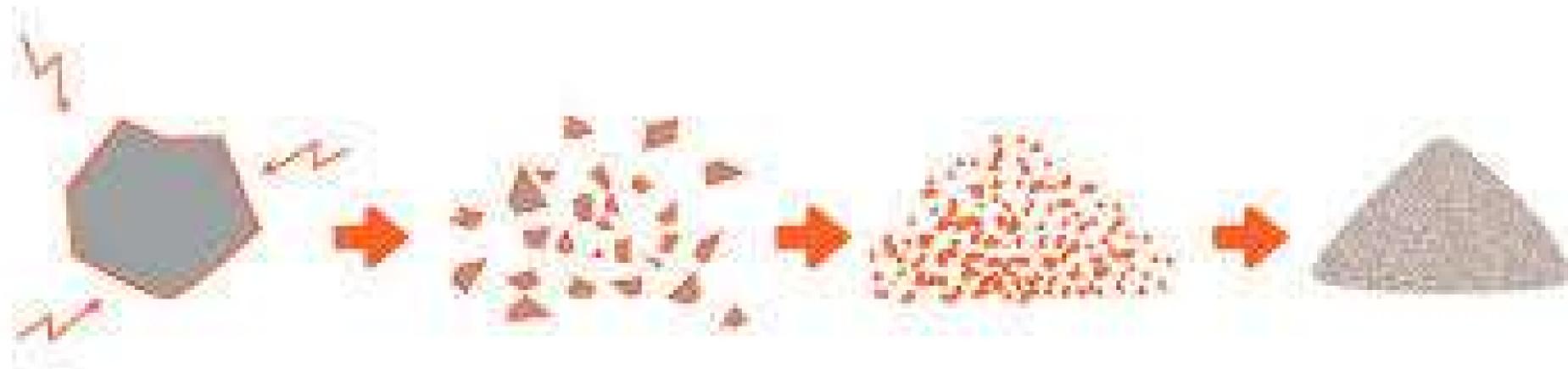
Problemas asociados:

Parámetros a considerar en las harinas: composición, tamaño de partícula, viscosidad (temperatura), almidón dañado (viscosidad), capacidad de retrogradación (amilosa)

Harina “óptima” para la elaboración de productos batidos

Estrategia seguida

Aplicar diferentes tipos de molienda para lograr propiedades particulares que maximicen la calidad de los productos obtenidos de batidos



Sorgo Blanco (WS)



Sorgo marrón (SG)

Acondicionamiento
H: 12%

Pulido 180 s
Rendimiento 70 %

Molienda Impacto Integral (IM)

Pulido + Molienda Impacto (IM)

Pulido (180 s) + Molienda Impacto (IM)
+ Micronización

Pulido (180 s) + Molienda Impacto (IM) +
Micronización + Tamizado (80 µm)

WWS-IM

PWS-IM
PSG-IM

PWS-HI
PSG-HI

PWS-80
PSG-80

Formulación constante y proceso: industrial

Ingredientes	Peso (g)
Harina de sorgo	245
Azúcar	240,5
Leche en Polvo	24
Huevo (líquido)	344
Emulsionante	14
Agua	55

Azúcar, huevo, agua,
emulsionante

Leche en polvo, Harina de
sorgo

Horneado



Características de las harinas

Muestra	Proteínas (%)	Lípidos (%)	Cenizas (%)	ChT (%)	TPF, (mg GAE/100 g)	WRC (%)
WWS-IM	11,94 ± 0,30 ^b	4,57 ± 0,01 ^c	1,45 ± 0,02 ^b	74,12	57,86 ± 4,94 ^b	2,51 ± 0,03 ^a
PWS-IM	11,74 ± 0,21 ^b	3,32 ± 0,13 ^{ab}	0,64 ± 0,02 ^a	76,88	27,29 ± 0,75 ^a	2,51 ± 0,04 ^a
PWS-HI	10,93 ± 0,31 ^b	3,08 ± 0,08 ^a	0,63 ± 0,01 ^a	77,97	31,27 ± 0,46 ^a	2,97 ± 0,08 ^b
PWS-80	8,46 ± 0,21 ^a	3,54 ± 0,13 ^b	0,64 ± 0,01 ^a	80,30	27,91 ± 1,41 ^a	3,17 ± 0,08 ^b
PSG-IM	10,80 ± 0,56 ^b	3,20 ± 0,15 ^a	0,67 ± 0,01 ^a	77,44	211,06 ± 0,20 ^c	2,61 ± 0,03 ^a
PSG-HI	10,57 ± 0,26 ^b	3,69 ± 0,14 ^{ab}	0,68 ± 0,01 ^a	77,68	138,81 ± 1,61 ^b	2,85 ± 0,03 ^b
PSG-80	8,78 ± 0,06 ^a	3,96 ± 0,00 ^b	0,66 ± 0,01 ^a	79,69	94,42 ± 5,56 ^a	2,93 ± 0,02 ^b

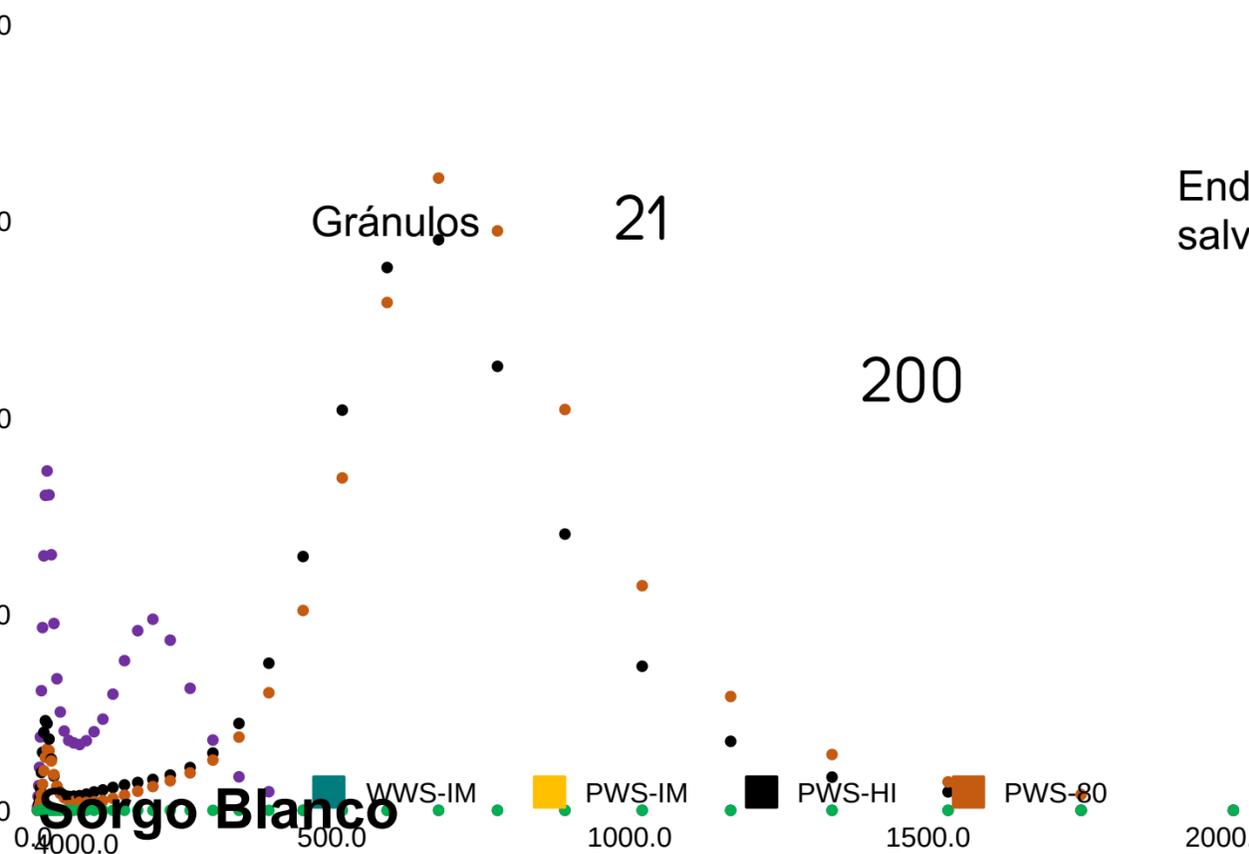
Pulido: disminuyó lípidos, cenizas y polifenoles (eliminación parcial de la fracción de salvado)

Micronización: aumento de AD y retención de agua

Tamización: Reducción proteínas, aumento de AD y retención de agua

Sorgo Blanco

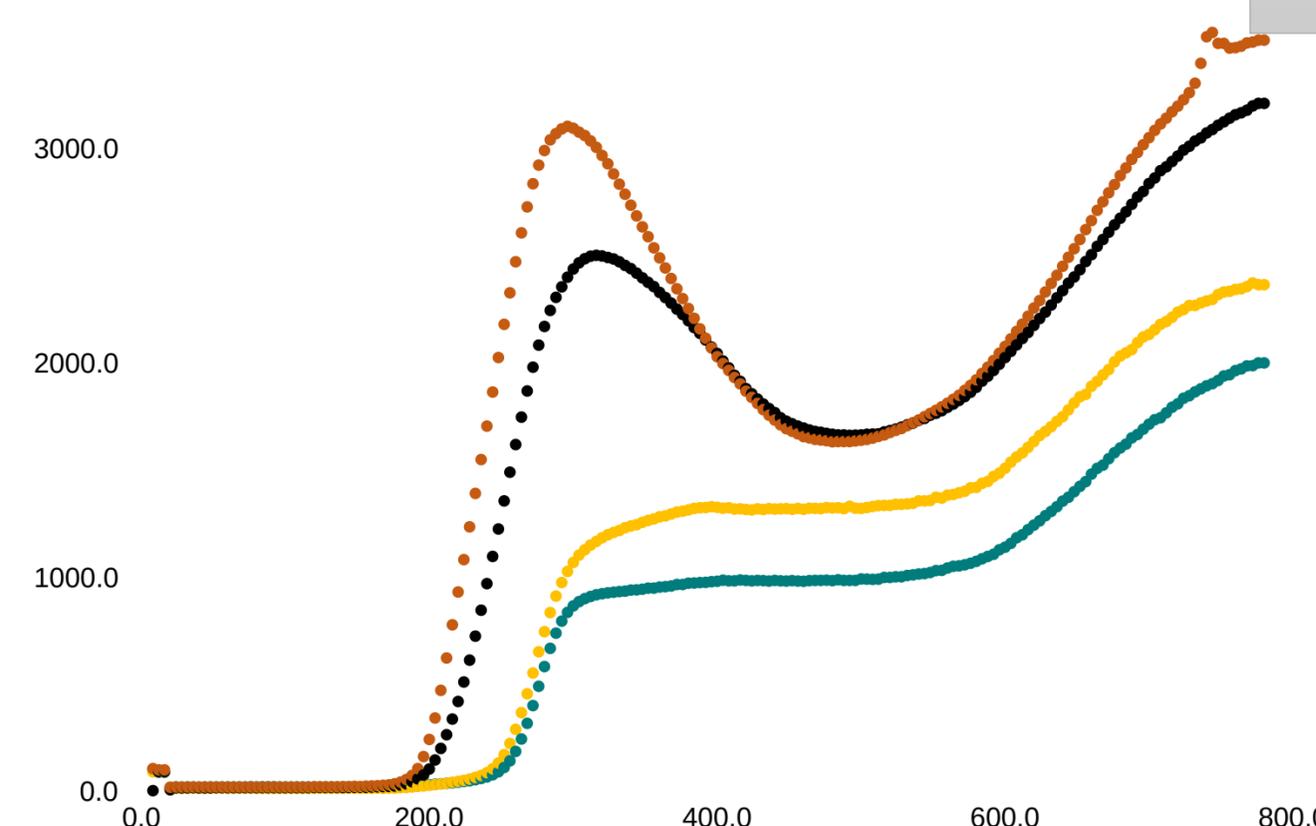
■ WWS-IM ■ B ■ C ■ D



Endospermo y salvado

Muestra	D90 (µm)	D4,3 (µm)	Span
WWS-IM	886,7 ± 1,5 e	524,5 ± 4,6 e	1,56 ± 0,0 ab
PWS-IM	923,1 ± 8,2 d	591,5 ± 12,1 d	1,43 ± 0,0 a
PWS-HI	211,5 ± 8,0 b	79,2 ± 3,6 b	6,26 ± 0,1 e
PWS-80	59,7 ± 5,2 a	32,2 ± 1,7 a	1,9 ± 0,2 b
PSG-IM	445,1 ± 1,4 e	263,3 ± 16,5 e	1,63 ± 0,0 a
PSG-HI	209,4 ± 4,0 b	75,4 ± 0,7 b	7,19 ± 0,2 b
PSG-80	51,8 ± 0,2 a	27,4 ± 0,0 a	1,96 ± 0,0 a

Tamaño de partícula: disminuyó gradualmente con molienda, micronización y tamización



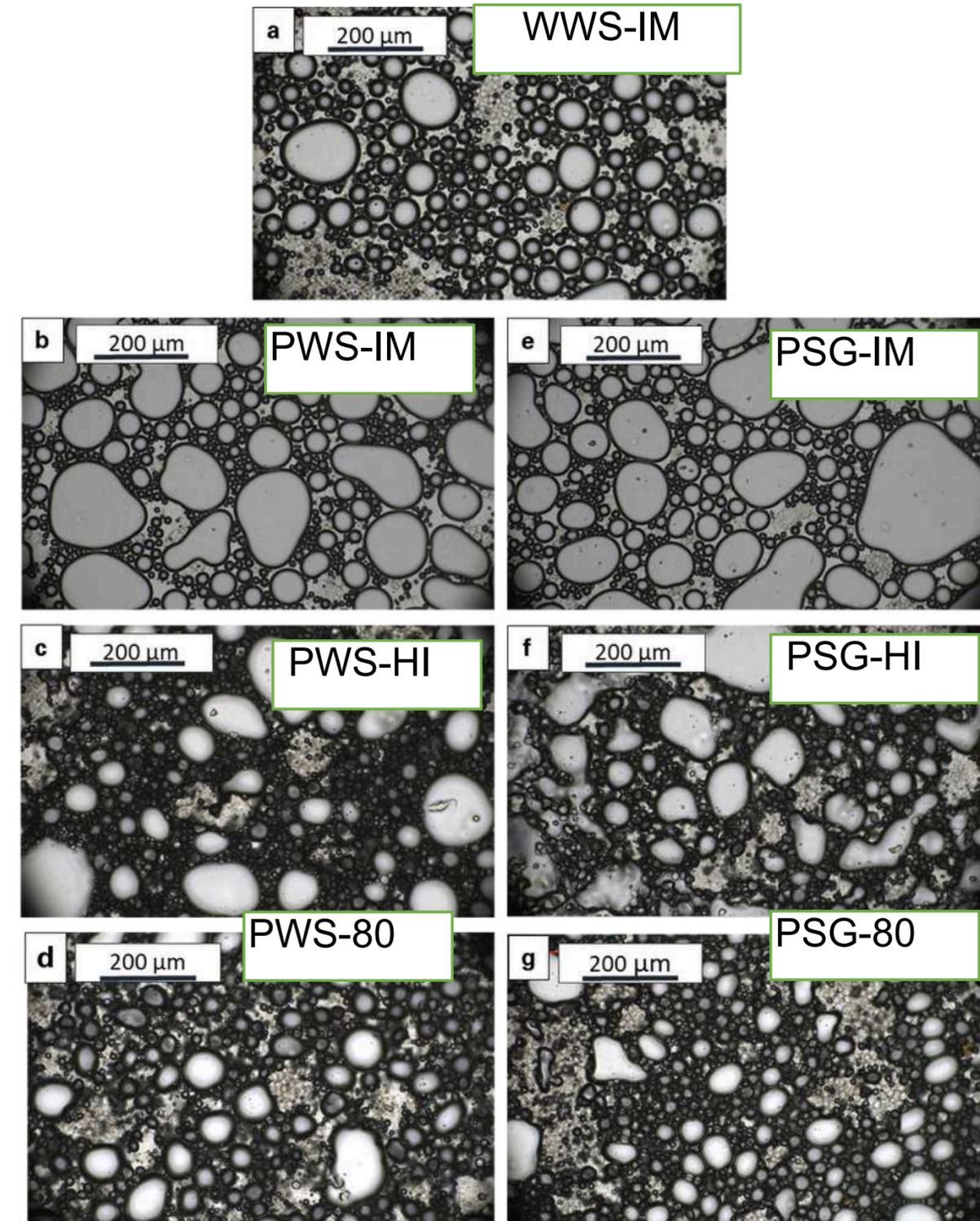
Viscosidad de pico y final: aumentaron gradualmente con procesamiento

Temperatura de pasting: disminuyó con la reducción del tamaño de partícula

Menor tamaño: almidón se hincha más rápido y en mayor medida (superficie y proteínas y estructura que reduce el hinchamiento y ruptura de gránulos)

Muestra	Densidad (g/cm ³)	Viscosidad (cP)	Nº total de burbujas	Área media burbuja (µm ²)
	0,27 ^a	1246 ^a	475 ^a	168 ^b
	0,28 ^a	1610 ^{bc}	462 ^a	274 ^c
	0,34 ^b	1938 ^c	1179 ^c	81 ^a
	0,47 ^c	2633 ^d	579 ^a	86 ^a
	0,27 ^a	1588 ^b	451 ^a	277 ^c
	0,36 ^b	1780 ^{bc}	1070 ^c	90 ^a
	0,46 ^c	3908 ^e	762 ^b	116 ^a

Reducción del tamaño de las partículas
Aumento gradual de densidad y viscosidad
Burbujas más pequeñas y distribución de tamaño homogénea (estables)



5 jueces entrenados (discusión) – poca muestra

Atributos:

- Apariencia
- Textura
- Sabor
- Diferencias sensoriales

Grupo focal



Observaciones

Aroma dulce y agradable.

Diferencias de color entre las muestras

Harinas de **mayor tamaño de partícula: Textura arenosa**

Harinas de tamaño de partícula **más pequeño:**

Productos con cortezas y migas más ligeras (aireadas) (no salvado) y menos dulces

Sensación de astringencia para todos los bizcochuelos de sorgo marrón (a pesar de pulido: taninos)



Las modificaciones en los procesos de obtención de harinas de sorgo (molienda, micronización y tamización) generan fracciones con composición y propiedades muy variadas



Poseen comportamiento diferencial en los procesos de producción de panificados tipos batidos.

Sorgo blanco mejor opción sensorialmente que el marrón pulido

Alternativas con alto potencial en el mercado para industrias sin modificaciones en las líneas productivas.



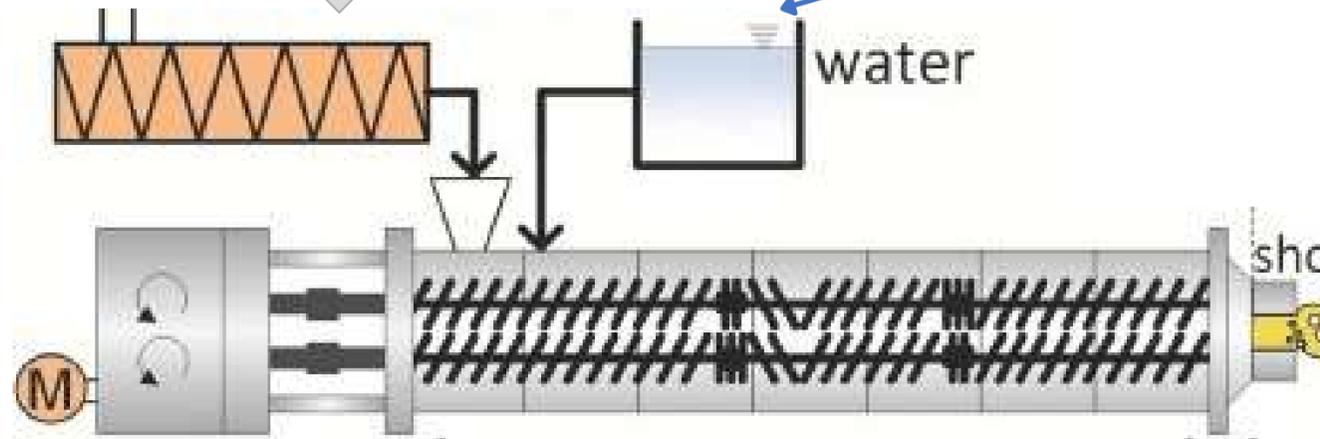
Refuncionalización de harinas

Extrusión reactiva



Sorgo marrón

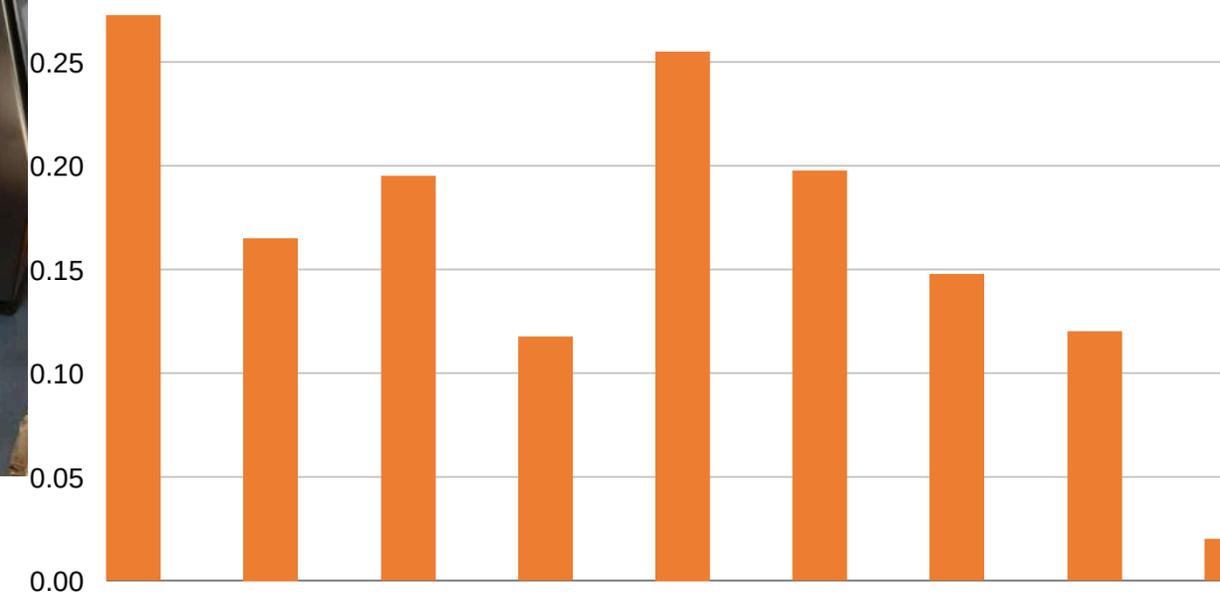
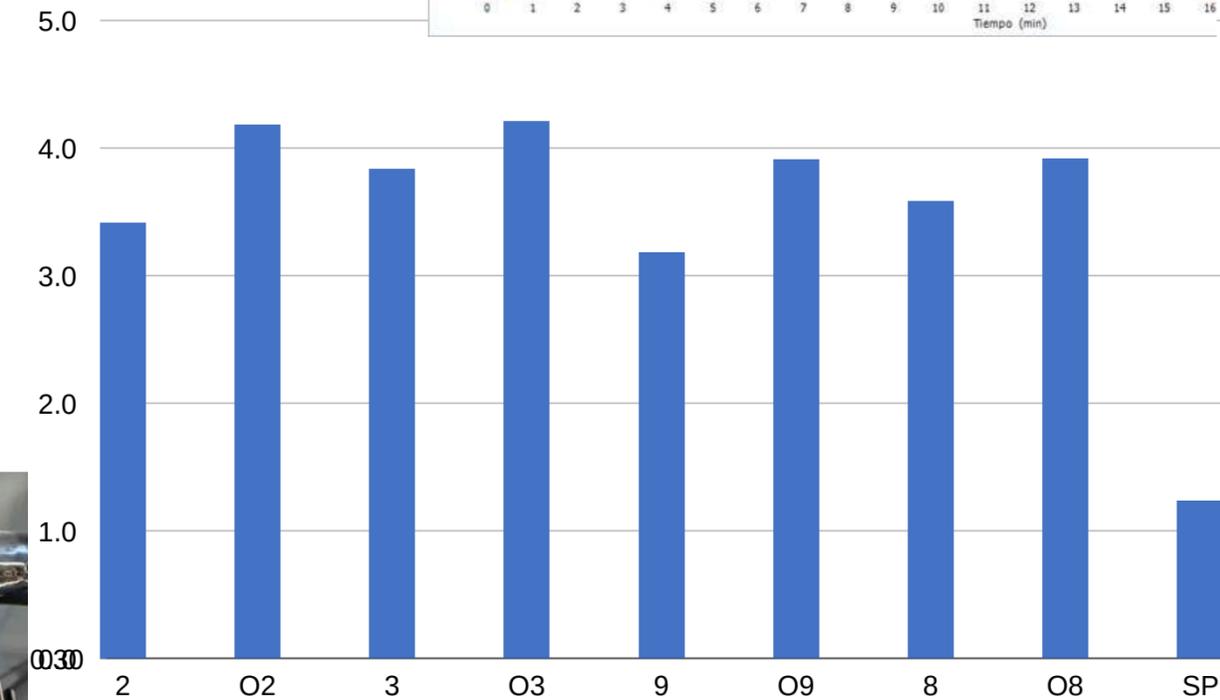
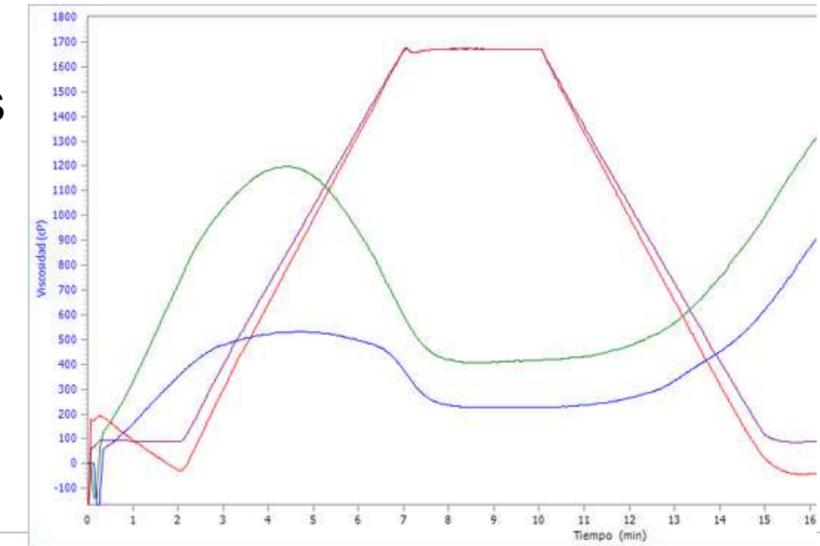
Molienda Impacto
Pulido + Molienda Impacto



Td: 130-160 °C
Humedad: 20-30 %
SME (Wh.kg-1) 120-300



Harinas refuncionalizadas



El procesamiento de harinas afectó notablemente:

Propiedades tecnológicas

Composición: proteínas, salvado, polifenoles

Distribución del tamaño de partículas

Molienda: Acondicionamiento a **humedad media** $\approx 12\%$ para los dos tipos de molienda
Pulido por 180 s de los granos destinados a molienda de impacto

Harinas Estabilidades aceptables durante los **150 días de almacenamiento.**
Mejorar manejo previo de granos (identificar y reducir el nivel de contaminación microbiológica)

Pastas GF: buenas características tecnológicas y sensoriales y nutricionales

Panificados GF: Harinas de sorgo blanco presentaron superior **aceptación sensorial.**

Sorgos coloreados necesario optimizar procesos pre-molienda: separación más eficiente del salvado.

Almidón: separación a escala piloto con equipos fácilmente escalables obteniéndose resultados muy buenos.
Modificaciones químicas y físicas mediante métodos simples y rápidos: propiedades variadas

Valorización del cultivos

Triticale
Sorgo
Quinoa

Valorización de subproductos de la molienda de otros cereales

Trigo
Maíz

Tratamientos físicos de granos



Ozonización
Extrusión
Lecho fluidizado
Calentamiento infrarrojo



Vida útil
Propiedades
fisicoquímicas



**Incorporación de harina en
alimentos**

CICYTAC 2024



IX CONGRESO INTERNACIONAL
DE **CIENCIA Y TECNOLOGÍA**
DE LOS **ALIMENTOS**

16 al 18 de Octubre de 2024 | Córdoba, Argentina

<https://cicytac.cba.gov.ar/>

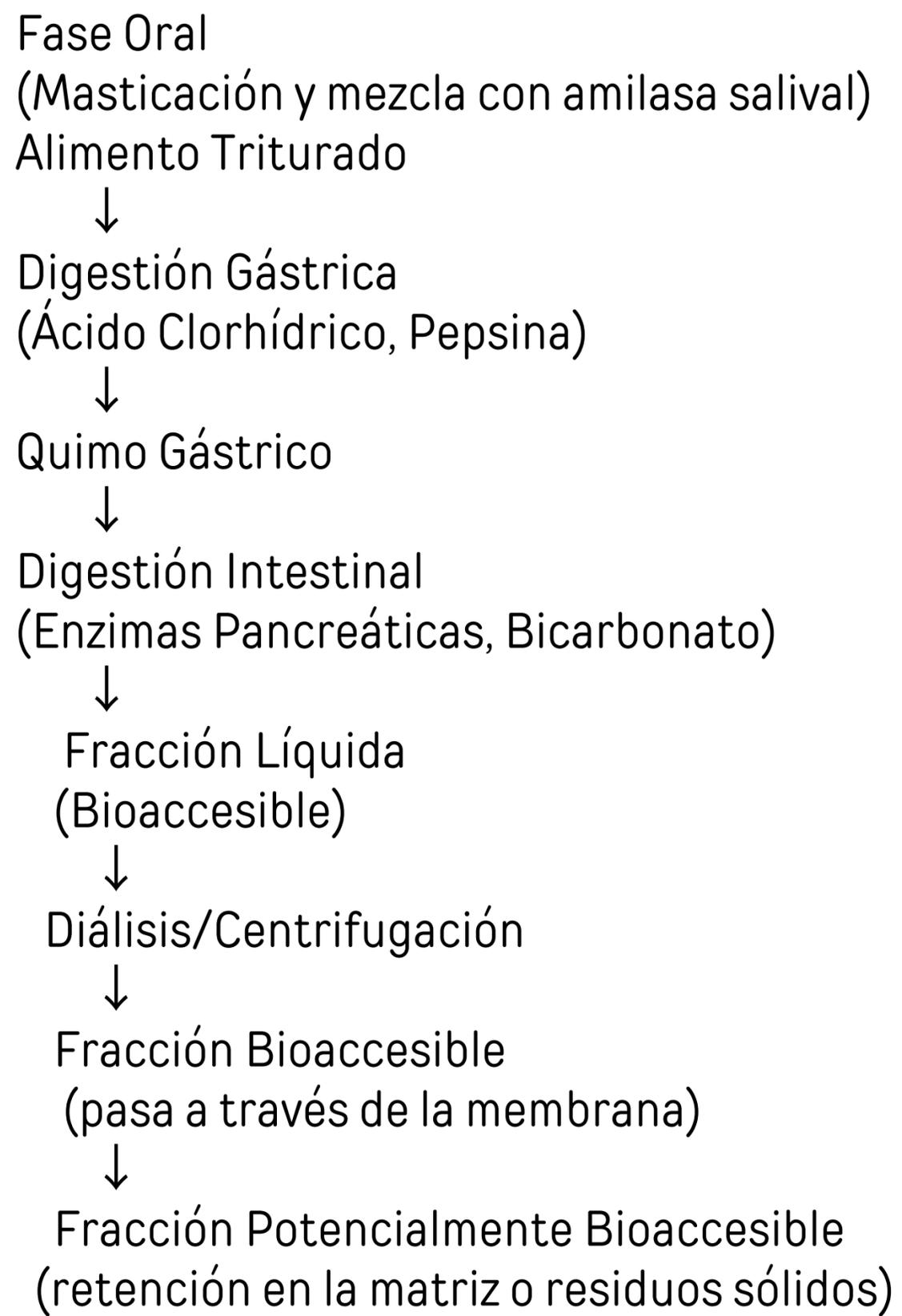
Dr. Pablo Palavecino

Dra. María Isabel Curti

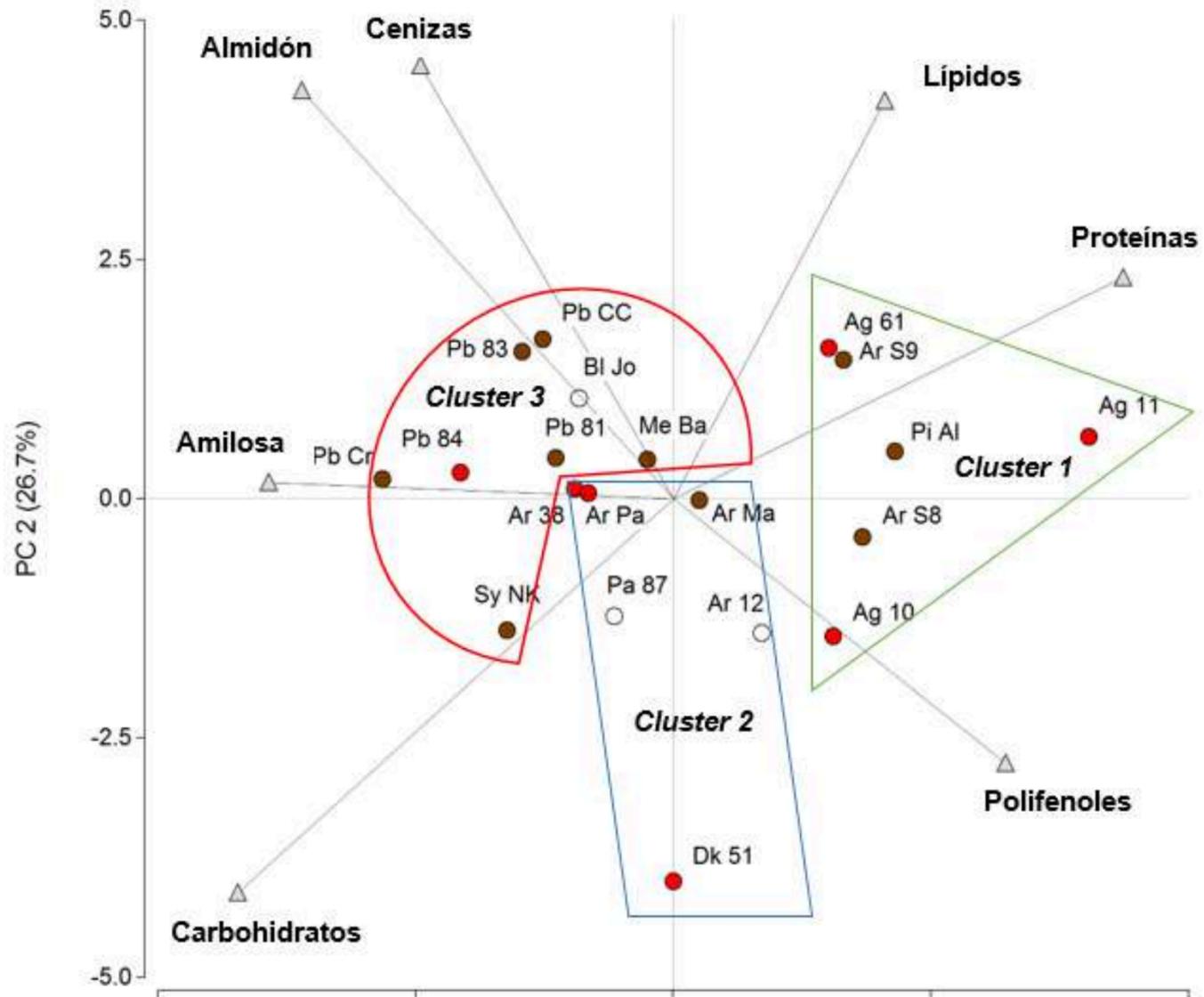


thanks
mercíBeaucoup Dank
grazas
grazieMille
GRACIAS
gracias
esker gràcies





Harinas de 20 variedades comerciales de alto rendimiento



Las harinas mostraron una gran variabilidad en sus propiedades fisicoquímicas



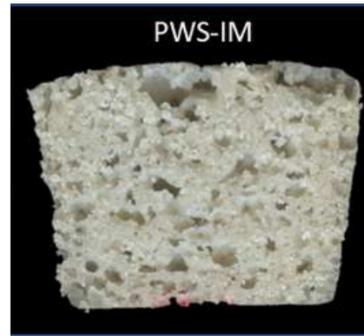
Selección de harina adecuada según su uso requiere estudios mas exhaustivos

Cluster	Ash (%)	Fat (%)	Protein (%)	TC (%)	Starch (%)	AM (%)	WRC	PV (mPa/s)	BD (mPa/s)	FV (mPa/s)	SB (mPa/s)	ΔH (J/g)	WI
1	0.59 ^a	4.50 ^b	14.96 ^b	79.96 ^a	78.08 ^a	25.38 ^a	2.89 ^b	3139 ^a	1422 ^a	3243 ^a	1525 ^a	6.91 ^a	79.6 ^a
2	0.50 ^a	2.30 ^a	11.95 ^a	85.25 ^b	77.50 ^a	26.22 ^a	2.76 ^b	3625 ^a	1629 ^a	3735 ^b	1584 ^a	7.02 ^{ab}	83.6 ^b
3	0.83 ^b	3.88 ^a	10.52 ^a	84.77 ^b	82.82 ^b	27.63 ^b	2.55 ^a	4304 ^b	2348 ^b	3540 ^{ab}	1739 ^b	7.79 ^b	82.8 ^b

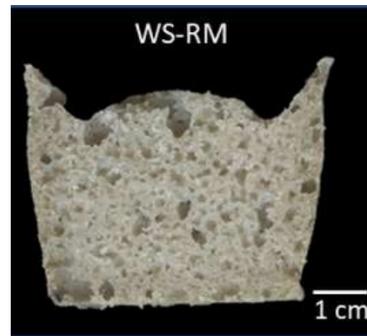
PANES



Sorgo blanco integral



Sorgo blanco pulido y molido por impacto



Sorgo blanco molido por rodillos y tamizado

BIZCOCHUELOS

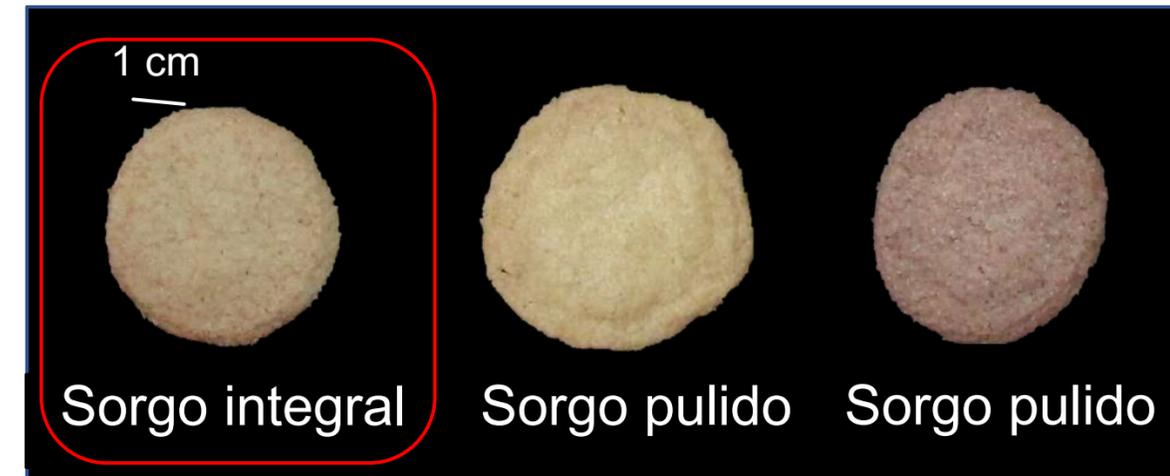


Harinas con menor tamaño de partículas obtenidas por micronización y tamizado (80 μ m)

GALLETITAS

Sorgo blanco y arroz

Sorgo marrón y arroz



Sorgo integral

Sorgo pulido

Sorgo pulido

Mejores características sensoriales y tecnológicas

Mohos y levaduras (UFC/g)				
Muestras	Periodo almacenamiento			
	0 (días)		150 (días)	
WWS-IM	25	a	25	a
PWS-IM	0	a	132,5	b
WSG-IM	95	a	1150	b
PSG-IM	0	a	25	b
WS-RM	440	a	775	b
SG-RM	147,5	a	4200	b

Coliformes Totales (UFC/g)				
Muestras	Periodo almacenamiento			
	0 (días)		150 (días)	
WWS-IM	204500	b	1950	a
PWS-IM	28000	b	92,5	a
WSG-IM	27250	b	475	a
PSG-IM	11250	b	10	a
WS-RM	315000	b	17500	a
SG-RM	31000	b	45	a

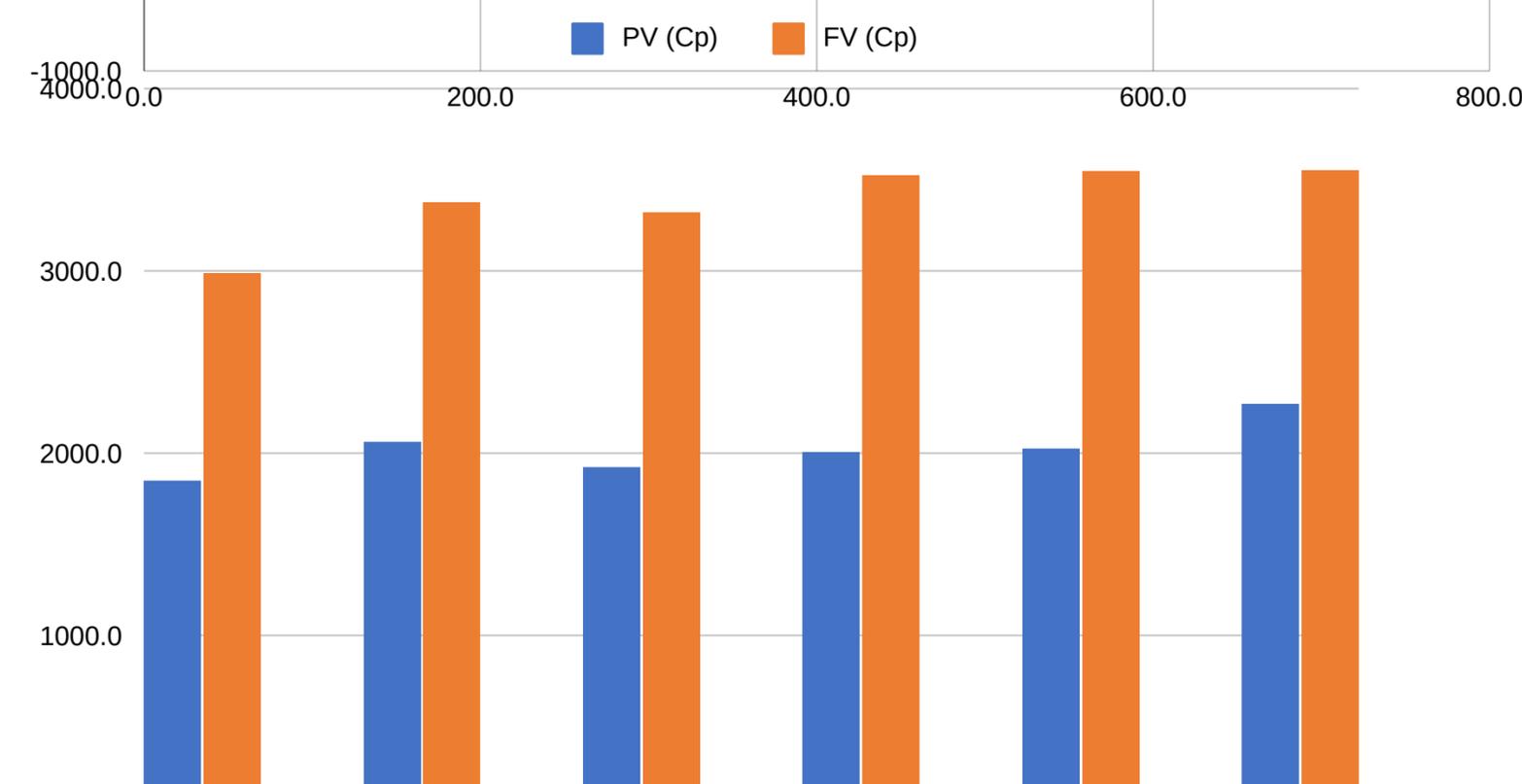
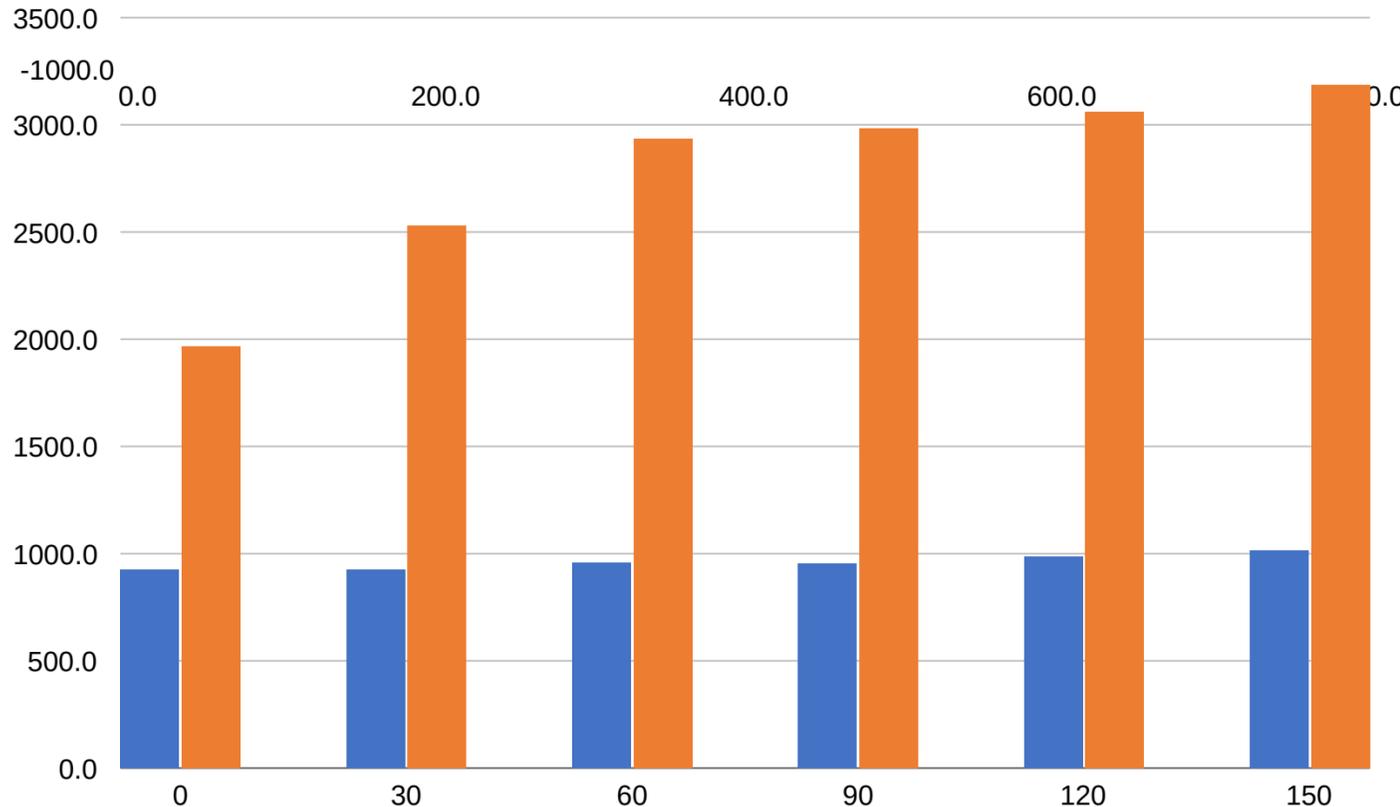
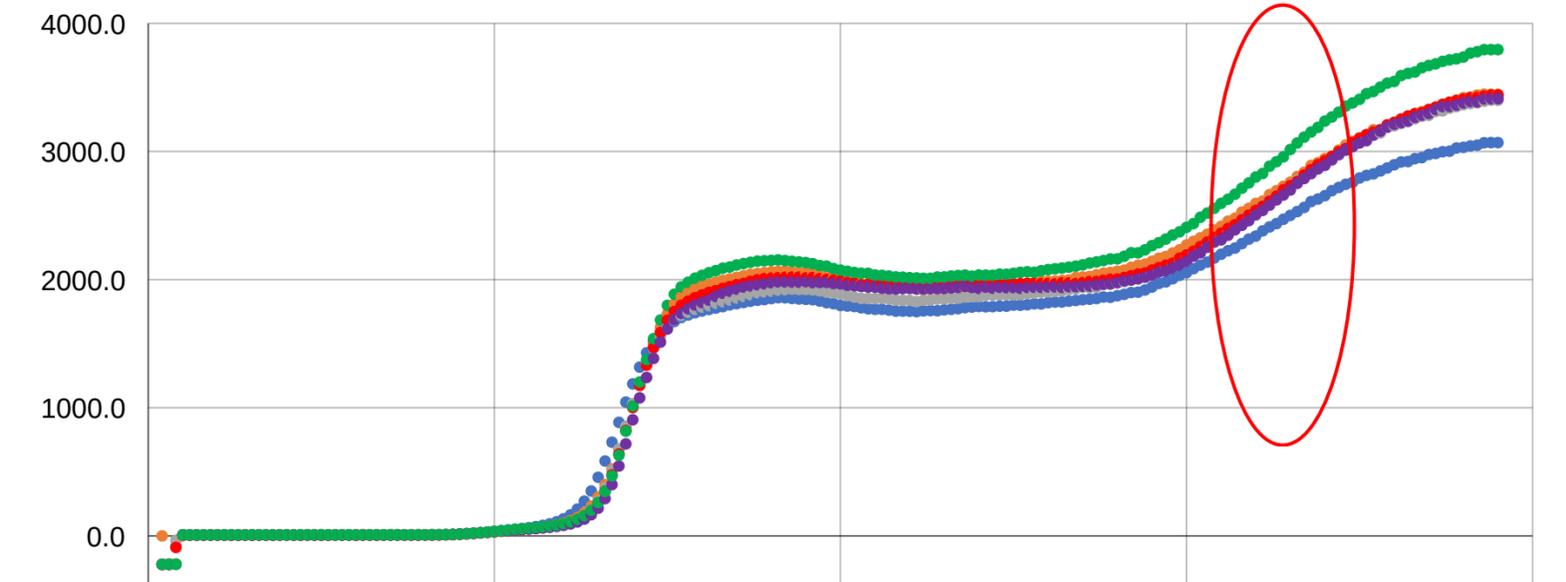
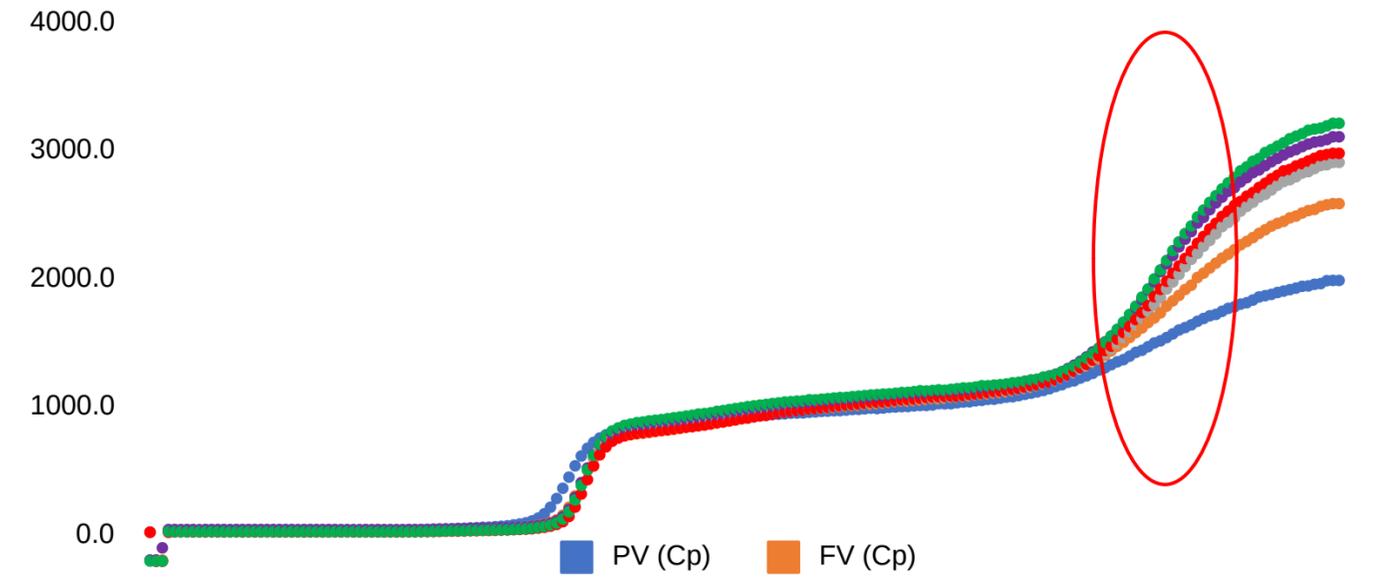
Aerobios mesófilos (UFC/g)				
Muestras	Periodo almacenamiento			
	0 (días)		150 (días)	
WWS-IM	237500	b	4100	a
PWS-IM	36700	b	885	a
WSG-IM	152500	b	1750	a
SG-IM	14250	b	215	a
WS-RM	37,5	a	4050	b
SG-RM	87500	b	2400	a

CAA (harina de trigo)
 Mohos y levaduras: 10^3 UFC/g
 Aerobios mesófilos: 10^2 UFC/g
 Coliformes Totales: 10^5 UFC/g

Molienda de Impacto

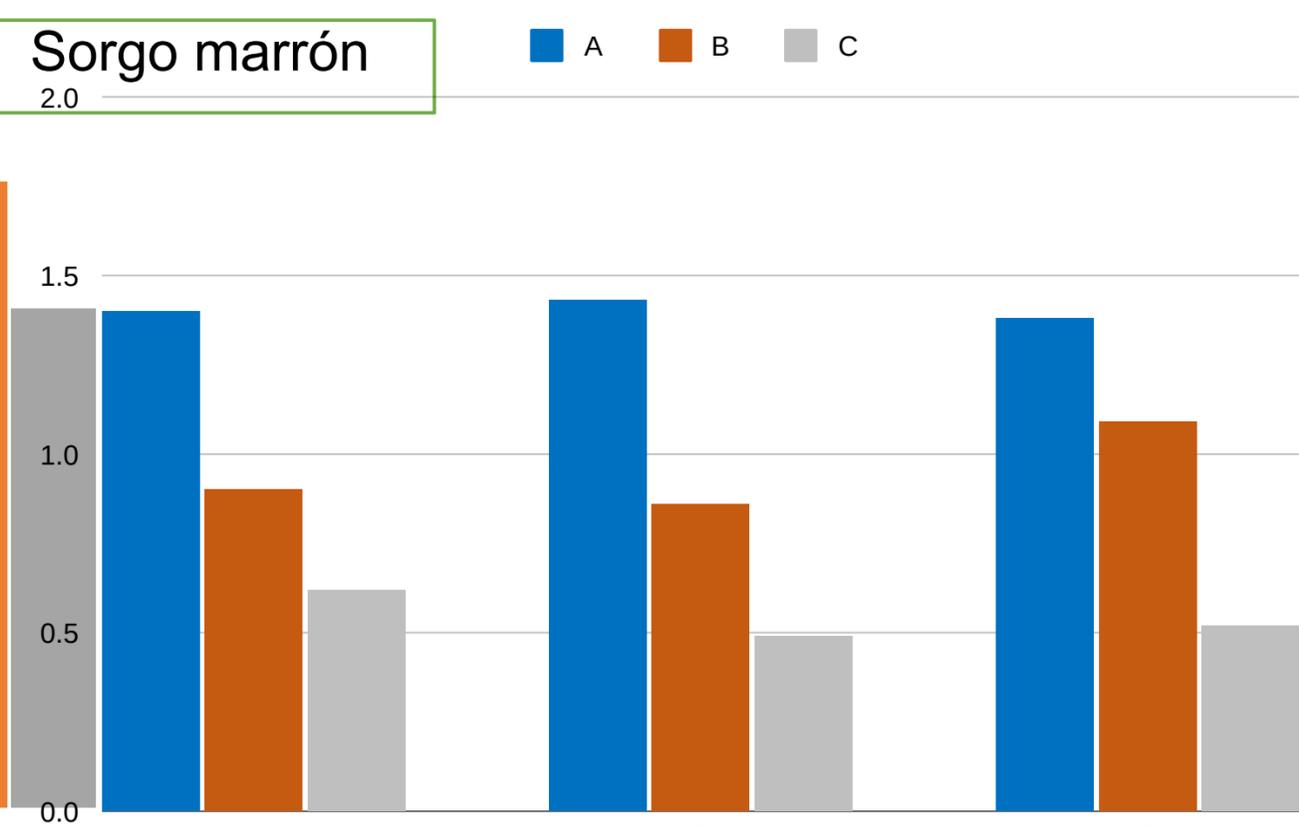
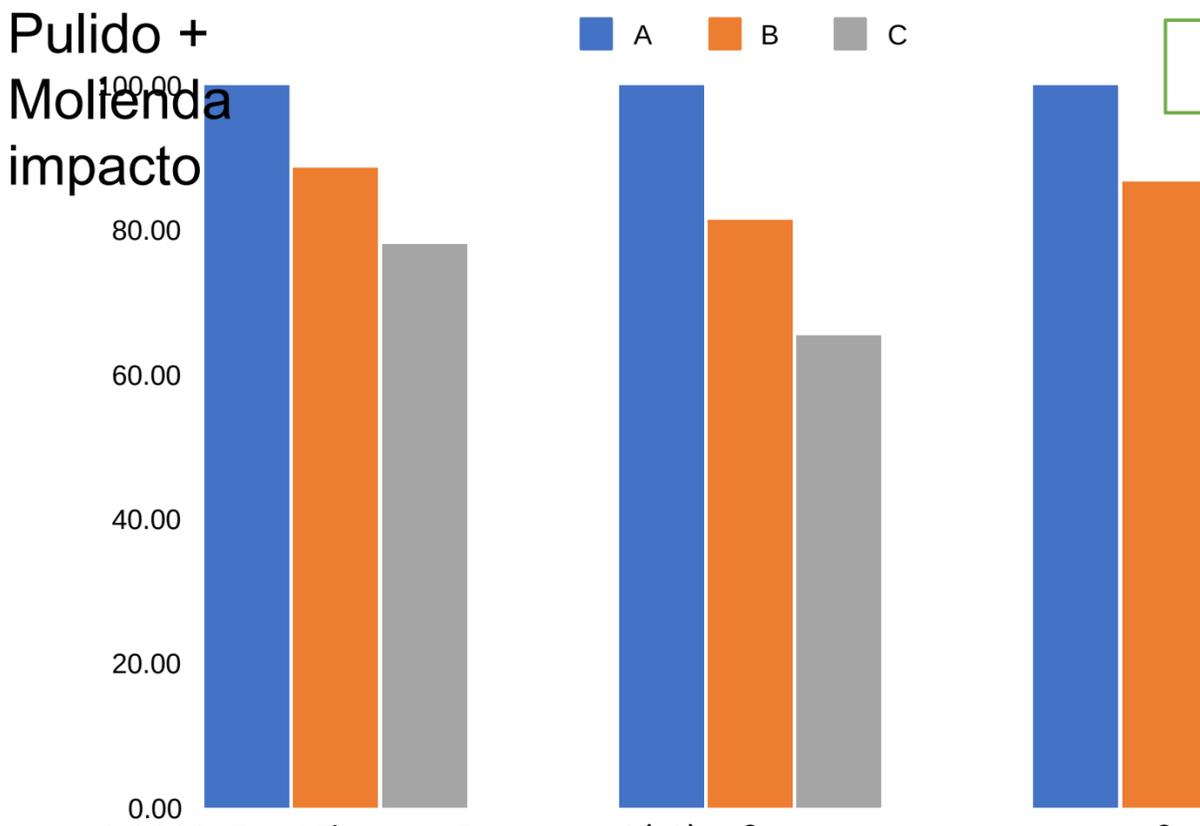
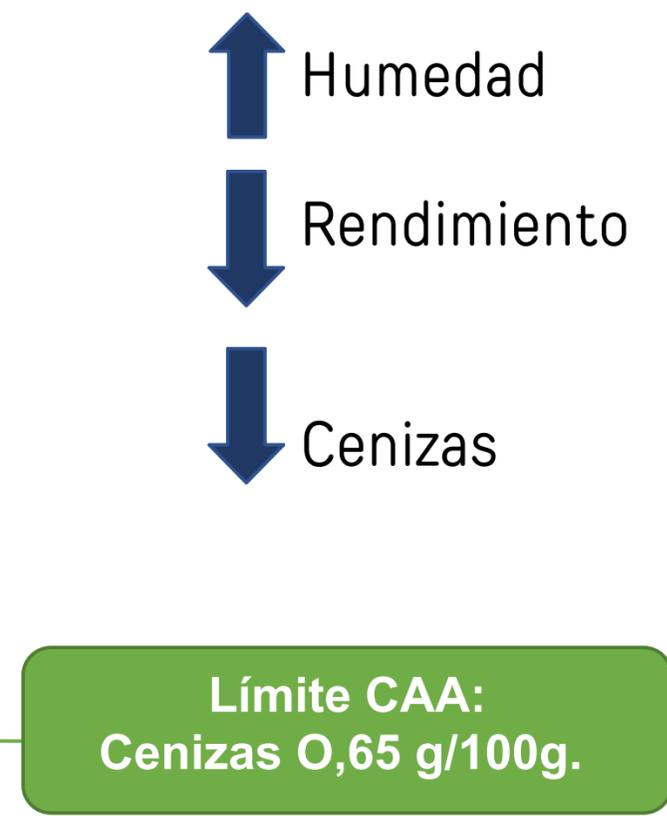
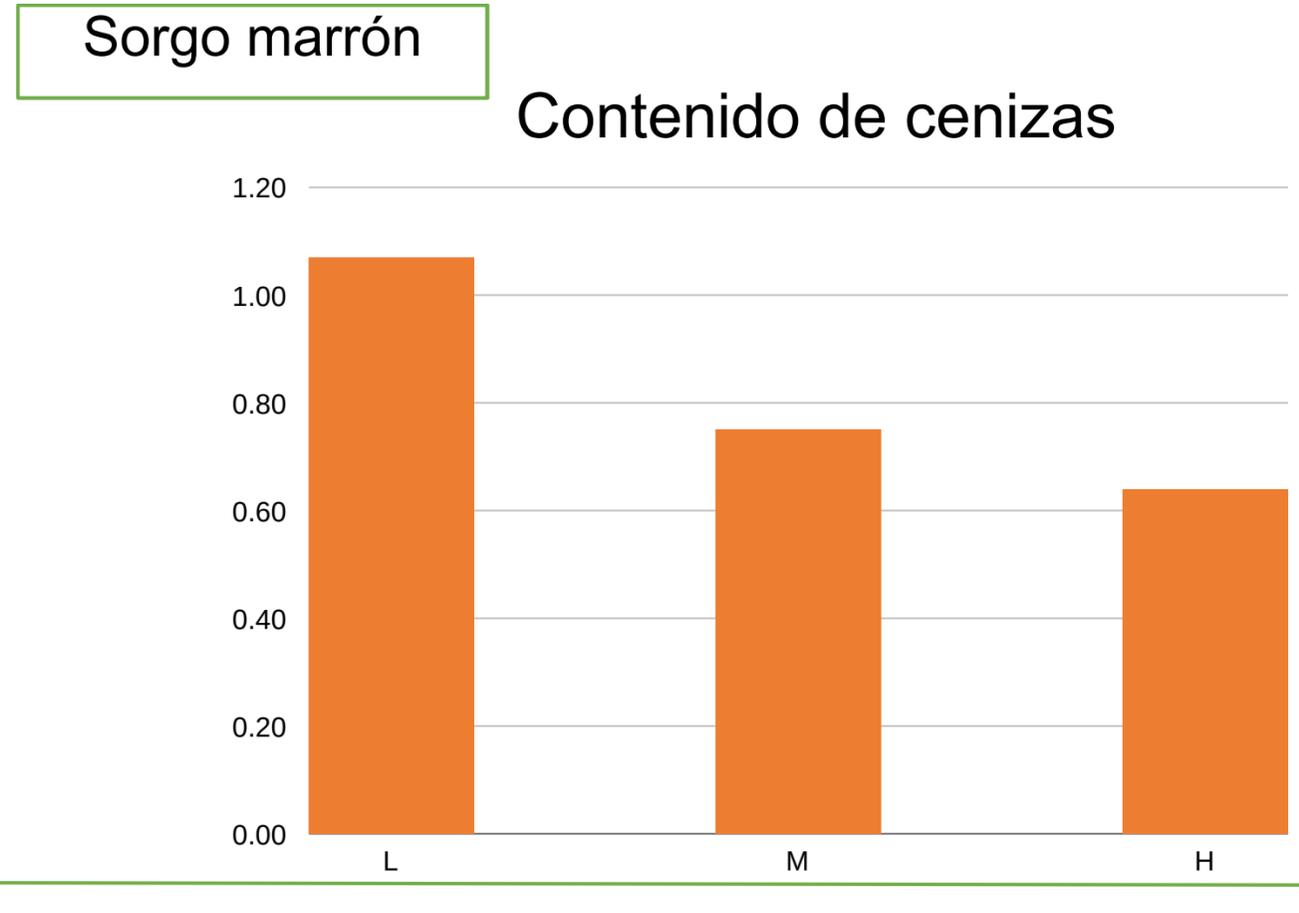
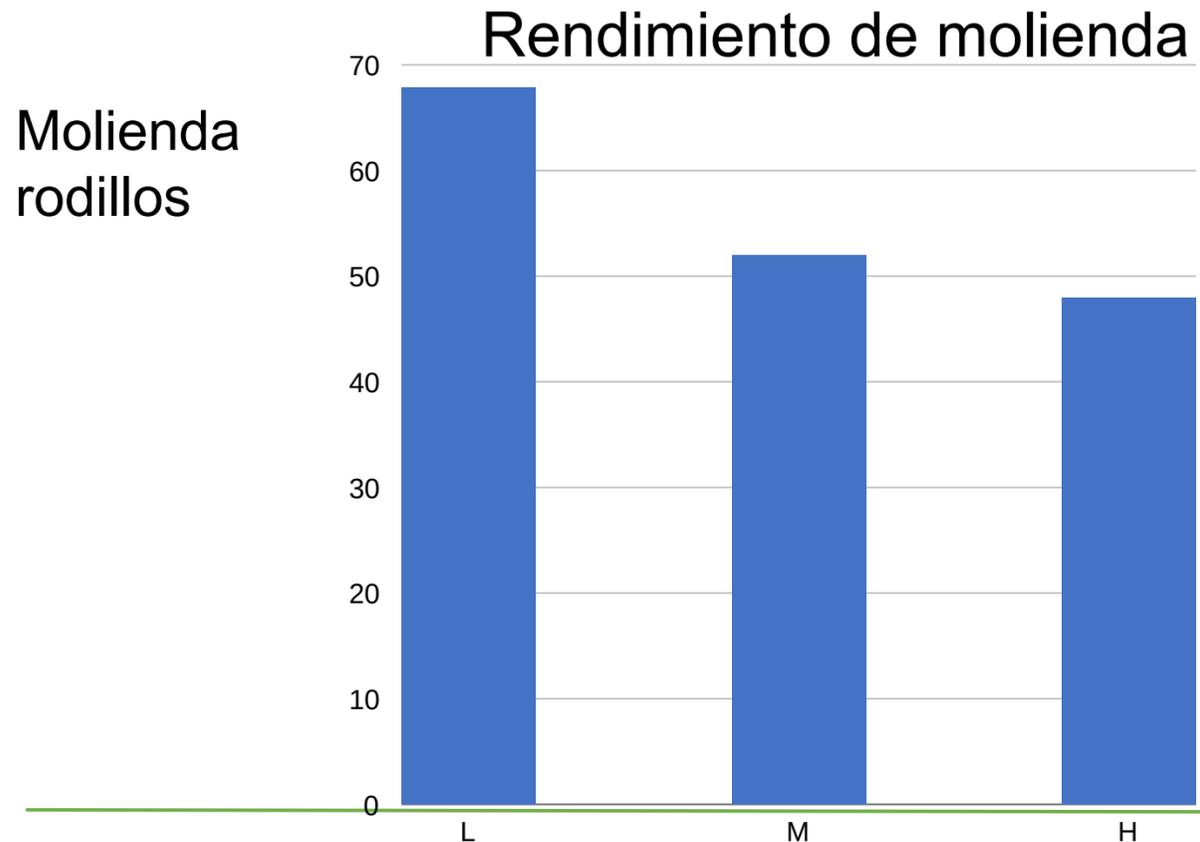
Sorgo blanco

Molienda de Rodillos



Aumento de los perfiles de viscosidad con el tiempo de almacenamiento, especialmente en muestras integrales

Rendimiento de molienda y cenizas



HPLC-DAD-ESI-MS/MS

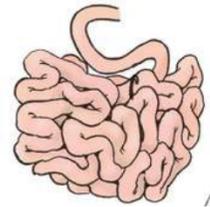
Nº	Tr (min)	Nombre del Compuesto	Chemical Formula	Retention Time (min)	Retention Time (min)	Retention Time (min)	Retention Time (min)
			$C_{25}H_{30}N_3O_6$	468,2107	468,2140	7,1	332, 306
			$C_{25}H_{30}N_3O_6$	468,2210	468,2140	7,4	332, 306
1	12,1	Dicafeoil espermidina I	$C_{26}H_{32}N_3O_6$	482,2274	482,2297	4,7	332, 306
2	12,5	Dicafeoil espermidina II	$C_{12}H_{13}O_6$	253,0736	253,0718	-7,1	179, 161
3	12,7	Cafeoil feruloil espermidina	$C_9H_7O_4$	179,0331	179,0350	-10,4	
4	14,1	2-O cafeoil glicerol	$C_{12}H_{13}O_5$	237,0778	237,0768	-4,1	
5	15,3	Acido Cafeico	$C_{21}H_{19}O_9$	415,1058	415,1032	5,6	253, 179, 161
6	16,8	Coumaroil glicerol	$C_{21}H_{20}O_8$	399,1080	399,1085	1,3	253, 179, 235
7	22,7	Dicafeoil glicerol	$C_{22}H_{21}O_9$	429,1174	429,1191	3,9	193, 235
8	24,4	Coumaroil cafeoil glicerol	$C_{15}H_{12}O_5$	271,0590	271,0612	8,2	151, 177
9	24,6	Feruloil cafeoil glicerol	$C_{15}H_{10}O_6$	285,0379	285,0405	8,9	
10	25,4	Naringenina	$C_{22}H_{22}O_8$	413,1208	413,1242	0,8	193, 285
11	26,1	Luteolina	$C_{15}H_9O_5$	269,0435	269,0455	9,3	225
12	26,5	Coumaroil-feruloil-glicerol	$C_{16}H_{12}O_6$	299,0561	299,0561	-14,9	284
13	29,1	Apigenina	$C_{18}H_{33}O_5$	329,2315	329,2333	-6,8	211, 229
14	29,5	Hispidulina					
15	31,4	Acido tri-hidroxi-octadecenoico					

Poliaminas

Acidos fenólicos

Flavonoides

Hidroxiácido



	Muestra	TPC (mg GAE/100 g)		FRAP (mmol Trolox/100 g)		ABTS (mg TE/100 g)		
Determinación en extractos de harinas y panes								
	WWS-IM	53,6	e		0,29	e	13,7	c
	PWS-IM	21,3	c		0,18	cd	7,9	b
	WWS-IM	41,5	d		0,26	e	13,5	c
	PWS-IM	18,5	c		0,13	bc	7,8	b
Digestión in vitro de panes								
Fracción dializable (M1)	WWS-IM	0,43	a		0,02	a	18,4	d
	PWS-IM	0,19	a		0,01	a	17,5	d
Fracción no dializable	WWS-IM	5,63	ab		0,19	d	ND	
	PWS-IM	7,21	b		0,14	bc	ND	
	WWS-IM	2,46	ab		0,11	b	1,23	
	PWS-IM	0,84	b		0,02	a	1,76	

Harinas integrales y sus TPC disminuyeron durante la fermentación colónica superior. Fermentación colónica: la fermentación intestinal tuvo efecto positivo en la actividad antirradicalaria de los panes, lo que puede deberse a la presencia de compuestos fenólicos, que

Fracciones más finas: batidos con burbujas más pequeñas y uniformes, y más altos perfiles de viscosidad.

Batidos de sorgo marrón: viscosidades más altas que los de sorgo blanco.

Harinas con **tamaños de partícula más pequeños y perfiles de viscosidad más altos:** bizcochuelos con mayor volumen y menor firmeza

Análisis sensorial: mayor aceptación de bizcochuelos con **harinas de menor tamaño de partícula y de sorgo blanco.**

Desarrollo de pastas secas libres de gluten



Una de las comidas mas consumidas en el mundo

bajo costo,
fácil preparación,
larga vida
buenas propiedades nutricionales

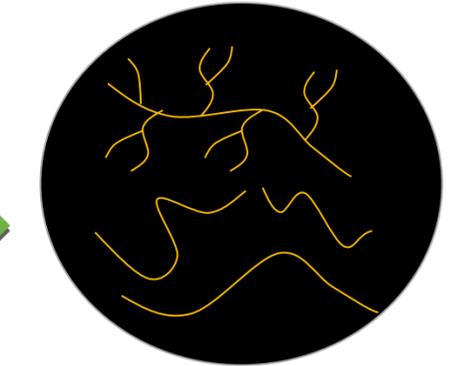
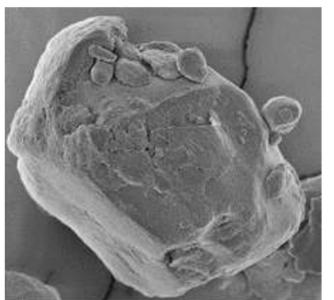
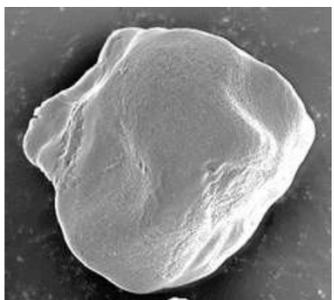
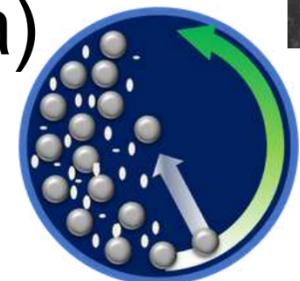


Comercial

Separación
Escala Piloto

Separación

Modificación física
(molienda)

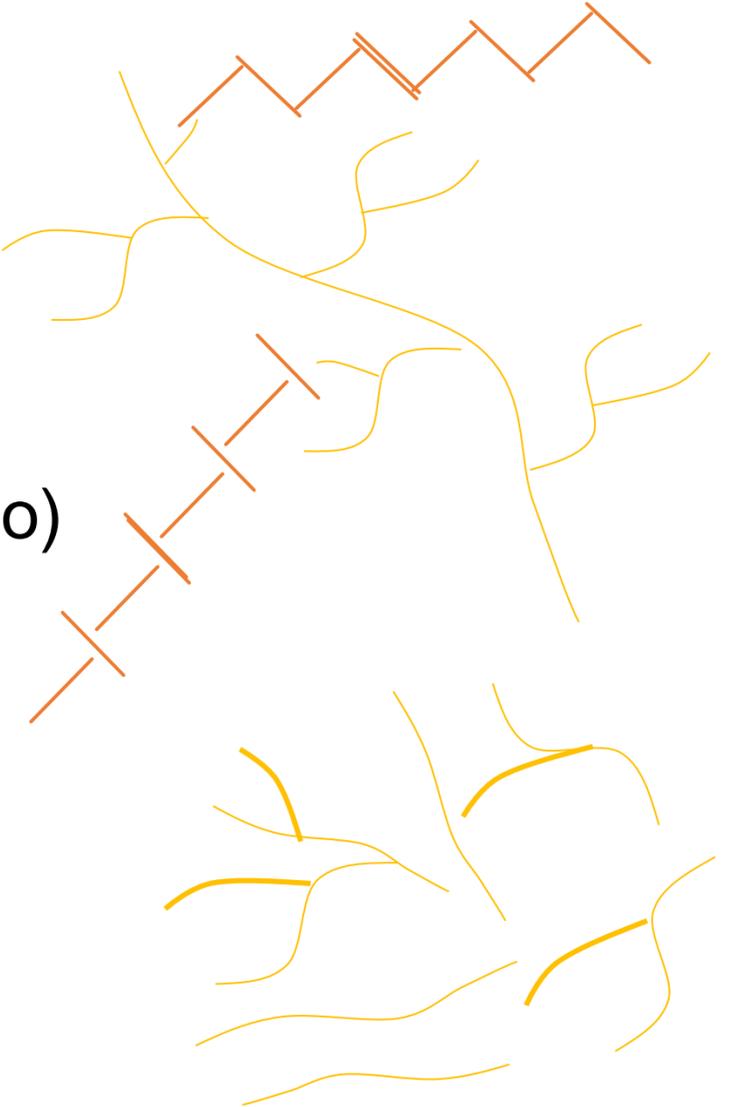


Almidón nativo

Esterificación
(Cloruro de octanoílo)

Hidrólisis
(ácido acético)

Esterificación
(anhídrido acético)





Desarrollo panes libres de gluten

Otro alimento muy consumido en el mundo

Problemas de calidad (diferentes a panes con gluten), asociados con diferencias en procesos y formulaciones

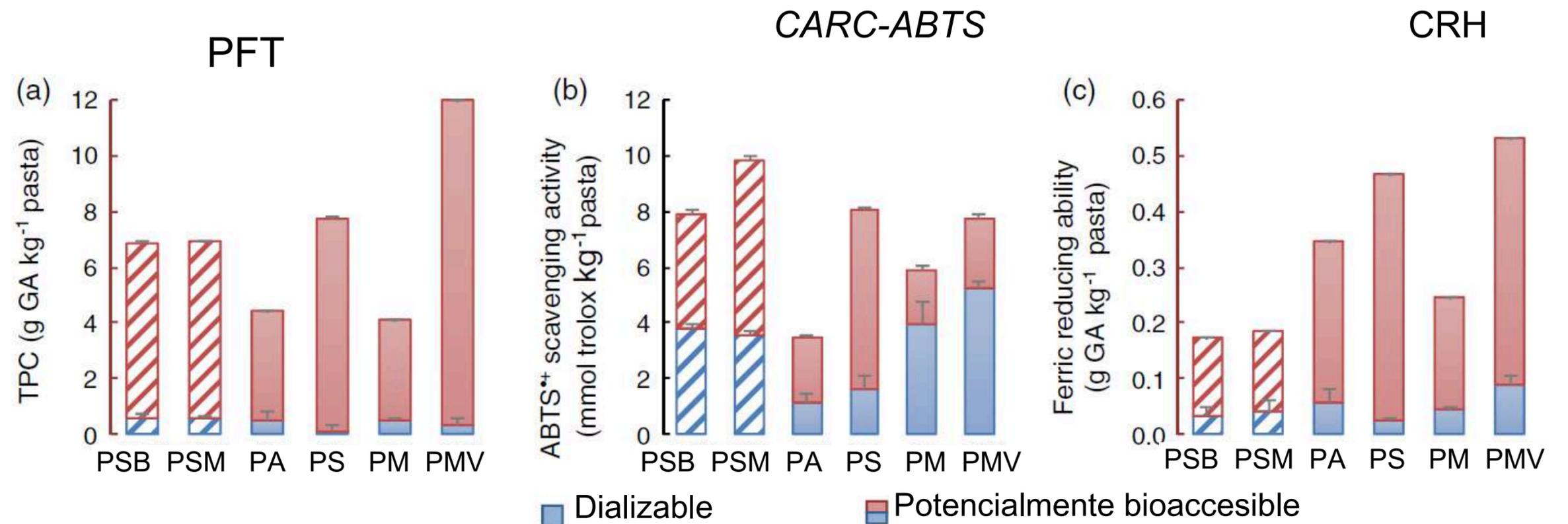
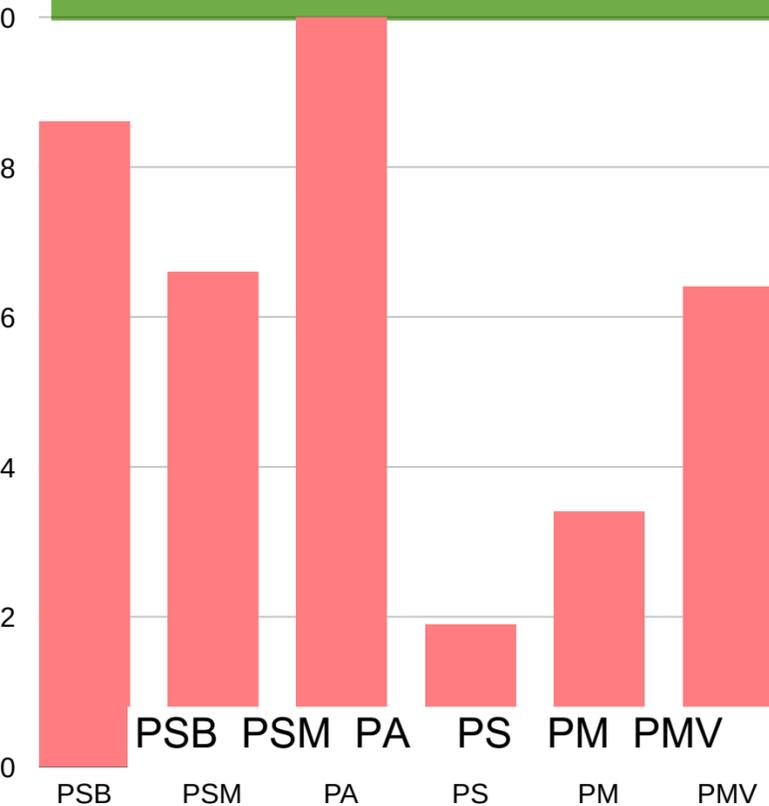
DESARROLLO DE BIZCOCHUELOS LIBRES DE GLUTEN



Producto esponjoso (harina, huevos y azúcar)
Elaborados por batido de huevo y azúcar + incorporación
de harina.



Digestión *in vitro* de la pasta



Pastas comerciales: alta liberación de polifenoles (aumento de AA) luego de la digestión.

Sorgo: menor liberación (polifenoles interaccionan con la matriz).

Polifenoles potencialmente bioaccesibles fueron escasamente dializables *in vitro*.

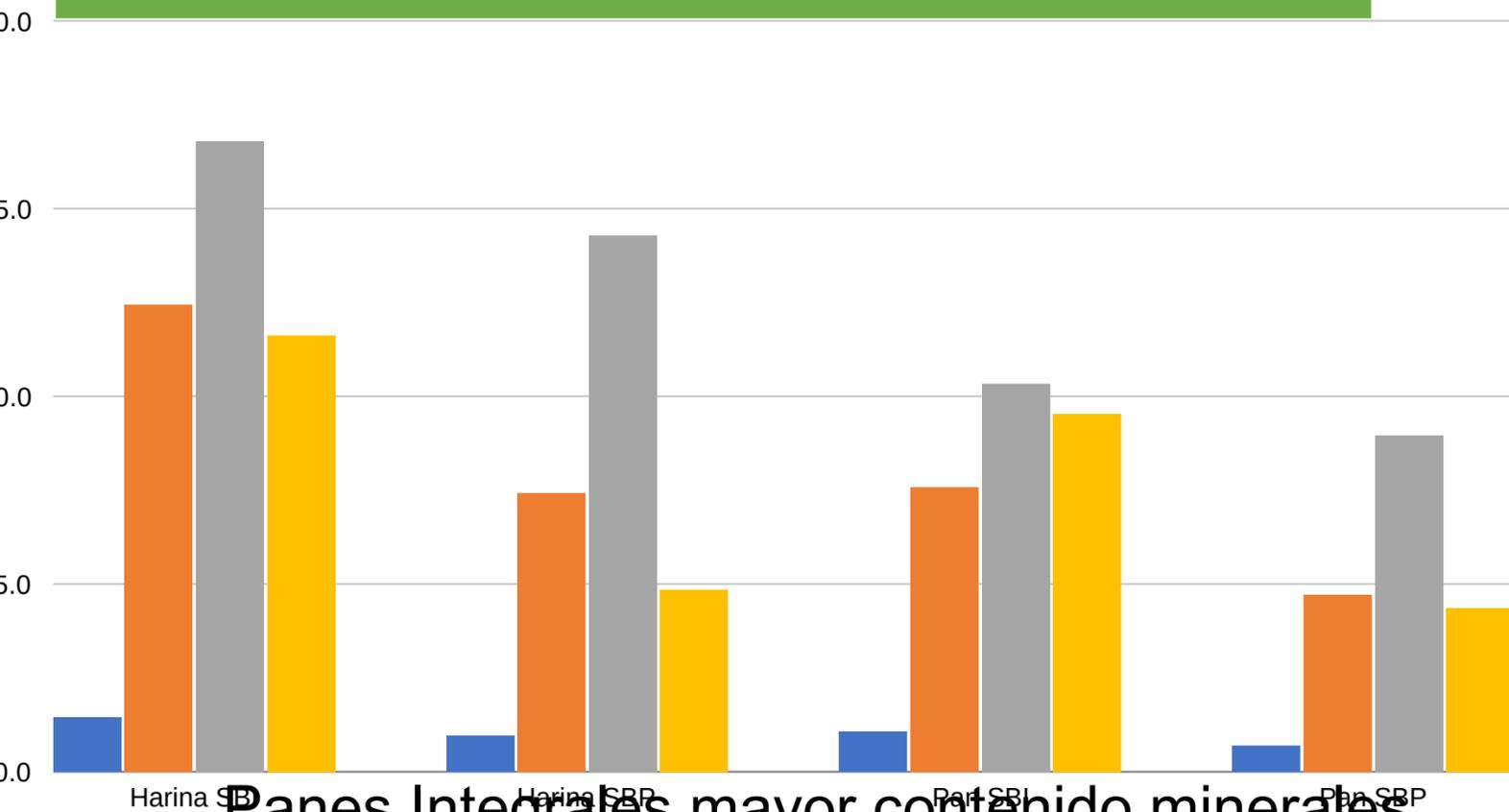
Sorgo: valores dializables más altos que las pastas de arroz y maíz



Matriz afectó compuestos potencialmente bioaccesibles y dializables

Productos LG con hidrocoloides (aumentan viscosidad durante la digestión *in vitro*) retrasa el paso de los compuestos a través de la membrana de diálisis.

Evaluación del contenido de minerales



Panes Integrales mayor contenido minerales

Pande sorgo cubren % significativos de la DDR de los minerales evaluados.

DDR de minerales cubierta por una porción de pan

	Cu (%)		Fe (%)		Mn (%)		Zn (%)	
WWS-IM	14,4	B	11,4	b	53,9	b	10,4	b
PWS-IM	9,4	a	7,1	a	46,6	a	4,8	a

En base a una porción de 120 g de pan para una dieta de 2000 Kcal/día

Dializabilidad in vitro de minerales en panes: fracción absorbida en el intestino delgado (dializable, M1)

Muestra	Cu (%)		Fe (%)		Mn (%)	Zn (%)	
WWS-IM	22,3	a	26,5	a	ND	1,9	a
PWS-IM	29,9	b	29,5	a	1,1	2,3	a

Fe y Cu presentaron mayores dializabilidad

Pan de harina integral mayor contenido de minerales después de la digestión *in vitro*, pero su dializabilidad fue menor que para panes elaborados con harinas pulidas