



IV CONGRESO IBEROAMERICANO DE INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS

PRODUCCIÓN DE FÓRMULAS INFANTILES A PARTIR DE EMULSIONES ALTAMENTE CONCENTRADAS COMO ESTRATEGIA PARA REDUCIR EL CONSUMO ENERGÉTICO: IMPACTO EN LA FUNCIONALIDAD Y ESTABILIDAD DE LOS POLVOS

Dra. Mariana Rodríguez Arzuaga / Latitud – Fundación LATU

Organiza:



FÓRMULAS INFANTILES - DEFINICIONES

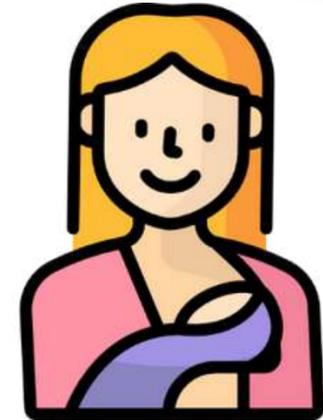
Declaración **Organización Mundial de la Salud** 15/1/2011:

“La OMS recomienda a todas las madres la lactancia materna exclusiva durante los primeros seis meses, con el fin de ofrecer a sus hijos un crecimiento, desarrollo y salud óptimos.”

Sólo el 40% de los menores de 6 meses se alimentan exclusivamente con leche materna.

Preparados para lactantes (Codex Alimentarius, 2007):

“Sucedáneos de la leche materna fabricados especialmente para satisfacer por sí solos las necesidades de los lactantes durante los primeros meses de vida, hasta la introducción de una alimentación complementaria adecuada.”



FÓRMULAS INFANTILES - CLASIFICACIÓN

FÓRMULAS

ORIGEN
INGREDIENTES

EDAD

PRESENTACIÓN

ESPECIALES

Animal

0 a 6 meses

En polvo

Sin lactosa

Vegetal

6 a 12 meses

Líquida

Proteínas
hidrolizadas

1 a 2 años

Bajo peso

Más de 2 años

Anti
regurgitación



FÓRMULAS INFANTILES - COMPOSICIÓN



Componente	Codex/ Argentina	UE	EEUU	China	Uruguay
Energía (kcal/100 mL)	60-70	60-70	NE	60-70	65-75
Proteínas (g/100 mL)	1,8-3,0	1,8-2,5	1,8-4,5	1,88-2,93	1,8-4,0
Lípidos (g/100 mL)	4,4-6,0	4,4-6,0	3,3-6,0	4,39-5,86	3,3-6,0
Carbohidratos (g/100 mL)	9,0-14,0	9,0-14,0	NE	9,2-13,8	NE
Oligosacáridos (g/100 mL)	≤ 0,8	≤ 0,8	NE	NR	NE

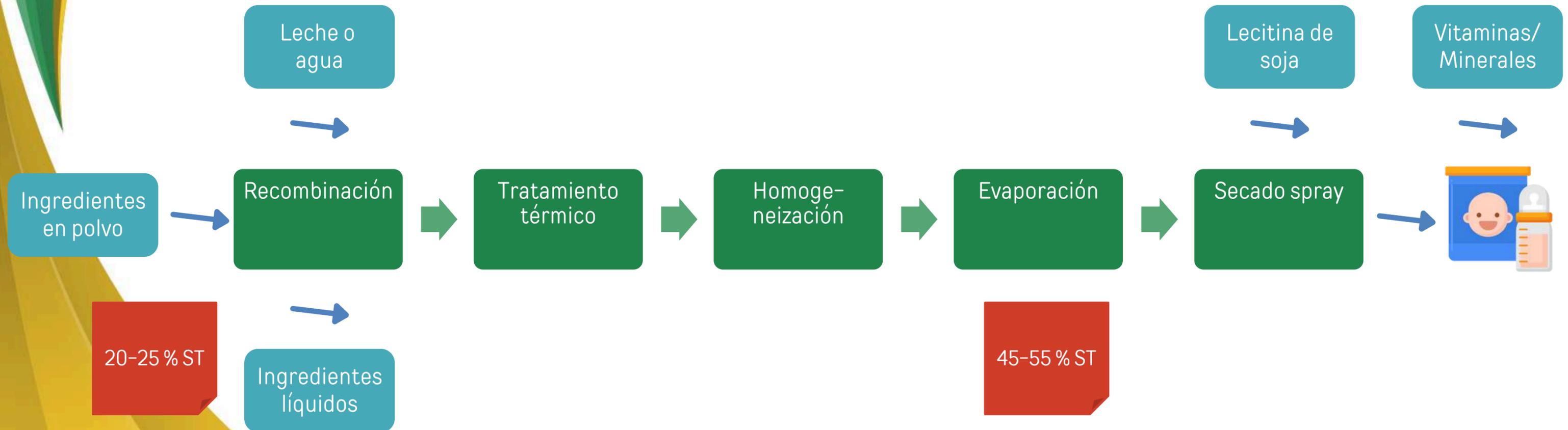


FÓRMULAS INFANTILES - PRODUCCIÓN



PROCESO DRY-MIX: mezclado de los ingredientes en polvo.

PROCESO WET-MIX:



FÓRMULAS INFANTILES - PRODUCCIÓN



DRY-MIX



WET-MIX

-  **Bajo consumo energético.**
-  **Baja inversión edilicia.**
-  **Bajo riesgo de contaminación microbiológica.**
-  **Producción rápida y sencilla.**
-  **Calidad microbiológica depende de la calidad de MP.**
-  **Segregación durante almacenamiento y transporte.**
-  **No permite incorporar aceites.**
-  **Pobre humectabilidad y solubilidad.**

-  **Mayor consumo energético.**
-  **Mayor inversión edilicia.**
-  **Coexisten áreas secas y húmedas en la planta.**
-  **Proceso de varias etapas.**
-  **El TT asegura la calidad microbiológica.**
-  **Producto homogéneo.**
-  **Permite incorporar aceites.**
-  **Mejor humectabilidad y solubilidad.**



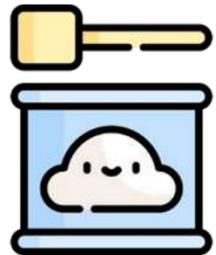


ESTRATEGIAS PARA REDUCIR CONSUMO DE ENERGÍA DURANTE PRODUCCIÓN WET-MIX



Producción leche en polvo: > huella energética (8-10 MJ/kg prod.) de productos lácteos.

Patil et al. (2021). Energy usage in the manufacture of dairy powders: Advances in conventional processing and disruptive technologies. *Drying Technology*, 39, 1595–1613.



> concentración durante la producción implica menor remoción de agua, y podría incluso saltarse la etapa de evaporación previa al secado spray.



Limitantes: Viscosidad (< 100 mPa.s para atomización efectiva en secador spray)

Fouling durante procesamiento.



El TT tiene gran influencia en la viscosidad, por su efecto en la desnaturalización y agregación de proteínas.



↑ ST de 50 a 60%: ↓ consumo energético en 13-17%.

↓ TT de 100°C×18 s a 75°C×18 s: ↓ consumo energético en 53%, para fórmulas con 60% ST.

Rodríguez Arzuaga et al. (2021). Infant milk formulae processing: Effect of wet-mix total solids and heat treatment temperature on rheological, emulsifying and nutritional properties. *Journal of Food Engineering*, 110194.

ESTRATEGIAS PARA REDUCIR CONSUMO DE ENERGÍA DURANTE PRODUCCIÓN WET-MIX



Es posible reducir el consumo energético durante la producción de fórmulas infantiles por el método wet-mix.

Es necesario controlar la viscosidad y fouling de las emulsiones concentradas durante el proceso.

Pero ¿qué implican los cambios en los procesos productivos en la calidad de los polvos resultantes?

¿Y en su estabilidad?



PRODUCCIÓN DE FÓRMULAS INFANTILES

MODELO A ESCALA PILOTO



- Agua
- Lactosa
- LDP
- WPI
- Aceite
- GOS
- FOS

Rehidratación y dispersión

Batch = 15 kg
ST = 50 o 60 % (p/p)
T = 65°C
pH = 6,7-6,8
Tiempo = 15 min
Vacío

Pasteurización

T = 75 o 100 °C
Tiempo = 18 s
Flujo = 1 L/min

Homogeneización

P₁ = 13 MPa
P₂ = 3 Mpa
Flujo = 2 L/min
T ~ 65 °C

Secado spray

Tentrada = 180 °C
Tsalida = 85 °C
Talimentación = 65 °C



EMULSIONES PRE-SECADO SPRAY: PROPIEDADES REOLÓGICAS

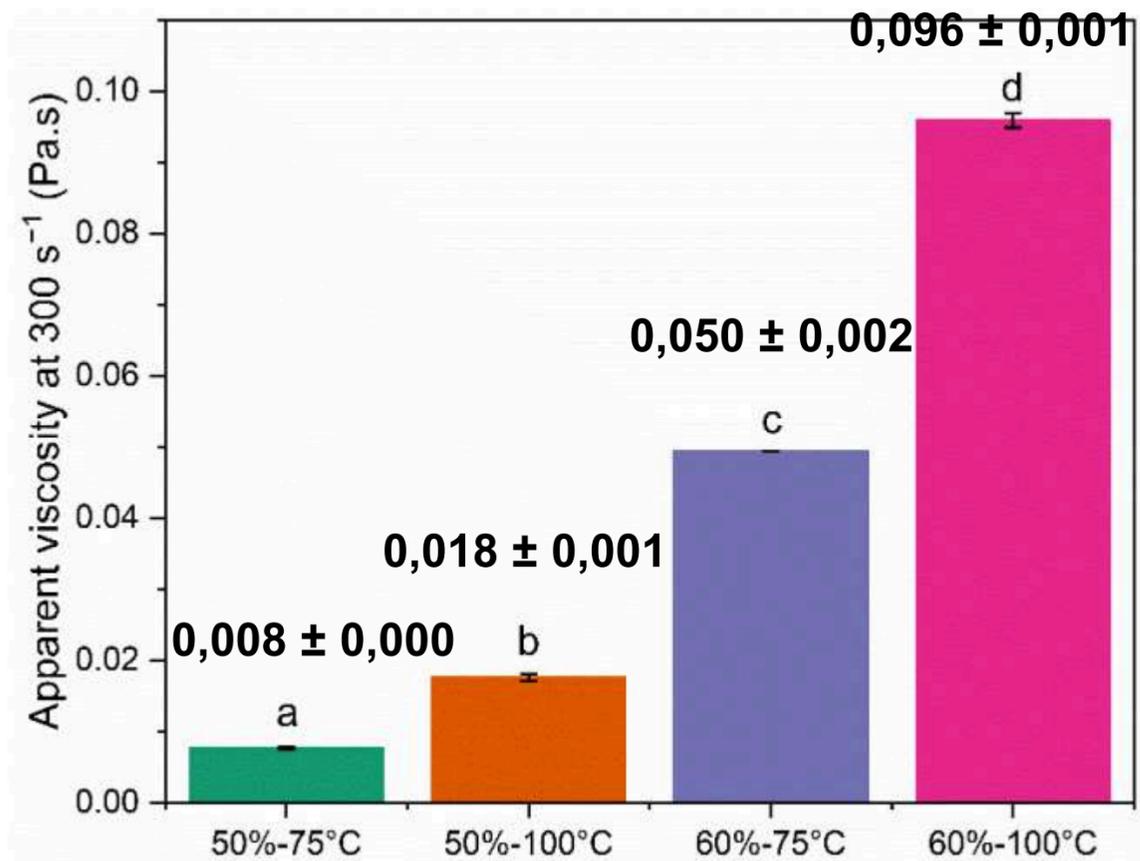


Figure 2. Apparent viscosity of the emulsion feed, determined at 300 s⁻¹. Bars indicate the standard deviation (n = 4).

50% - 75°C
50% - 100°C
60% - 75°C
60% - 100°C

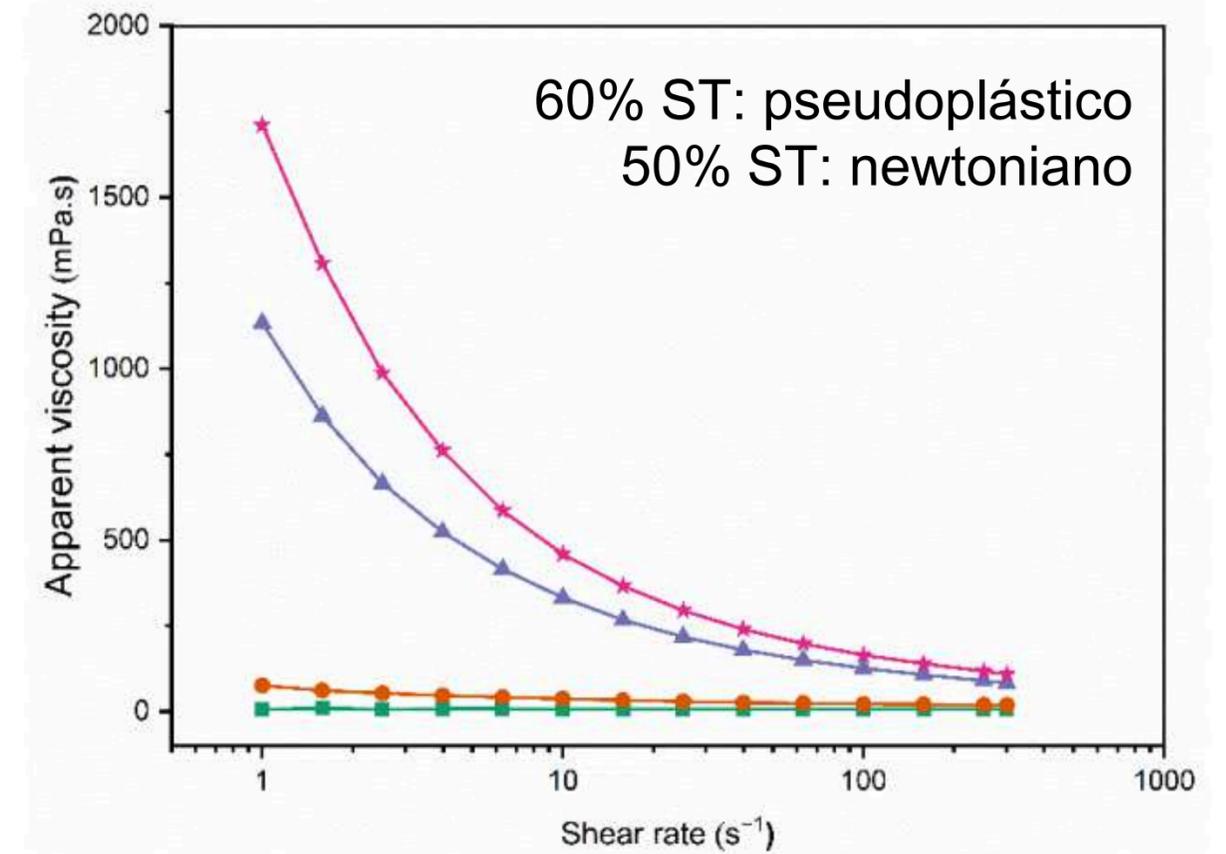


Figure 1. Apparent viscosity of the 50%-75 °C (green square), 50%-100 °C (orange circle), 60%-75 °C (purple triangle), and 60%-100 °C (pink star) IMF feed emulsions versus shear rate (1-300 s⁻¹).

Rodríguez Arzuaga et al. (2022). Spray-Dried infant formula emulsion stability as affected by pre-heat treatment and total solids content of the feed. *Foods*, 11, 3752.



EMULSIONES PRE-SECADO SPRAY: TAMAÑO DE GOTA

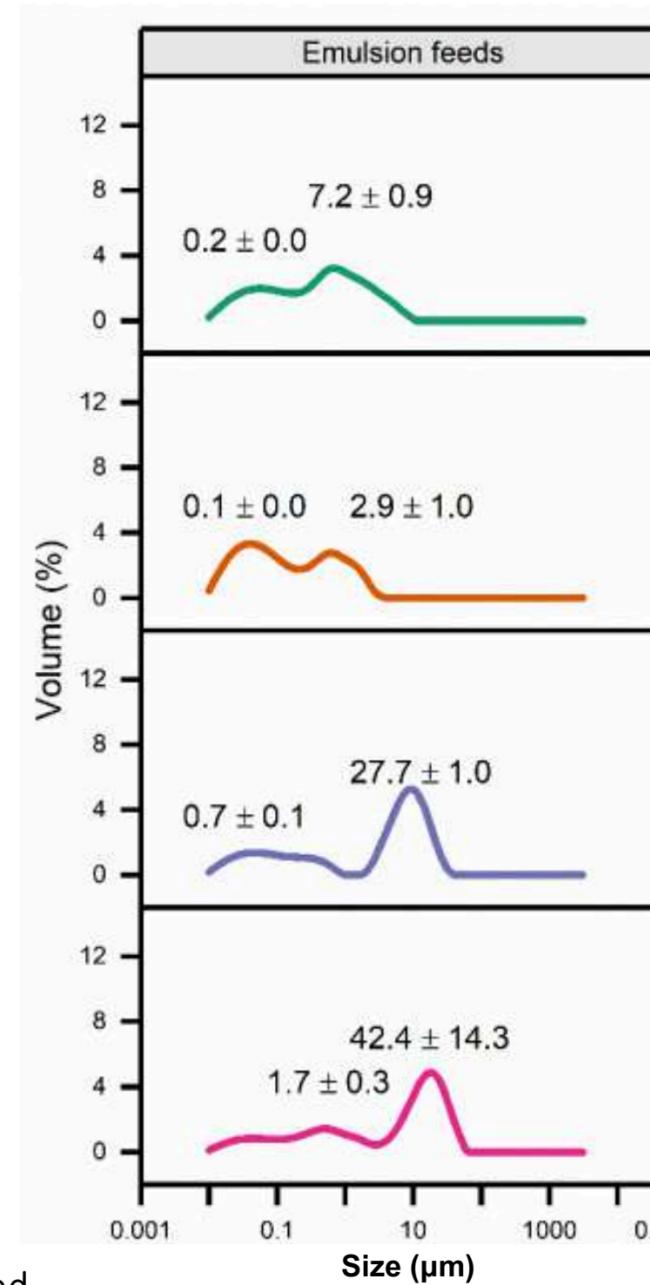


50%-75°C

50%-100°C

60%-75°C

60%-100°C



- Alta viscosidad
- Comportamiento pseudoplástico
- Tamaño de partícula elevado



FLOCULACIÓN

Rodríguez Arzuaga et al. (2022). Spray-Dried infant formula emulsion stability as affected by pre-heat treatment and total solids content of the feed. *Foods*, 11, 3752.



EMULSIONES POST-SECADO SPRAY: TAMAÑO DE GOTA

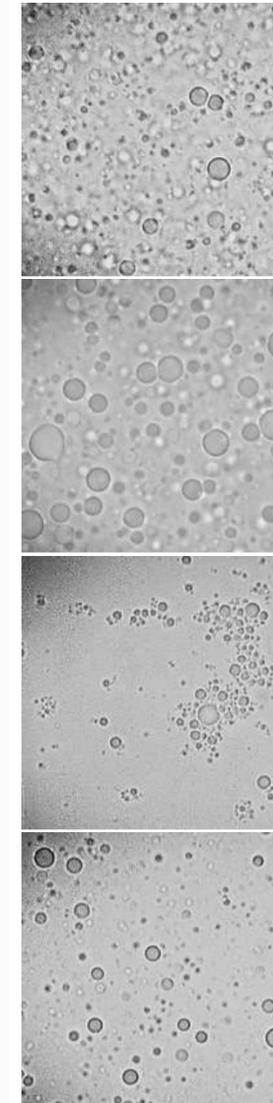
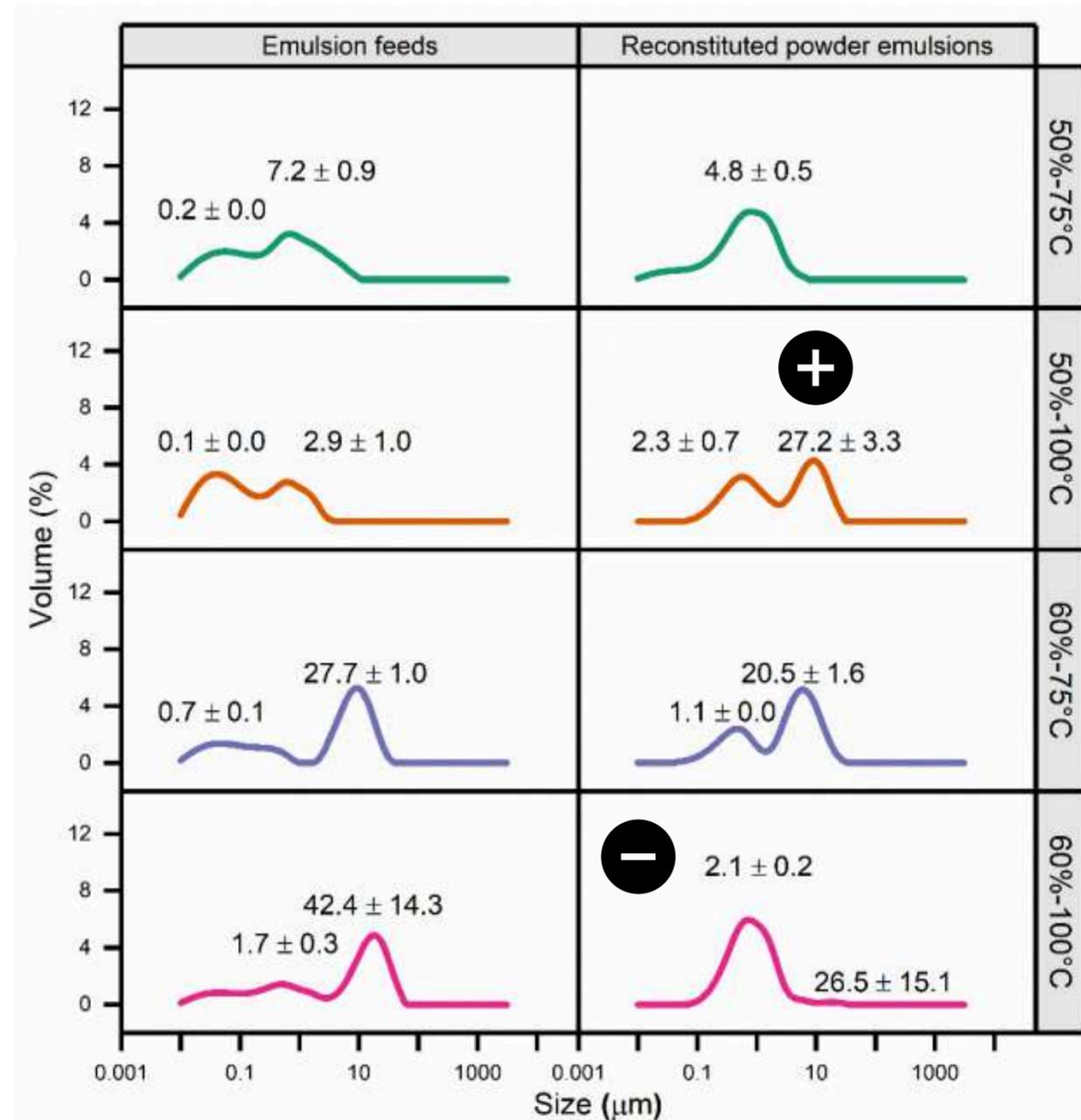


50%-75°C

50%-100°C

60%-75°C

60%-100°C



Rodríguez Arzuaga et al. (2022). Spray-Dried infant formula emulsion stability as affected by pre-heat treatment and total solids content of the feed. *Foods*, 11, 3752.



EMULSIONES POST-SECADO SPRAY: ESTABILIDAD



$$ESI = (BS_i[h] - BS_0[h])/H,$$

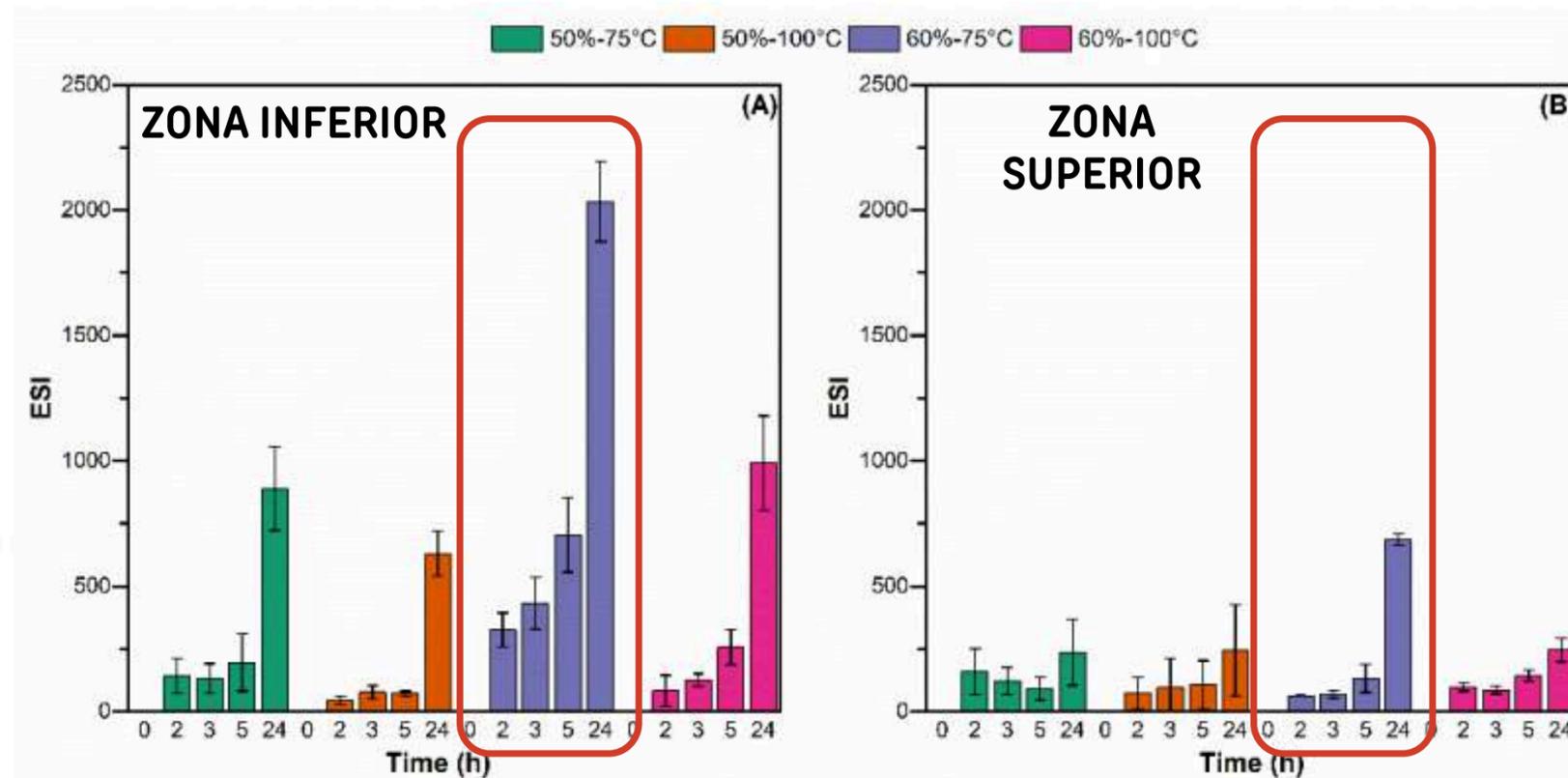


Figure 9. Emulsion stability index (ESI) at the lower ((A), height = 2–3 cm) and higher ((B), height = 10–12 cm) of the reconstituted 50%-75 °C (green), 50%-100 °C (orange), 60%-75 °C (purple), and 60%-100 °C (pink) IMF emulsions, after 0, 2, 3, 5, and 24 h.

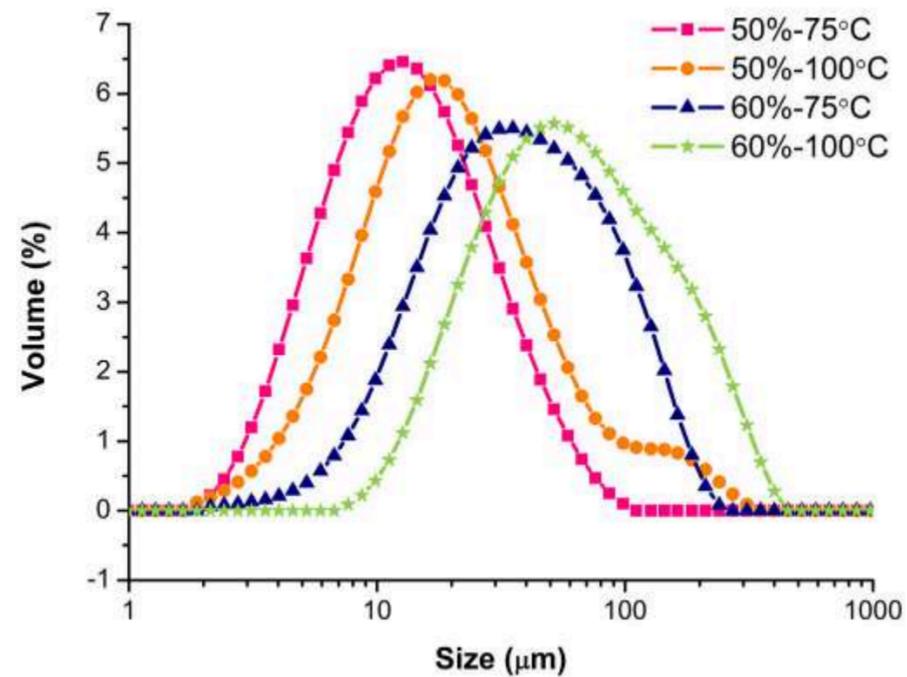
Rodríguez Arzuaga et al. (2022). Spray-Dried infant formula emulsion stability as affected by pre-heat treatment and total solids content of the feed. *Foods*, 11, 3752.



FÓRMULAS EN POLVO: PROPIEDADES FÍSICAS



Distribución de tamaño de partícula



Fórmula	D50 (μm)
50%-75°C	12,4 ± 1,81 ^a
50%-100°C	21,2 ± 2,24 ^b
60%-75°C	38,9 ± 0,97 ^c
60%-100°C	63,2 ± 0,17 ^d

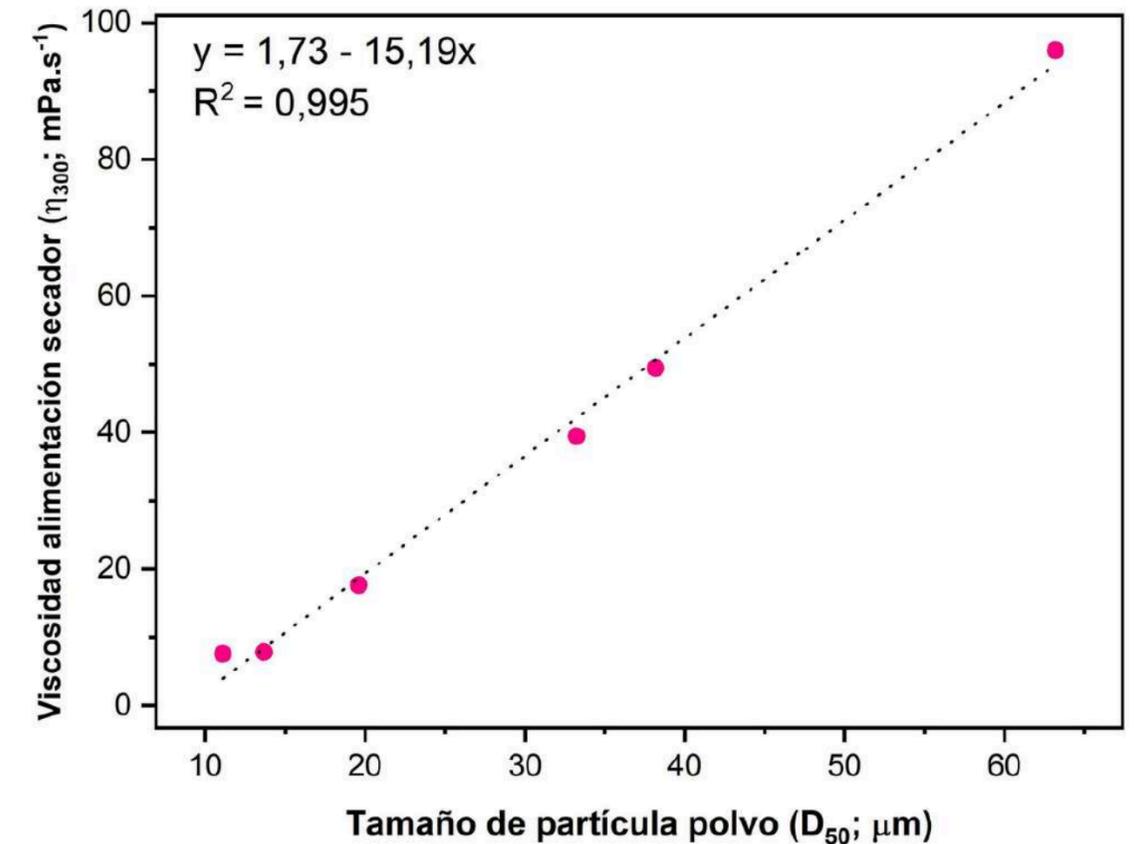


Fig. 1. Particle size distributions of infant milk formula powders obtained under the different processing conditions.

Rodríguez Arzuaga et al. (2021). *Impact of wet-mix total solids content and heat treatment on physicochemical and techno-functional properties of infant milk formula powders*. Powder Technology, 390, 473-481.



FÓRMULAS EN POLVO: PROPIEDADES FÍSICAS



Densidad

50%-75°C	1,24 ± 0,00 ^a	0,27 ± 0,02 ^a
50%-100°C	1,27 ± 0,02 ^a	0,28 ± 0,01 ^a
60%-75°C	1,24 ± 0,01 ^a	0,35 ± 0,03 ^b
60%-100°C	1,25 ± 0,01 ^a	0,38 ± 0,01 ^b

50%-100°C



60%-100°C



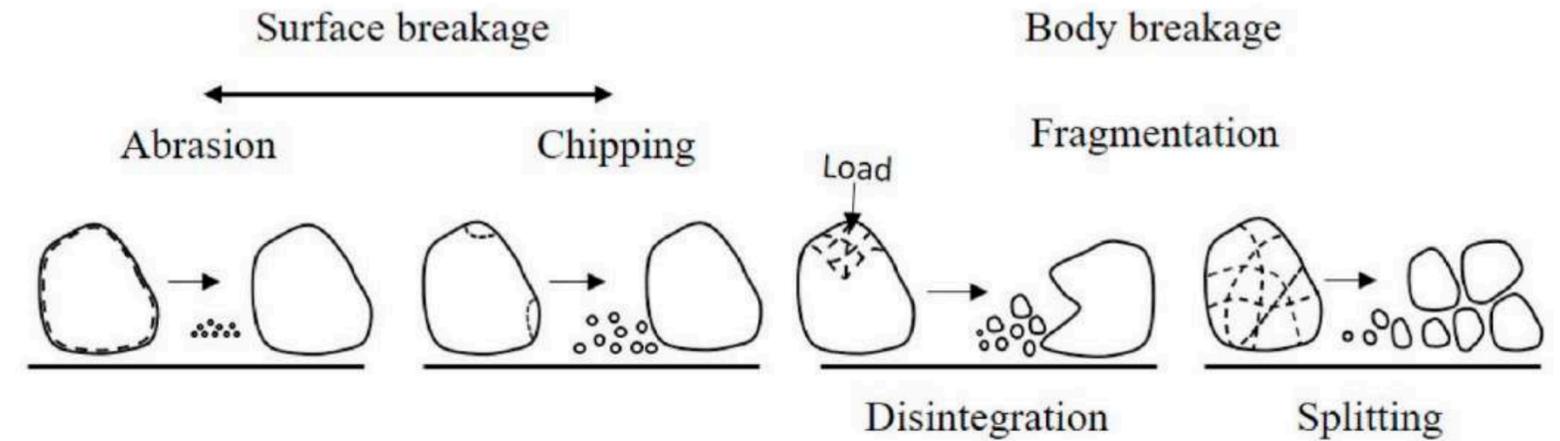
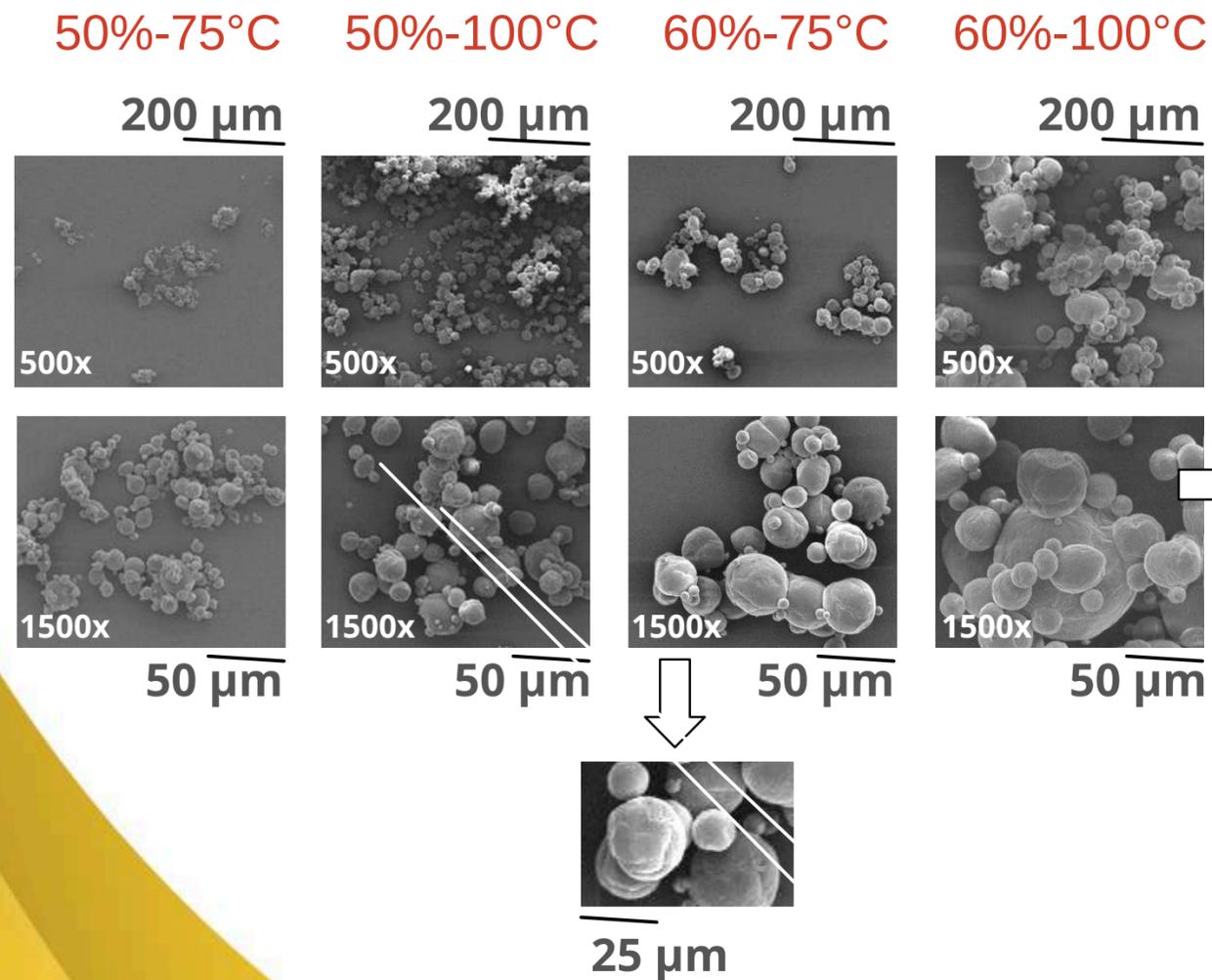
Rodríguez Arzuaga et al. (2021). Impact of wet-mix total solids content and heat treatment on physicochemical and techno-functional properties of infant milk formula powders. *Powder Technology*, 390, 473-481.



FÓRMULAS EN POLVO: PROPIEDADES FÍSICAS

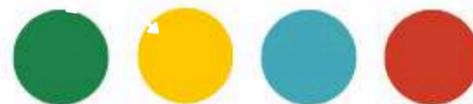


Microestructura



Han et al. (2021) Particle size, powder properties and the breakage behaviour of infant milk formula. *Journal of Food Engineering*, 292, 110367.

Rodríguez Arzuaga et al. (2021). Impact of wet-mix total solids content and heat treatment on physicochemical and techno-functional properties of infant milk formula powders. *Powder Technology*, 390, 473-481.

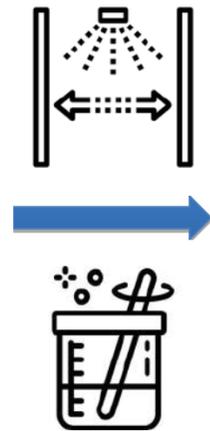


FÓRMULAS EN POLVO: PROPIEDADES TECNO-FUNCIONALES

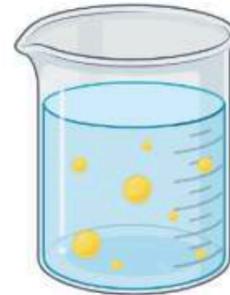


Estabilidad post-reconstitución

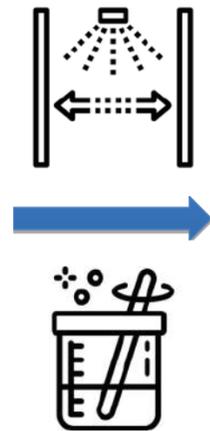
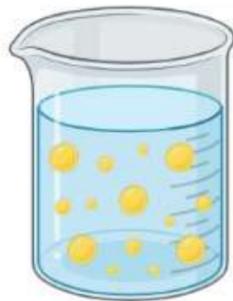
50%-75°C
wet-mix



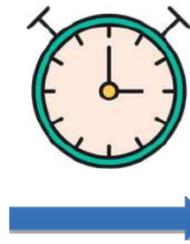
50%-75°C
polvo reconstituido



50%-100°C
wet-mix



50%-100°C
polvo reconstituido



Coalescencia



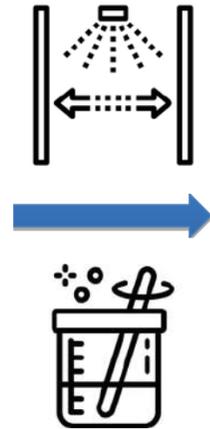
FÓRMULAS EN POLVO: PROPIEDADES TECNO-FUNCIONALES



Estabilidad post-reconstitución

Floculación

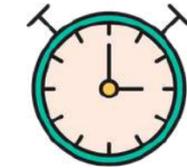
60%-75°C
wet-mix



60%-75°C
polvo reconstituido



Floculación

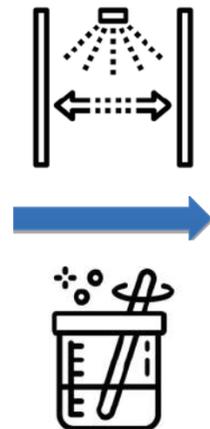
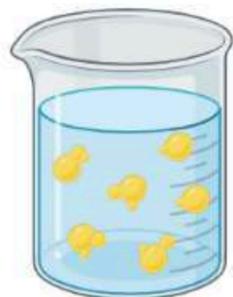


Cremado

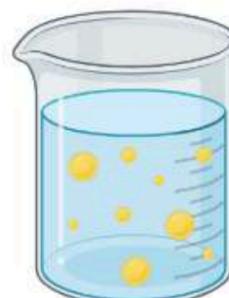


Floculación

60%-100°C
wet-mix



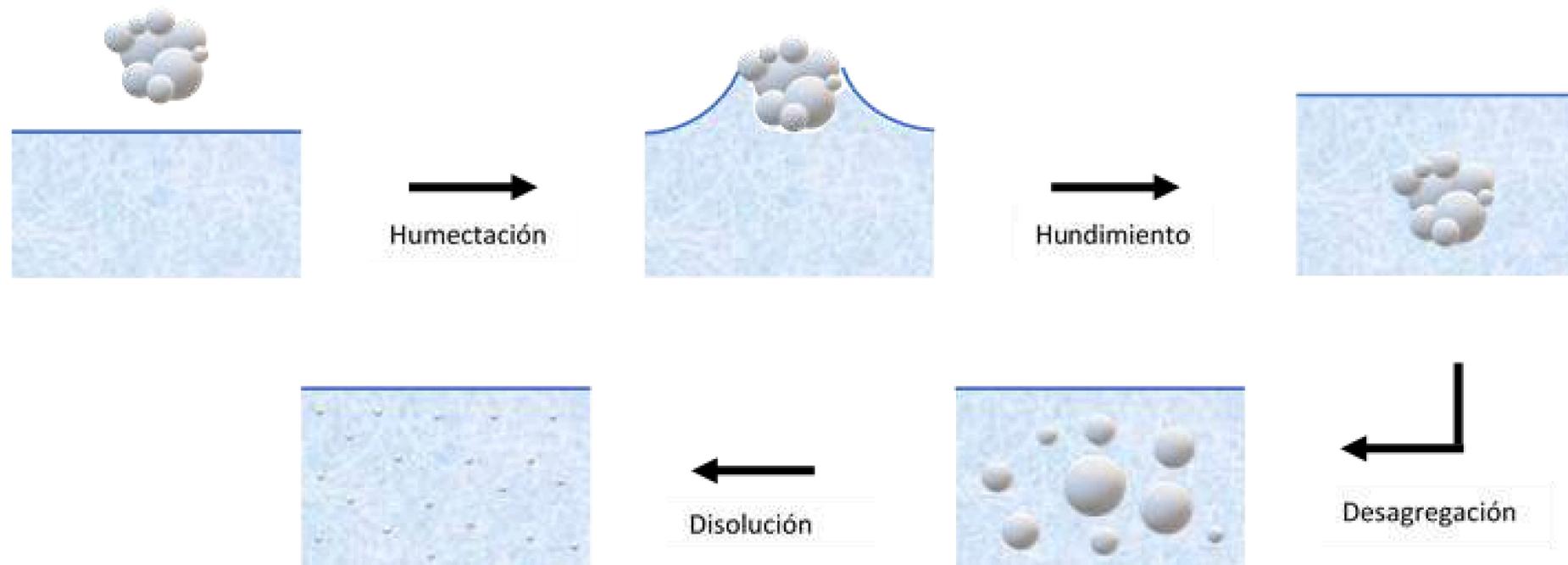
60%-100°C
polvo reconstituido



FÓRMULAS EN POLVO: PROPIEDADES TECNO-FUNCIONALES



Propiedades de rehidratación



Adaptada de Forny et al. (2011). Wetting, disintegration and dissolution of agglomerated water soluble powders. *Powder Technology*, 206, 72-78.



FÓRMULAS EN POLVO: PROPIEDADES TECNO-FUNCIONALES



Propiedades de rehidratación

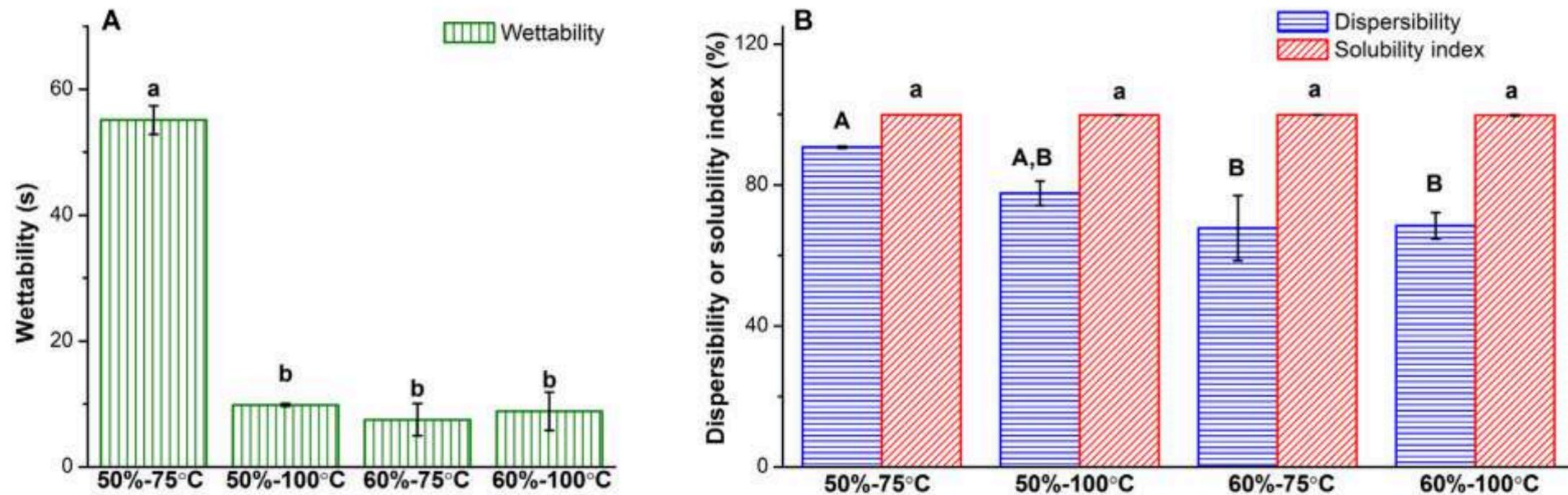


Fig. 3. Wettability (A), dispersibility and solubility index (B) of infant milk formula powders obtained under different processing conditions. Bars represent standard deviation.

Rodríguez Arzuaga et al. (2021). Impact of wet-mix total solids content and heat treatment on physicochemical and techno-functional properties of infant milk formula powders. *Powder Technology*, 390, 473-481.



FÓRMULAS EN POLVO: PROPIEDADES TECNO-FUNCIONALES



Propiedades de flujo

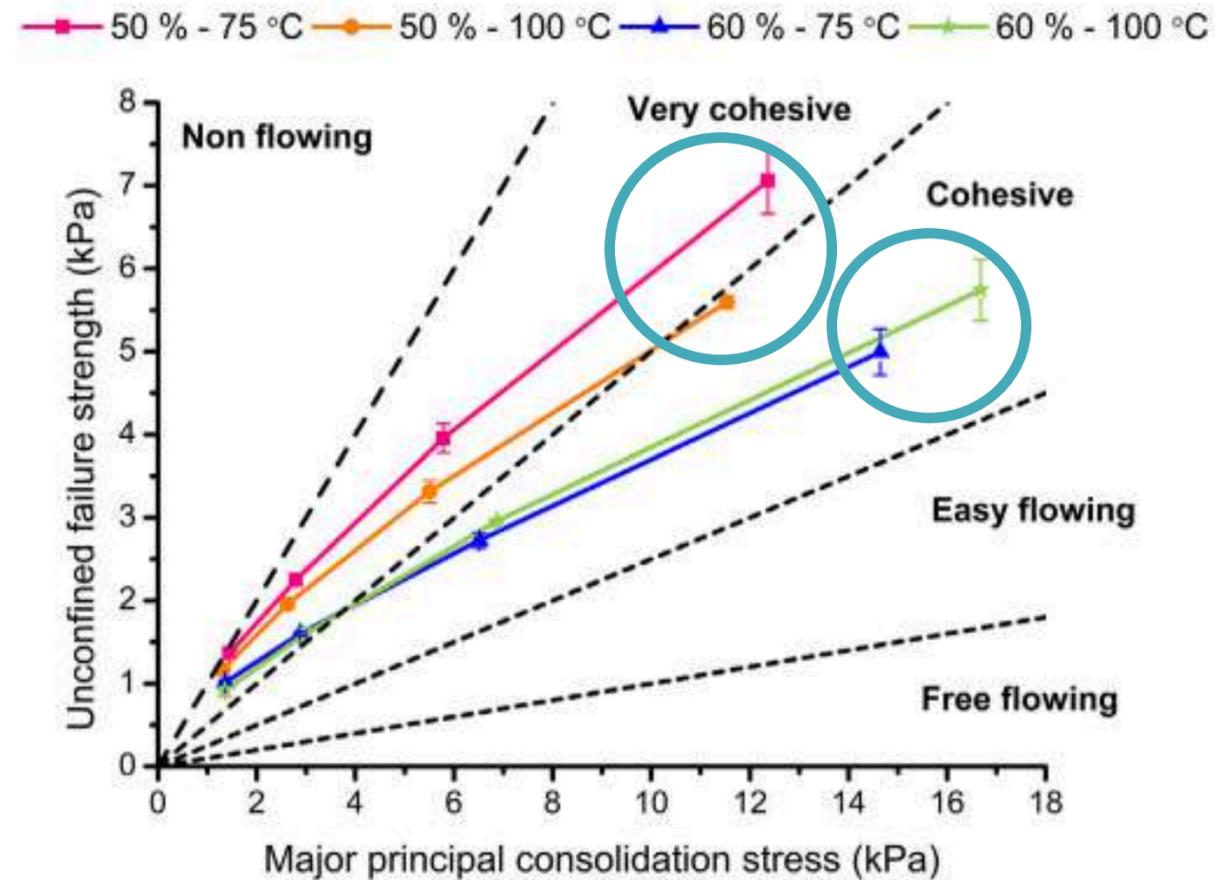


Fig. 5. Flow function plots of the infant milk formula powders at different levels of major principal consolidating stress.

Rodríguez Arzuaga et al. (2021). Impact of wet-mix total solids content and heat treatment on physicochemical and techno-functional properties of infant milk formula powders. *Powder Technology*, 390, 473-481.





RECAPITULANDO...

- Elaboramos fórmulas infantiles modelo con idéntica composición, a partir de concentrados con 2 niveles de ST: 50% y 60% y 2 temperaturas de pasteurización: 75 y 100°C.
- Ambos factores impactaron en la viscosidad del concentrado, que a su vez impactó en el tamaño de partícula del polvo.
- Los ST del concentrado impactaron la densidad aparente del polvo.
- Las fórmulas elaboradas a partir de concentrados con 60% ST presentaron partículas partidas con su interior poroso expuesto.
- Las diferencias en las propiedades físicas de los polvos impactaron en sus propiedades de rehidratación y flujo.

¿QUÉ SUCEDE DURANTE LA VIDA ÚTIL?



ESTABILIDAD DE LAS FÓRMULAS EN POLVO



Tiempo 0

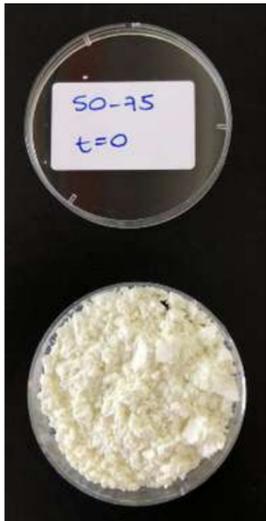
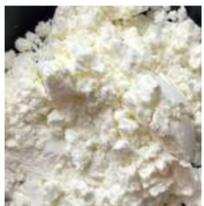


50%-75°C

50%-100°C

60%-75°C

60%-100°C



Envase abierto



Envase sellado



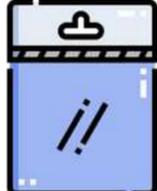
58%



25°C



4 semanas



25°C



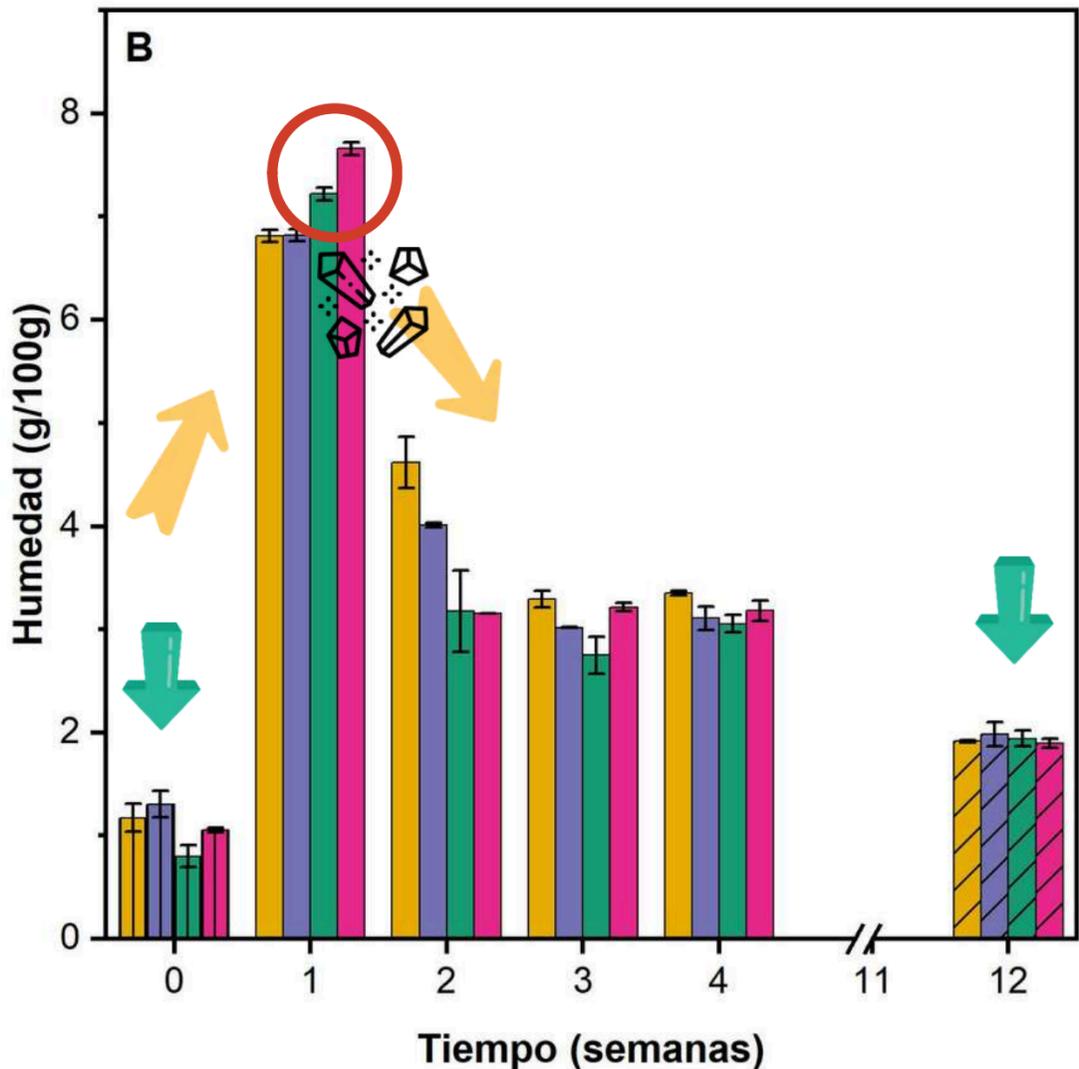
12 semanas



ESTABILIDAD DE LAS FÓRMULAS EN POLVO



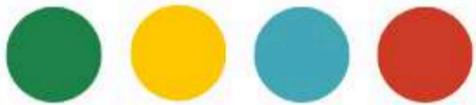
■ 50%-75°C
 ■ 50%-100°C
 ■ 60%-75°C
 ■ 60%-100°C



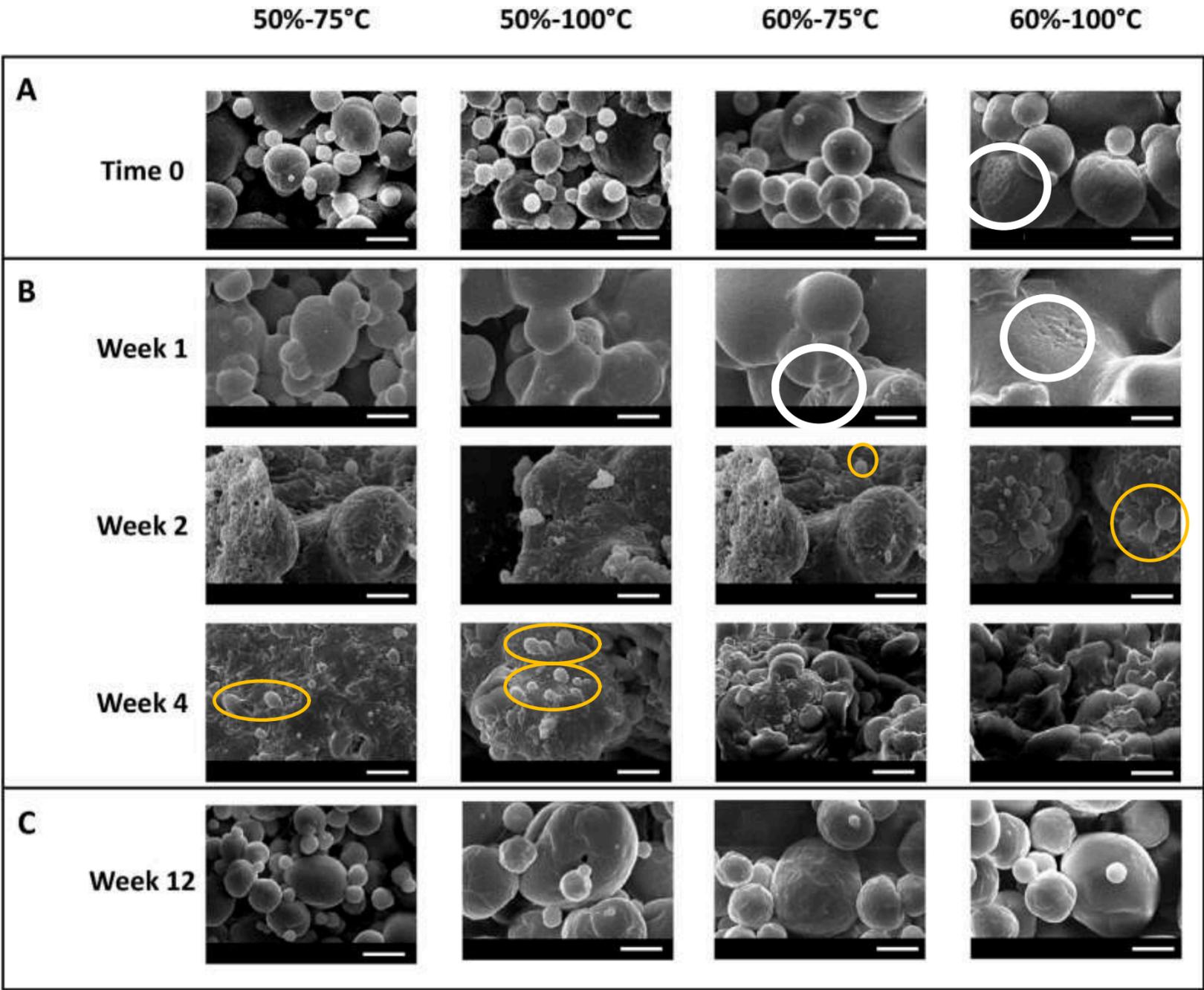
Fórmula	Tiempo 0	1 semana a 60% HR	12 semanas en envase sellado			
50%-75°C	0,11	75,0 ± 1,7 a	0,43	22,2 ± 1,6 b	0,21	69,3 ± 0,7 bc
50%-100°C	0,14	74,4 ± 2,0 a	0,45	19,8 ± 0,8 b	0,21	69,8 ± 2,2 c
60%-75°C	0,14	76,2 ± 2,2 a	0,48	14,2 ± 2,0 a	0,27	66,0 ± 1,0 a
60%-100°C	0,15	76,3 ± 1,8 a	0,48	13,0 ± 1,4 a	0,27	67,0 ± 1,1 ab



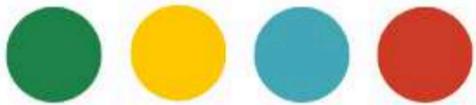
Rodríguez Arzuaga et al. (2024). Storage stability of model infant formula powders produced under varying wet-mix processing conditions. *International Dairy Journal*, 105968.

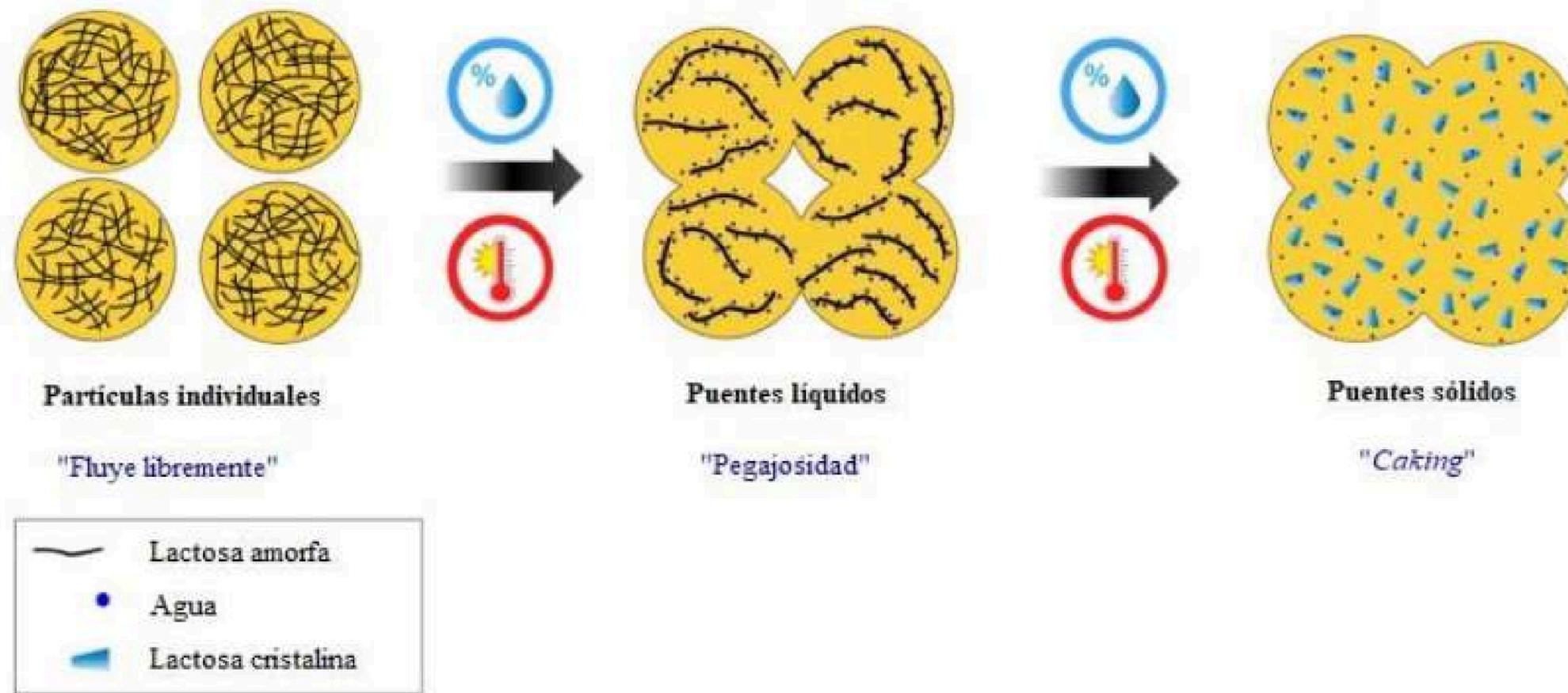


ESTABILIDAD DE LAS FÓRMULAS EN POLVO



Rodríguez Arzuaga et al. (2024). Storage stability of model infant formula powders produced under varying wet-mix processing conditions. *International Dairy Journal*, 105968.

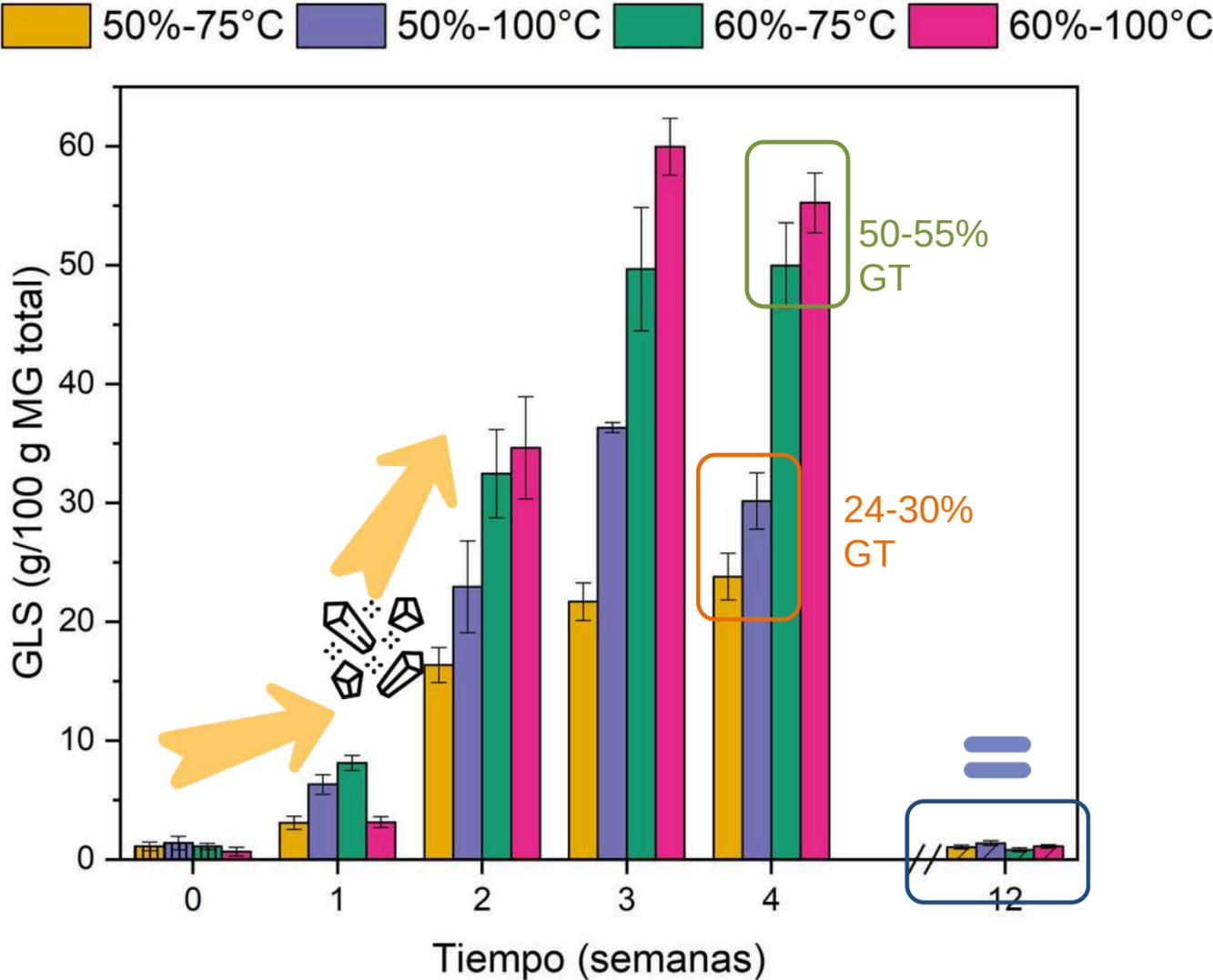




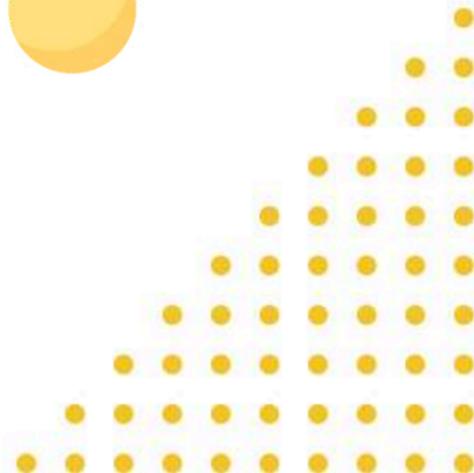
Adaptada de Phosanam et al. (2011). Storage stability of powdered dairy ingredients: a review. *Drying Technology*, 39, 1529–1553.



ESTABILIDAD DE LAS FÓRMULAS EN POLVO



Rodríguez Arzuaga et al. (2024). Storage stability of model infant formula powders produced under varying wet-mix processing conditions. *International Dairy Journal*, 105968.





RECAPITULANDO...

- Elaboramos fórmulas infantiles modelo con idéntica composición, a partir de concentrados con 2 niveles de ST: 50% y 60% y 2 temperaturas de pasteurización: 75 y 100°C.
- Ambos factores impactaron en la viscosidad del concentrado, que a su vez impactó en el tamaño de partícula del polvo.
- Los ST del concentrado impactaron la densidad aparente del polvo.
- Las fórmulas elaboradas a partir de concentrados con 60% ST presentaron partículas partidas con su interior poroso expuesto.

¿QUÉ SUCEDE DURANTE LA VIDA ÚTIL?



- La presencia de partículas partidas en esos polvos aumentó la velocidad de absorción de agua, lo que aceleró la transición vítrea y cristalización de la lactosa y la liberación de grasa libre hacia la superficie, durante el almacenamiento.



CONSIDERACIONES FINALES



- Aumentar los ST del concentrado puede utilizarse como estrategia para reducir el consumo energético durante la producción *wet-mix*.
- Minimizar la carga térmica asociada al TT, cumpliendo las regulaciones microbiológicas, podría ayudar a controlar la viscosidad durante el proceso.
- Sin embargo, dichos cambios en el proceso pueden afectar la calidad del polvo y su estabilidad.
- Es necesario tener en cuenta todos los aspectos de la interacción proceso x producto, a lo largo de la vida útil del producto.





MUCHAS GRACIAS

Dra. Mariana Rodríguez Arzuaga

marodrig@latitud.org.uy



EDUCACIÓN
PÚBLICA
Y GRATUITA



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

