

# Biotransformación de selenio por bacterias lácticas. Suplementación de productos lácteos fermentados con seleno-compuestos

**Dra. FERNANDA MOZZI**

Centro de Referencia para Lactobacilos (CERELA)-CONICET

[fmozzi@cerela.org.ar](mailto:fmozzi@cerela.org.ar)

<https://scholar.google.com/citations?user=qdMoAy8AAAAJ&hl=es>

<https://orcid.org/0000-0002-2661-7661>

## Selenio (Se) es un micronutriente esencial para la mayoría de los seres vivos

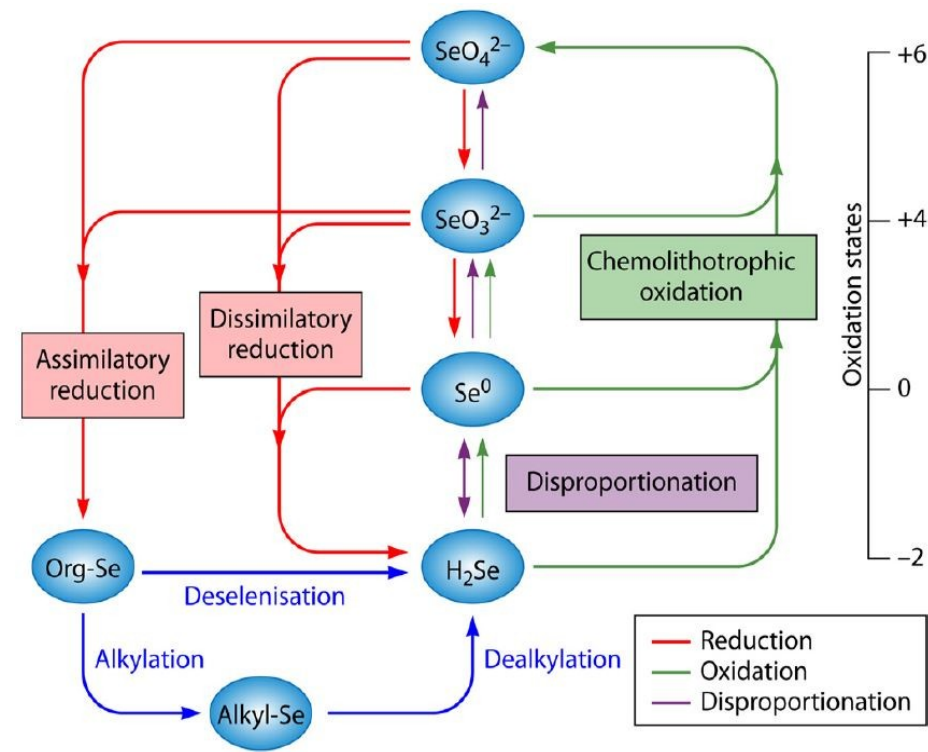
En la naturaleza:

- Formas inorgánicas:  $\text{SeO}_4^{2-}$   $\text{SeO}_3^{2-}$
- Selenio elemental:  $\text{Se}^0$  (SeNPs)
- Formas orgánicas: seleno-amino ácidos y seleno-proteínas

**Microorganismos pueden  
biotransformar Se**



**inorgánico en orgánico**



**Menos tóxico y de mayor biodisponibilidad que el Se inorgánico**

## Importancia de la Ingesta de Selenio

**La deficiencia de Se** afecta a 500-1000 millones de personas en el mundo.  
Ingesta Diaria Recomendada (IDR): **35-55 µg/d para adultos**

- Desbalance del sistema inmunológico
- Mayor susceptibilidad a infecciones virales y bacterianas
- Incremento de la mortalidad (enfermedades del estrés oxidativo: algunos tipos de cáncer y envejecimiento)
- Pérdida de la fertilidad (masculina)
- Disminución de la función tiroidea
- Enfermedades neurológicas como Alzheimer y Parkinson



Enfermedad del músculo blanco



Daño hepático

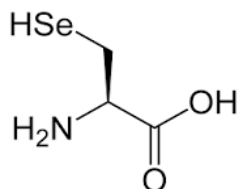
(Se)

Sitio activo de numerosas enzimas

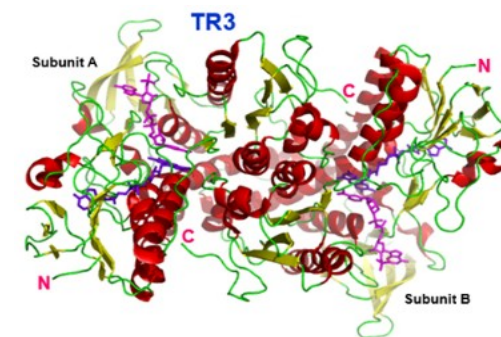
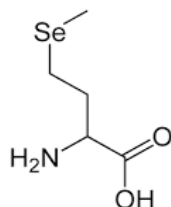


glutación peroxidasa  
iodotironina deiodinasa  
tioredoxina reductasa

**Selenocisteína (SeCys)**



**Selenometionina (SeMet)**



**The Human Selenoproteome**

| Antioxidant enzymes  | Redox signalling        | Thyroid hormone metabolism | Sec synthesis | Transport and storage of Se | Protein folding (potential)   | Unknown function                     |
|--|-------------------------|----------------------------|---------------|-----------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| GPx1<br>GPx2<br>GPx3<br>GPx4<br>GPx6<br>SelK<br>SelR<br>SelW | TrxR1<br>TrxR2<br>TrxR3 | DIO1<br>DIO2<br>DIO3       | SPS 2         | Sel P                       | Sep15<br>SelN<br>SelM<br>SelS | SelH<br>SelI<br>SelO<br>SelT<br>SelV |

**El consumo de Se a través de los alimentos** está directamente relacionado con la concentración de Se en el suelo que varía según el país y región geográfica

- Elevado en oeste de EE.UU. y Japón
- Bajo en Europa del Este y Australia
- Argentina escaso. IDR < (25-35  $\mu\text{g}$  Se/d)

### Alimentos ricos en Se



Espárragos



Nueces de Brasil



Hongos



Cebolla



Mostaza



# BACTERIAS LÁCTICAS (BAL)

Grupo amplio y heterogéneo de microorganismos

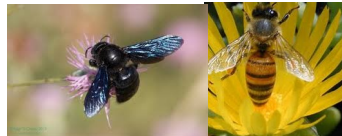
## HÁBITATS NATURALES



suelo



frutas y vegetales



insectos

**Filum:** Bacilota  
**Clase:** Bacillares  
**Orden:** Lactobacillales  
**Familias:** 5  
**Géneros:** 68

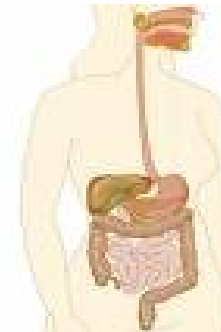
Metabolismo  
Fermentativo

GRAM (+) CATALASA (-)

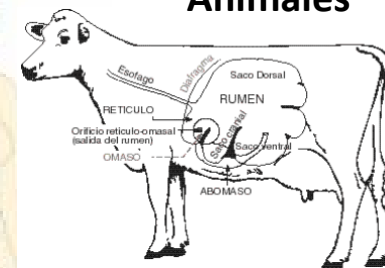
- ✓ homoláctico y heteroláctico
- ✓ Requerimientos nutricionales complejos
- ✓ Grado alimentario (GRAS)



Animales



TGI humano y animal



Cavidad oral y urogenital

## DIVERSIDAD DE ALIMENTOS FERMENTADOS



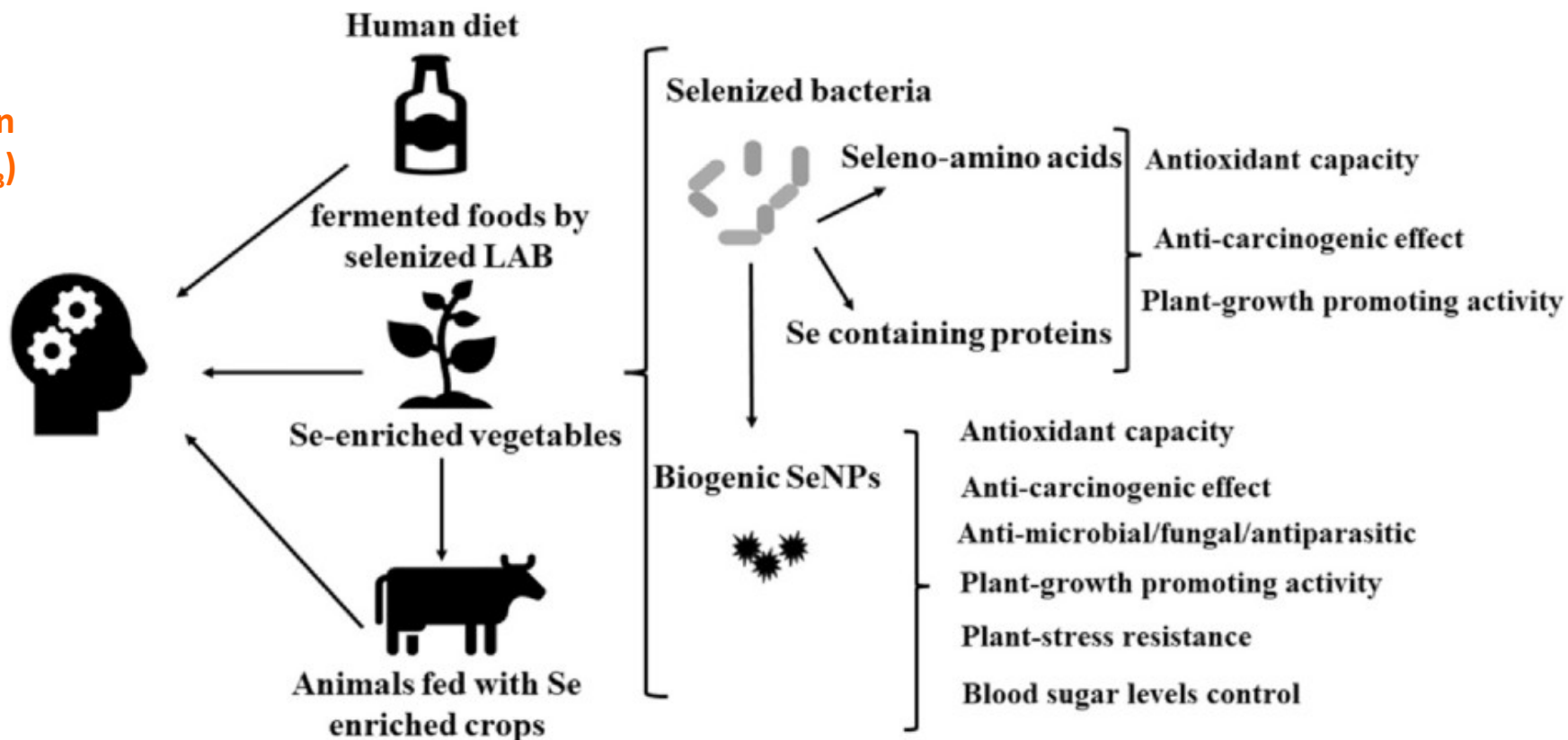
Origen lácteo, vegetal y animal

## Fortificación de alimentos con Se: microorganismos selenizados y compuestos bioactivos de Se

**Bacterias selenizadas:**  
crecidas previamente en  
presencia de Se ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ )

SeNPs

Seleno-  
aminoácidos







100 cepas de BAL  
genotípicamente  
diferentes aisladas de  
frutas tropicales y sus  
flores

# Biotransformation of Selenium by Lactic Acid Bacteria: Formation of Seleno-Nanoparticles and Seleno-Amino Acids

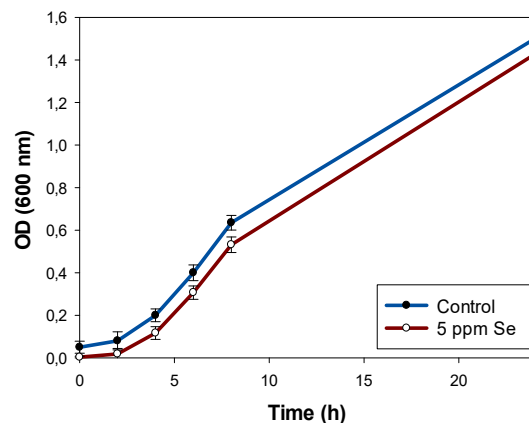
*Fernando Gabriel Martínez<sup>1,2</sup>, Gustavo Moreno-Martin<sup>2</sup>, Micaela Pescuma<sup>1</sup>, Yolanda Madrid-Albarrán<sup>2</sup> and Fernanda Mozzi<sup>1\*</sup>*

<sup>1</sup> Centro de Referencia para Lactobacilos (CERELA-CONICET), Tucumán, Argentina, <sup>2</sup> Departamento de Química Analítica, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, España

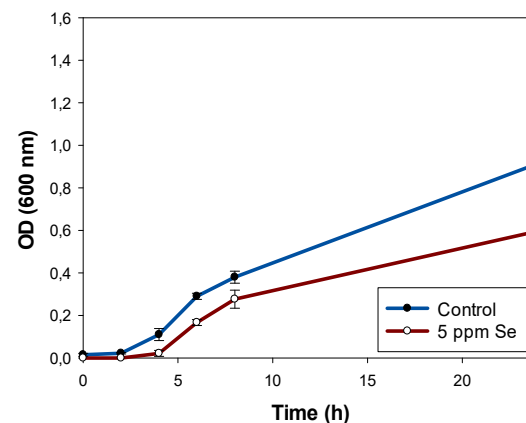
# Crecimiento microbiano en presencia de Se (5 ppm $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ )

Todas las cepas  
crecieron en  
presencia de Se

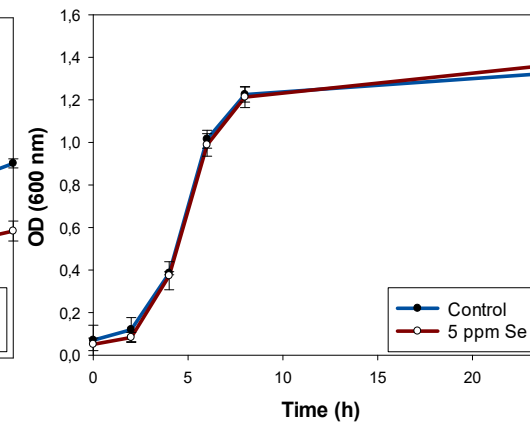
*Lactobacillus brevis* 78



*Enterococcus hirae* 90

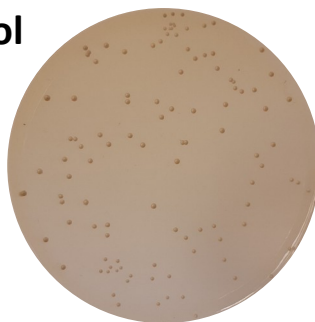


*Fructobacillus tropaeoli* CRL 2038

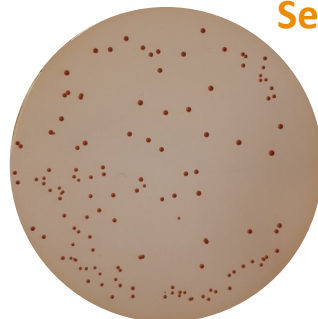


*Levilactobacillus brevis* CRL 2051

Control

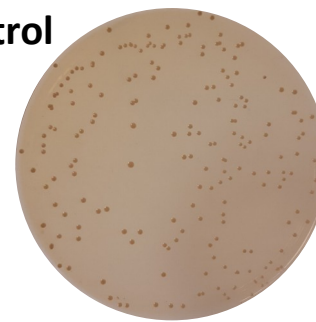


Se

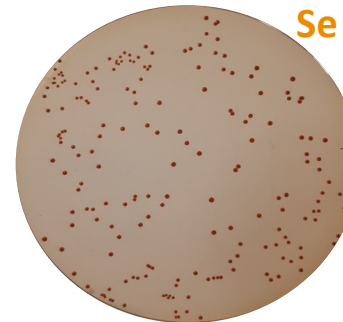


*F. tropaeoli* CRL 2034

Control



Se



Incubación a 30 °C 48 h

Colonias naranjas-rojizas  
en presencia de Se



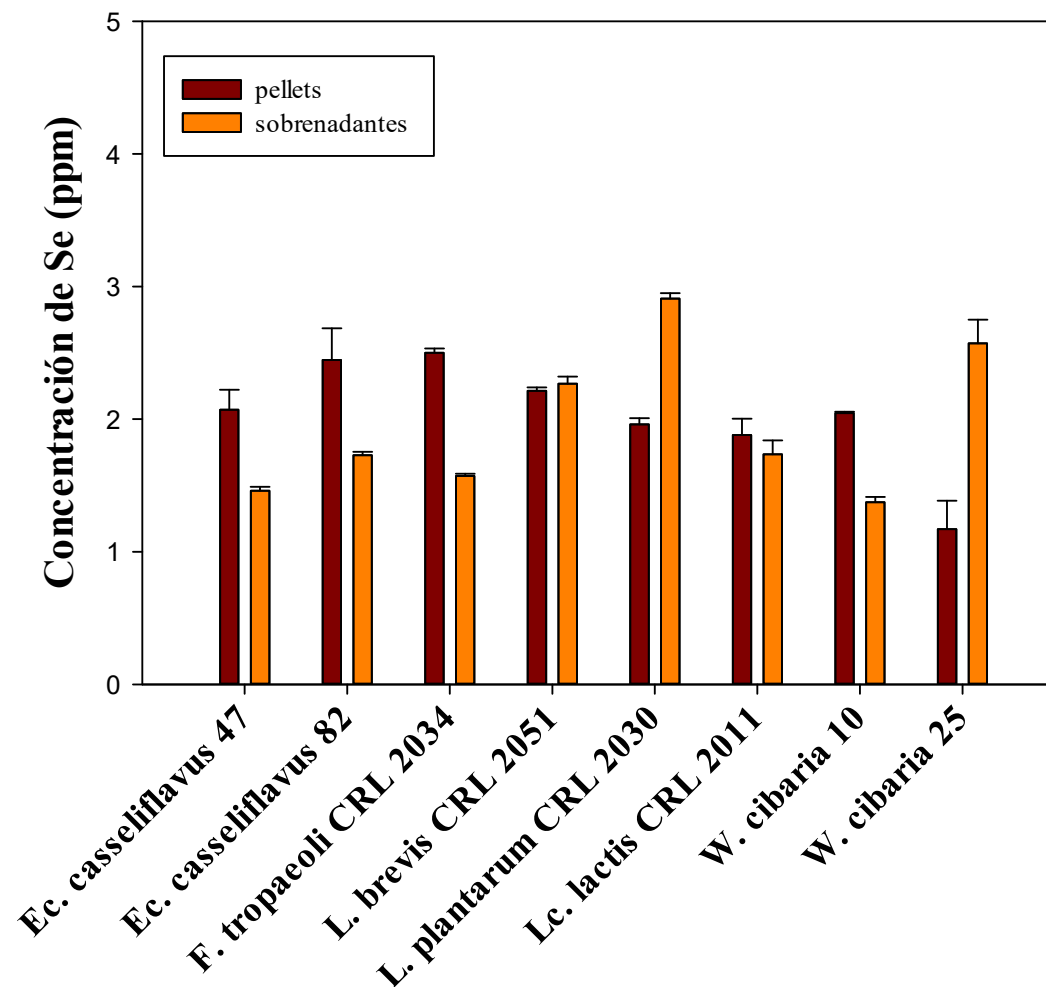
SeNPs

## Acumulación intracelular de Se por BAL

Cepas BAL > 80% remoción

*Lc. lactis* subsp. *lactis* CRL 2011  
*W. cibaria* 10 y 25  
*L. brevis* CRL 2051  
*L. plantarum* CRL 2030  
*Ec. casseliflavus* 47 y 82  
*F. tropaeoli* CRL 2034

ICP-MS

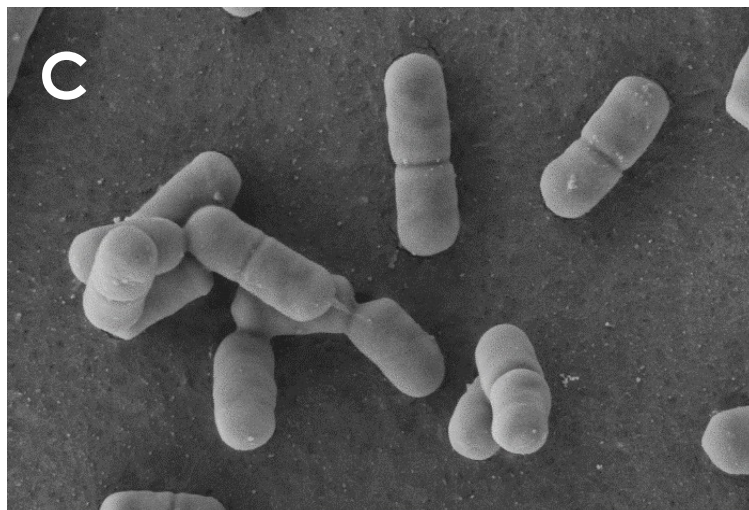


➡ - Seleno-nanopartículas?  
- Seleno-amino ácidos?

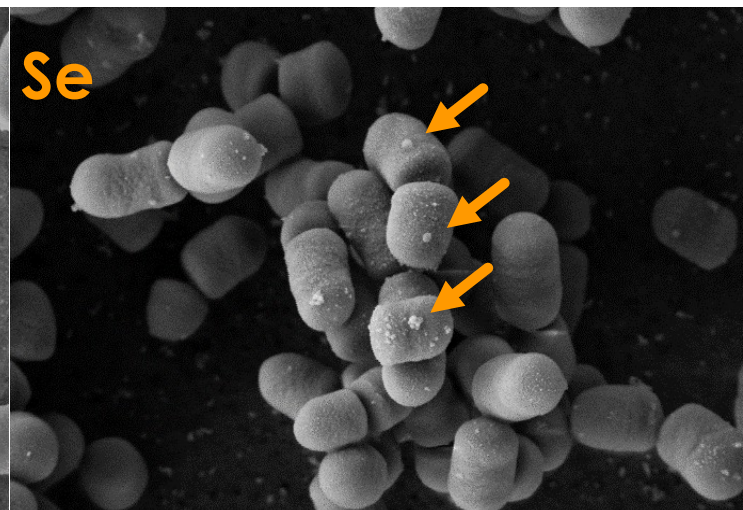
# Formación de SeNPs por BAL

*Levilactobacillus brevis* CRL 2051

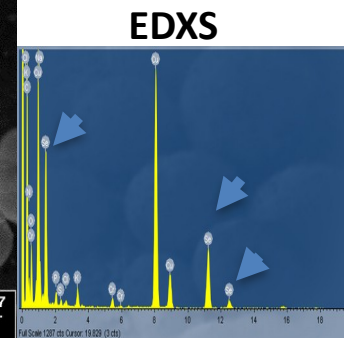
MEB



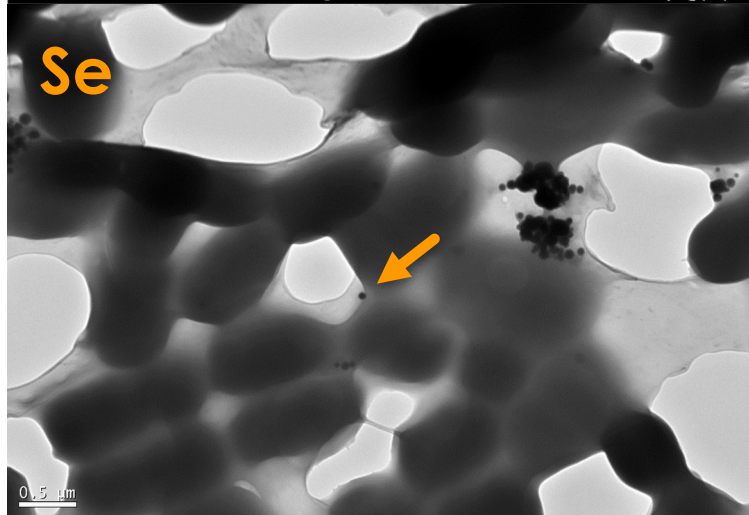
SUPRA 55VP-25-83 1 µm Mag = 40.00 K X EHT = 3.00 kV Noise Reduction = Pixel Avg. Date :20 Dec 2017 Time :16:15:48 Aperture Size = 30.00 µm System Vacuum = 6.49e-006 mBar Chamber Status = Pumping (HV) Signal A = SE2



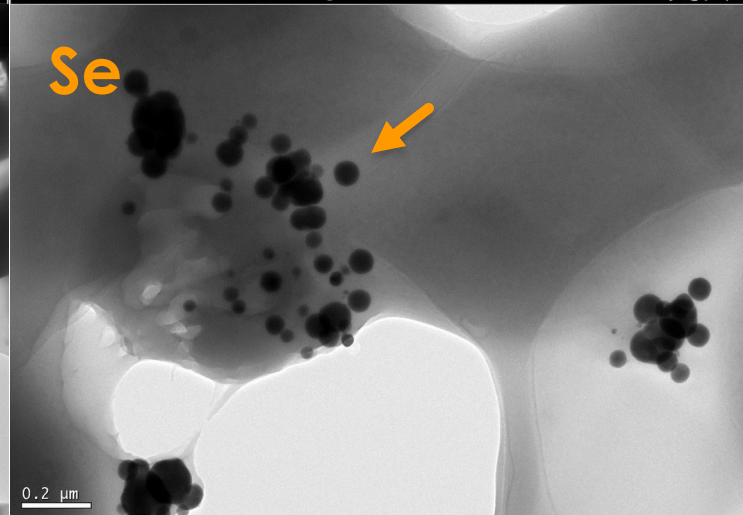
SUPRA 55VP-25-83 1 µm Mag = 40.00 K X EHT = 3.00 kV Noise Reduction = Pixel Avg. Date :20 Dec 2017 Time :16:32:37 Aperture Size = 30.00 µm System Vacuum = 5.94e-006 mBar Chamber Status = Pumping (HV) Signal A = SE2



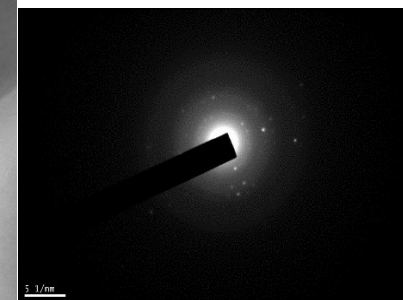
MET



0.5 µm



0.2 µm

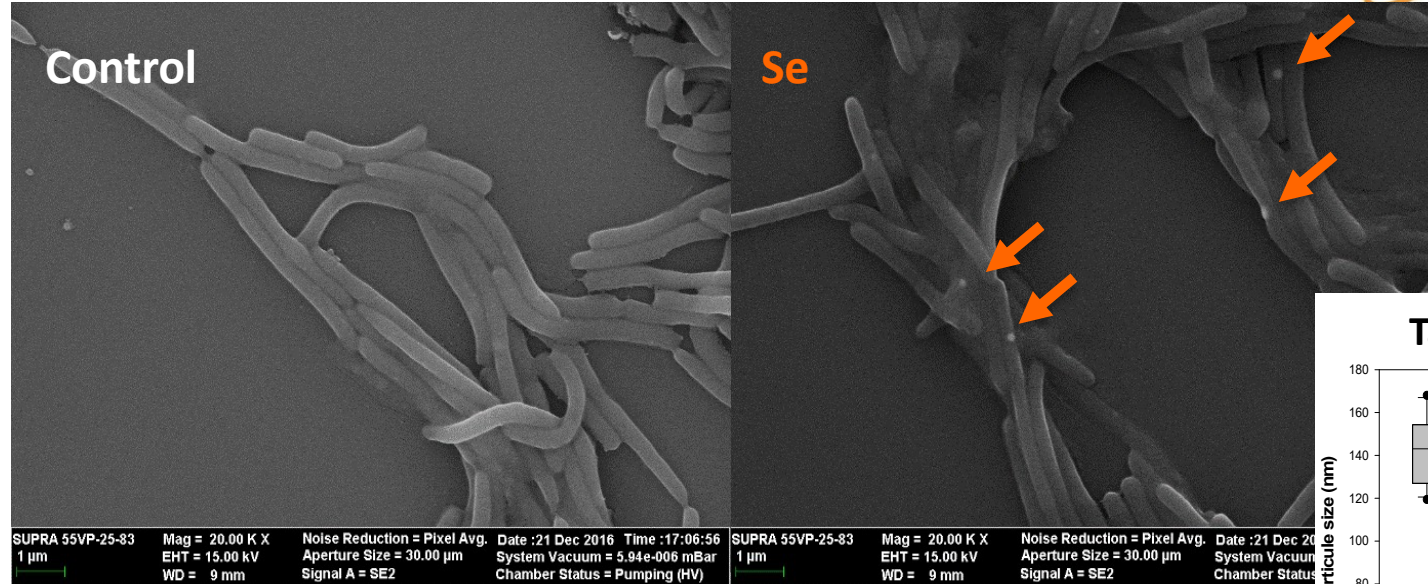


SeNP cristalinas

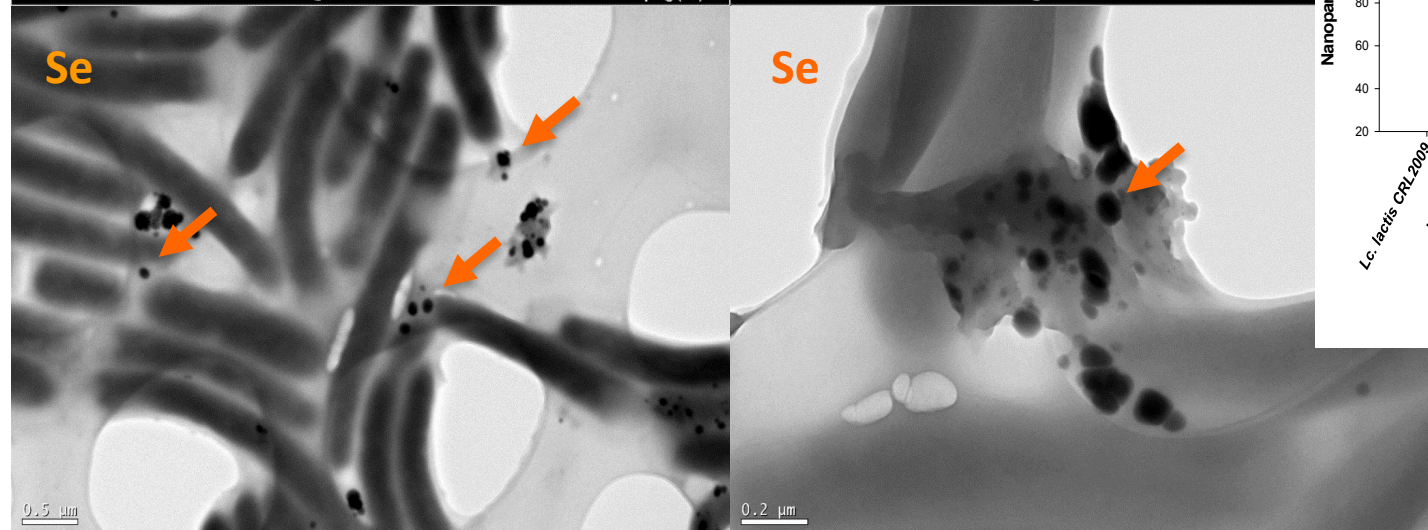


# Fructobacillus tropaeoli CRL 2034

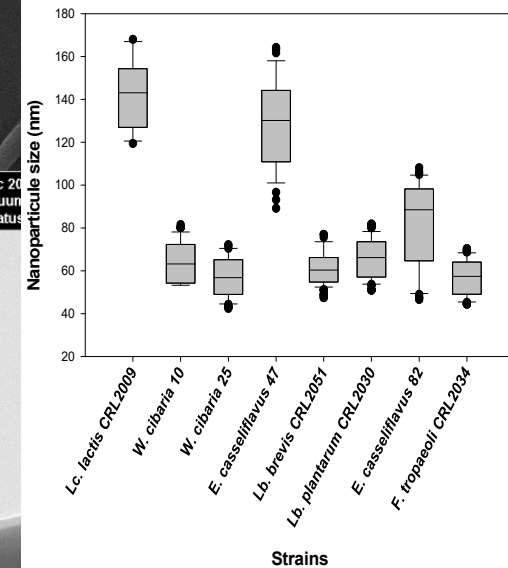
MEB



MET



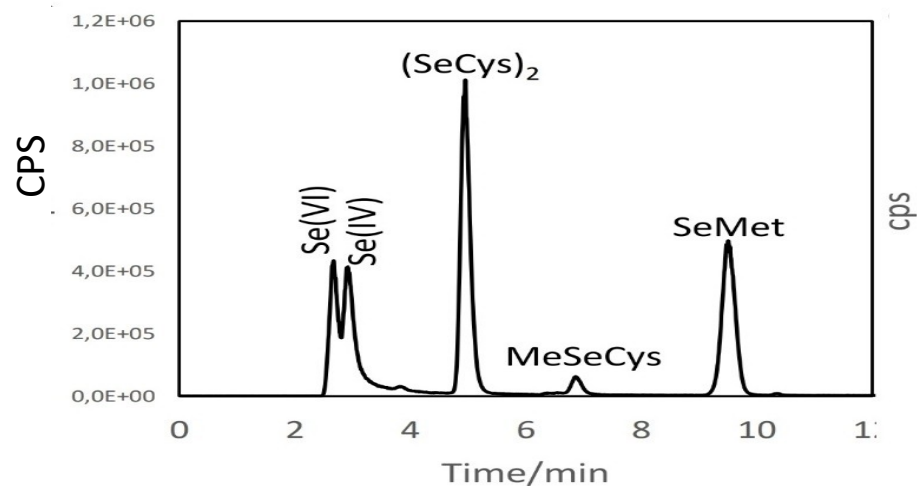
Tamaño de las SeNP



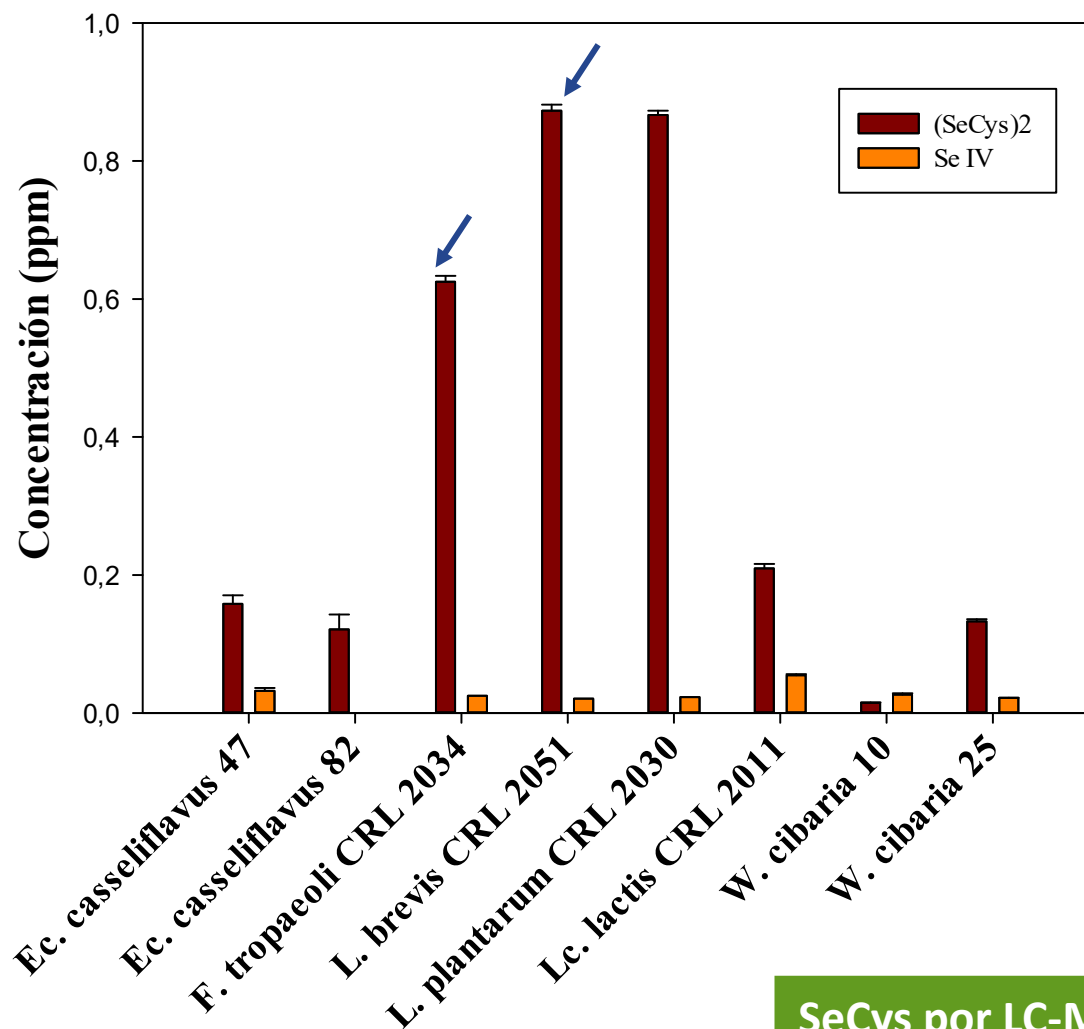
Tamaño SeNP:  
50-140 nm

**Pellets celulares hidrolizados enzimáticamente**  
(lisoizima y proteasa)

LC-ICP-MS Intercambio iónico (PRP-X100)



**Se(Cys)<sub>2</sub> – SeMet – SeMetSeCys – Se (IV) – Se (VI)**



SeCys por LC-MS/MS

## Bebida fermentada enriquecida en Se usando BAL selenizadas



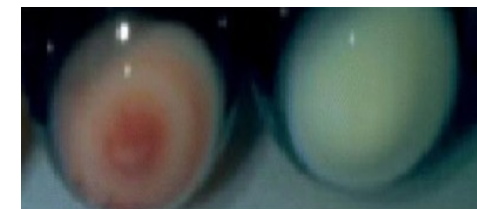
3:1 (v/v)

### Células selenizadas incubadas previamente con $\text{Na}_2\text{SeO}_3$

- *L. brevis* CRL 2051 (2%, ca.  $10^7$  ufc/ml)
- *F. tropaeoli* CRL 2034 (2%, ca.  $10^7$  ufc/ml)

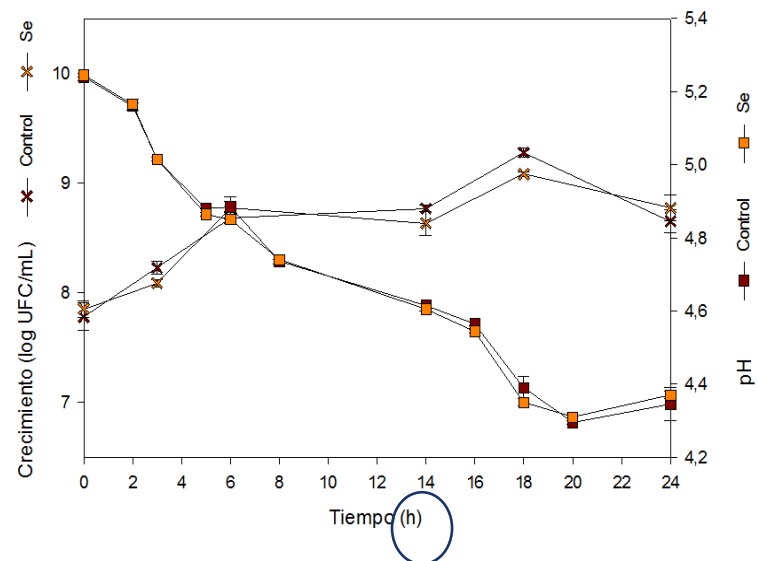
### Co-cultivo

- *L. brevis* CRL 2051 (1%, v/v)
- *F. tropaeoli* CRL 2034 (1%, v/v)

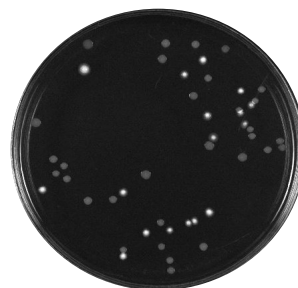
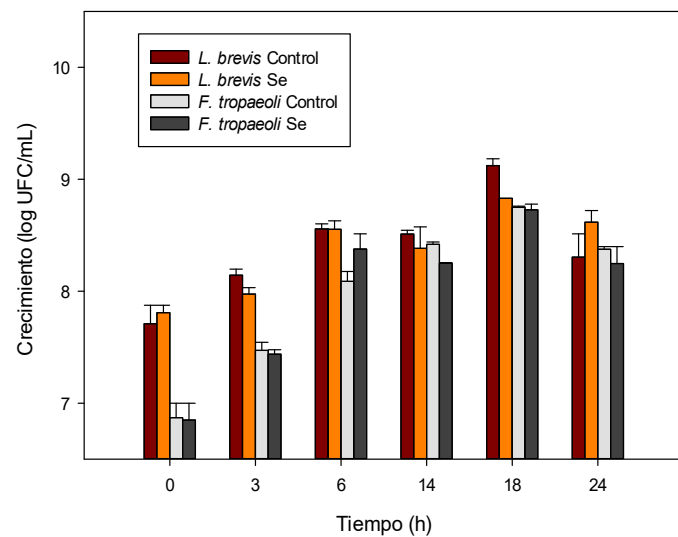


- Crecimiento celular  $\longrightarrow$  30 °C 24 h
- Consumo de azúcares y producción de ácidos orgánicos (HPLC)
- Se total y seleno-aminoácidos (LC-ICP-MS)

## Recuento total Co-cultivo

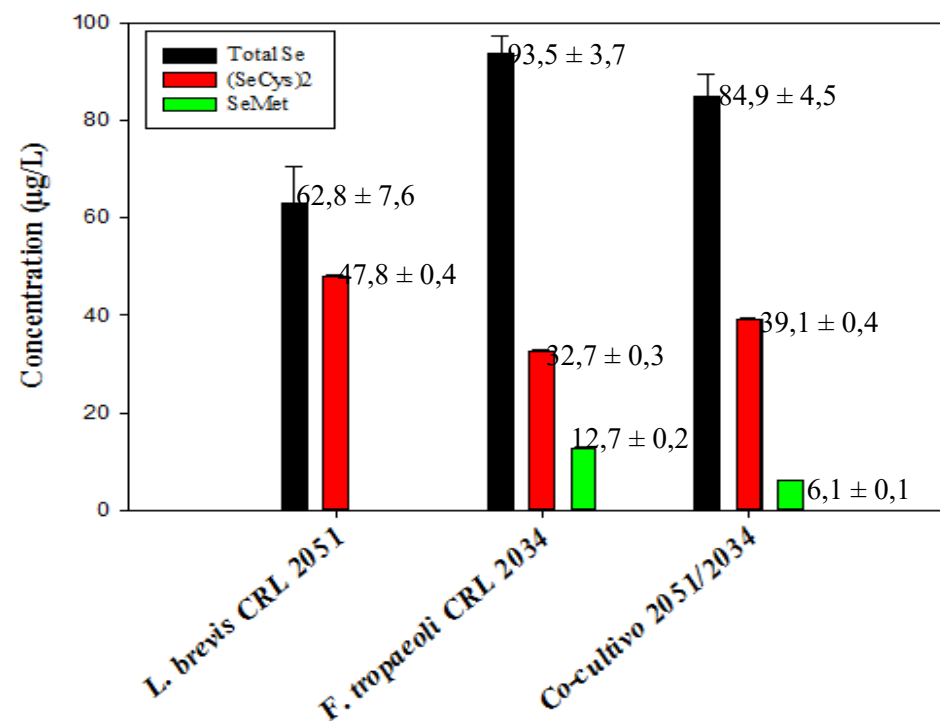


## Recuento diferencial Co-cultivo



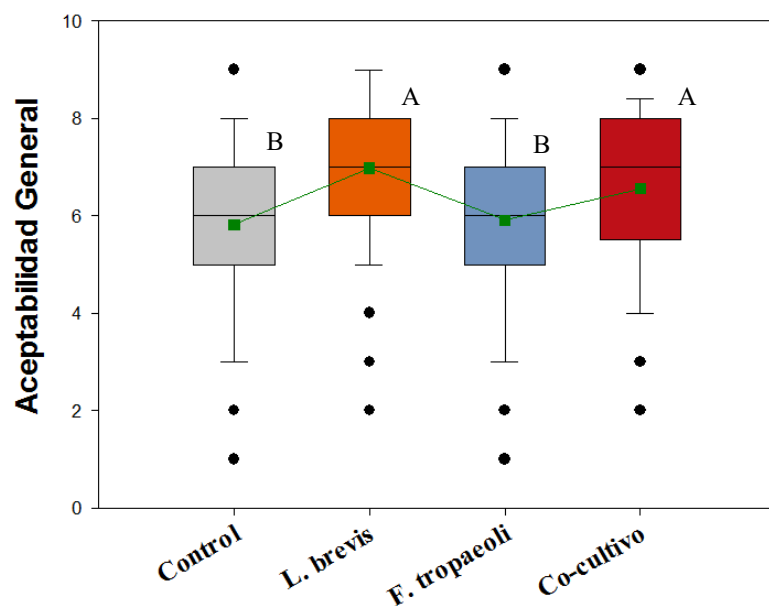
CRL 2034

## Se total y selenoaminoácidos en las bebidas

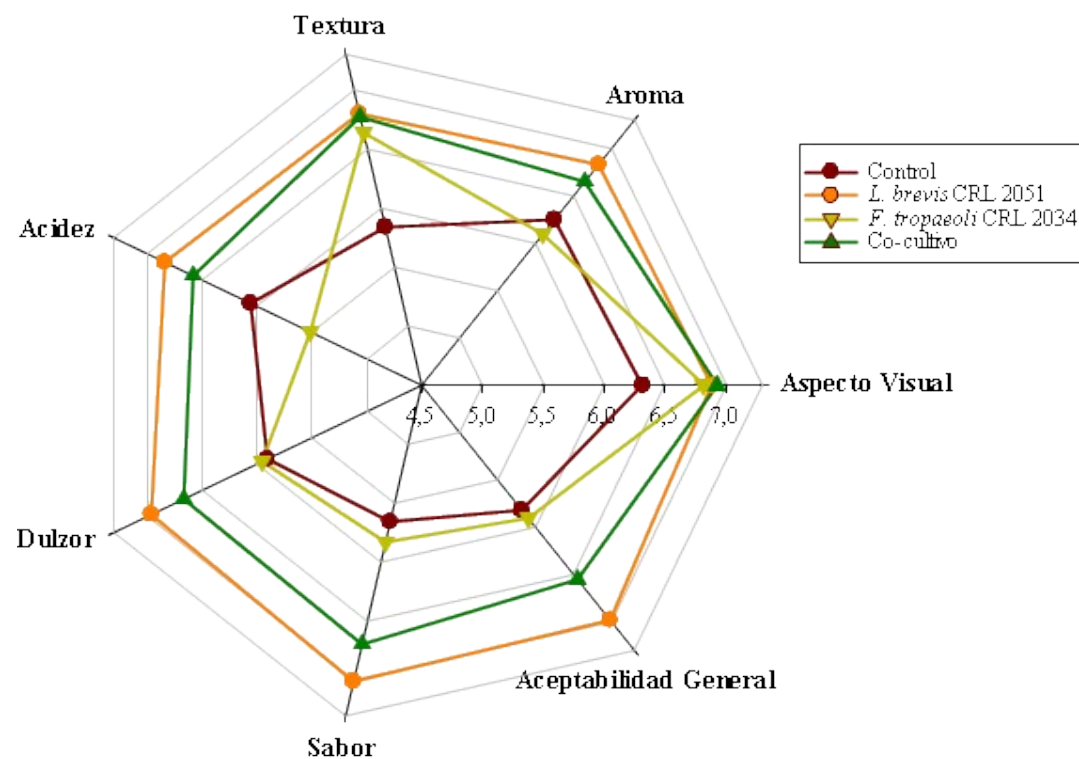




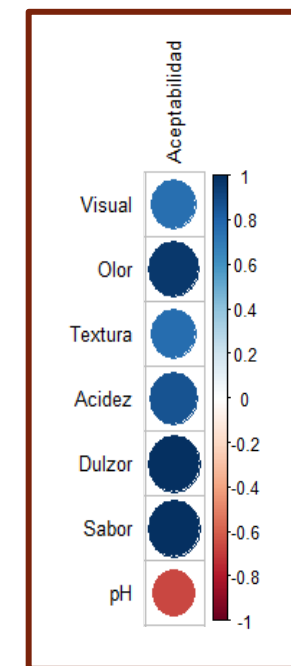
# Análisis sensorial y aceptabilidad global de las bebidas



Aceptabilidad general de las bebidas fermentadas y sin fermentar. Distribución de los datos (Boxplot de los valores asignados a la escala hedónica usada) y el promedio (verde). Letras diferentes refiere a valores significativamente diferentes. Nivel de significancia  $\alpha = 0,05$

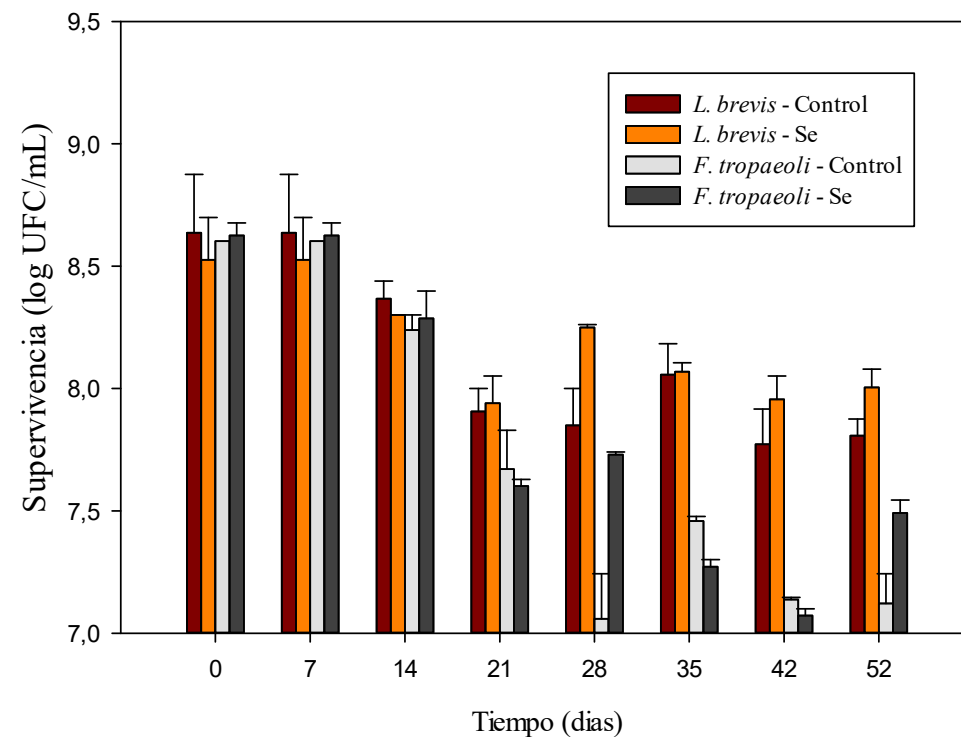
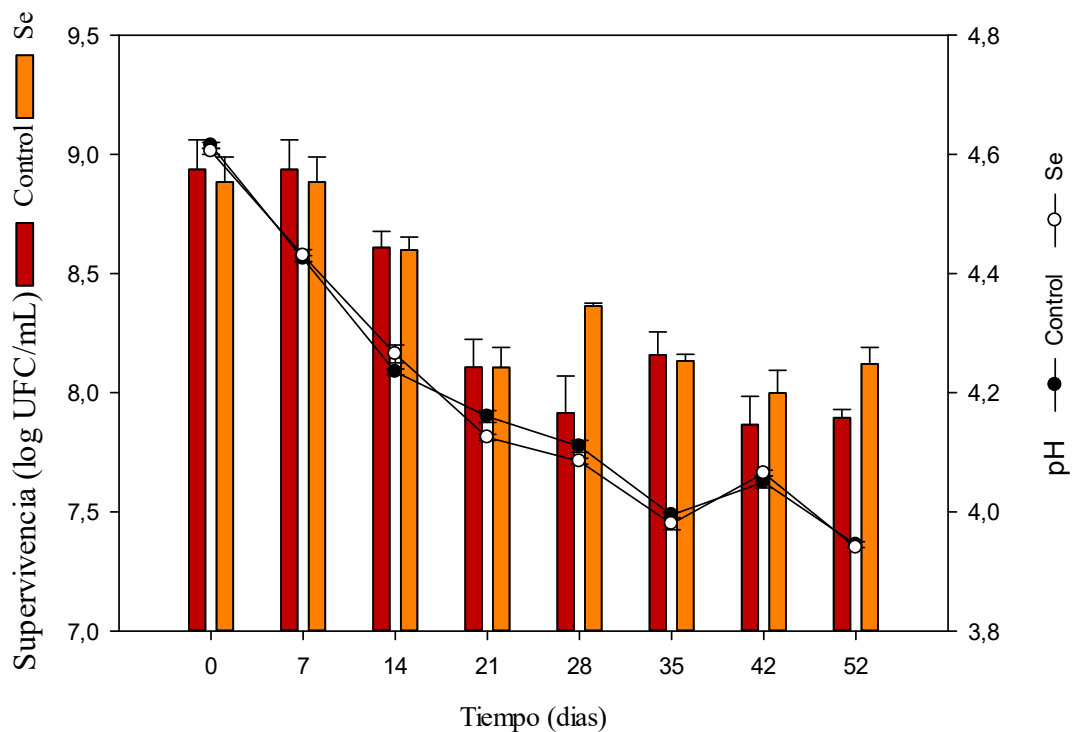


Análisis sensorial comparativo. Se representan las medias aritméticas de los valores asignados a la escala hedónica para cada atributo sensorial y para la aceptabilidad general de las bebidas



Coefficiente de correlación de Pearson

## Sobrevida de las BAL en la bebida fermentada durante la vida de estante



Almacenamiento a 6°C durante 52 días de la bebida fermentada. Recuento total y diferencial de las BAL presentes en las bebidas y valores de pH.

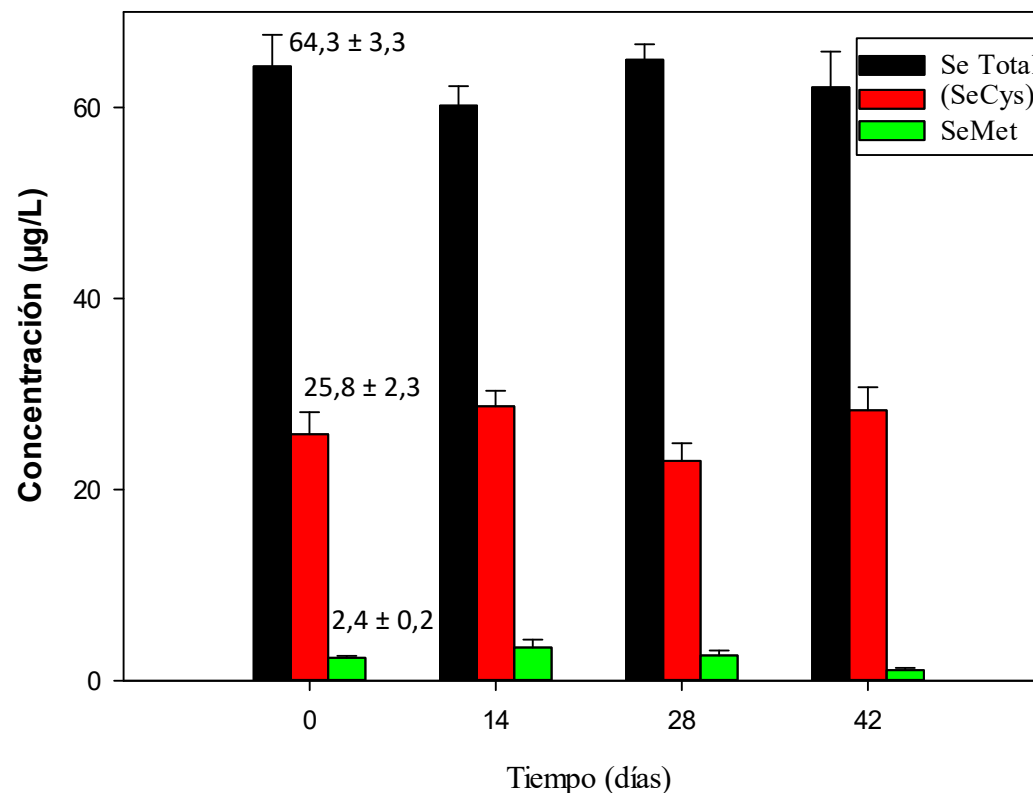
# Bioaccesibilidad de Se. Liberación de Se luego del pasaje por el sistema GIT *in vitro* de la bebida fermentada con el cultivo mixto



Bebidas fermentadas con células selenizadas (5 ppm Se) y no-selenizadas 30 °C, 14 h

## Sistema GIT *in vitro*

1. mucina: 15 min
2. Pepsina (pH 1.8): 2 h
3. Pancreatina y sales biliares (pH 8.0): 6 h



250 ml cubriría el 64% de la IDR de Se (25 µg/d), siendo 28% seleno-aminoácidos

Concentración de Se total y de especies de Se en sobrenadantes al final del pasaje del TGI *in vitro* a diferentes tiempos de la vida de estante de la bebida fermentada con células selenizadas  
(SeCys)<sub>2</sub>: Selenocistina; SeMet: SelenoMetionina



Contents lists available at ScienceDirect

International Dairy Journal

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/idaairyj](http://www.elsevier.com/locate/idaairyj)

## Preparation of elemental selenium-enriched fermented milk by newly isolated *Lactobacillus brevis* from kefir grains

Yu Deng <sup>a, c</sup>, Chaoxin Man <sup>b, c</sup>, Ying Fan <sup>a, c</sup>, Zhe Wang <sup>a, c</sup>, Li Li <sup>a, c</sup>, Huan Ren <sup>a, c</sup>,  
Weijia Cheng <sup>a</sup>, Yujun Jiang <sup>a, b, c, \*</sup>

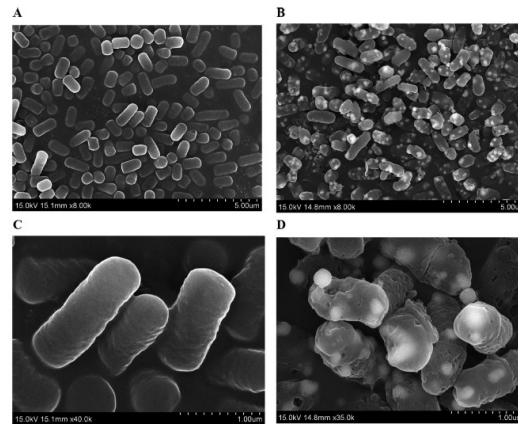


Fig. 1. The morphology of selenium enriched *L. brevis* grown by scanning electron microscope analysis; panels A and C, without sodium selenite; panels B and D, with 5 mM sodium selenite.

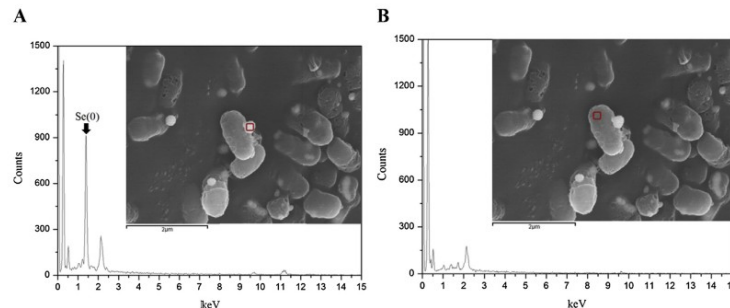


Fig. 2. Nano-particles around the cells in 5 mM selenite analysed using a scanning electron microscope equipped with energy dispersion X-ray spectroscopy (EDX). Panel A, selected nanoparticle area around the cells; EDX spectrum analysis indicates Se(0) characteristic peak (near 1.37 keV). Panel B; other part of the cells (non-nanoparticle area); EDX spectrum analysis indicates no Se(0) characteristic peak.

Food Chemistry 164 (2014) 371–379



Contents lists available at ScienceDirect

Food Chemistry

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/foodchem](http://www.elsevier.com/locate/foodchem)

## Se metallomics during lactic fermentation of Se-enriched yogurt

María Palomo, Ana M. Gutiérrez, M. Concepción Pérez-Conde, Carmen Cámara, Yolanda Madrid <sup>\*</sup>



Departamento de Química Analítica, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Complutense de Madrid (UCM), 28040 Madrid, Spain



# Cuál es el efecto de la selenización en quesos?



## Effect of feed selenium supplementation on milk selenium distribution and mozzarella quality

H. Y. Liu,\* W. Z. Zhu,\* B. Y. Lu,† Z. H. Wei,\* and D. X. Ren\*<sup>1</sup>

\*Institute of Dairy Science, College of Animal Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

†Key Laboratory for Agro-Food Risk Assessment of Ministry of Agriculture, College of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China

**Alimentación animal (16 vacas lecheras raza Holstein)  
sin y con suplementación con Se: 0.3 mg Se/Kg peso  
seco durante 2 meses  
Levadura de Se (SeMet)**

- Concentración y distribución de Se en:

1) Leche (caseína, lactosuero, grasa)

2) Queso Mozzarella (suero, agua caliente, salmuera)

- Composición nutricional
- Propiedades funcionales

**Table 5.** Selenium concentrations ( $\mu\text{g/L}$ ) and distribution in different components of milk and cheese, expressed as mean  $\pm$  SD

| Component                  | Se              | Control         |
|----------------------------|-----------------|-----------------|
| Milk                       |                 |                 |
| Total                      | $35.8 \pm 3.89$ | $5.5 \pm 1.22$  |
| Casein (%)                 | $45.6 \pm 5.31$ | $42.4 \pm 6.57$ |
| Whey (%)                   | $44.6 \pm 4.57$ | $46.9 \pm 7.33$ |
| Fat (%)                    | $9.82 \pm 2.14$ | $10.7 \pm 3.08$ |
| Cheese                     |                 |                 |
| Total ( $\mu\text{g/kg}$ ) | $146 \pm 10.3$  | $20.4 \pm 2.34$ |
| Whey                       | $13.3 \pm 1.56$ | $2.24 \pm 0.28$ |
| Hot water                  | $1.43 \pm 0.21$ | ND <sup>1</sup> |
| Brine                      | $0.51 \pm 0.13$ | ND              |

<sup>1</sup>Not detected.

**Quesos con Se de 2 meses de maduración**  
**> meltabilidad > fluidez > estirabilidad**  
**que los quesos sin Se**

**Table 6.** Selenium components and concentration in milk and cheese dry samples, expressed as means  $\pm$  SD

| Item   | Milk (ng/g)  | Cheese (ng/g) |
|--------|--------------|---------------|
| Se-Met | $146 \pm 11$ | $215 \pm 15$  |
| Se-Cys | $65 \pm 8$   | $123 \pm 13$  |
| Other  | $70 \pm 9$   | $105 \pm 14$  |

- La suplementación con Se condujo a > contenido de Se en leche y quesos
- No afectó la composición y textura del queso Mozzarella fresco
- Las propiedades funcionales del queso madurado por 2 meses fueron mejores con Se
- El Se presente en leche y quesos consistió en SeMet y Se-Cys que fueron producidos durante la maduración



J. Dairy Sci. 102:6853–6862  
<https://doi.org/10.3168/jds.2019-16382>

© American Dairy Science Association®, 2019.

## Effects of selenium supplementation on chemical composition and aromatic profiles of cow milk and its derived cheese

Andrea Ianni,<sup>1</sup> Francesca Bennato,<sup>1</sup> Camillo Martino,<sup>2</sup> Denise Innosa,<sup>1</sup> Lisa Grotta,<sup>1</sup> and Giuseppe Martino<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Faculty of BioScience and Technology for Food, Agriculture and Environment, University of Teramo, Italy 64100

<sup>2</sup>Department of Veterinary Medicine, University of Perugia, Italy 06126

**Alimentación animal (32 vacas lecheras raza Friesian): 0.45 mg Se/Kg con SeMet peso seco alimento durante 63 días**

Se evaluó

### Leche

- Rendimiento de producción
- Composición química y Se

### Queso Caciocavallo (7 y 120 días de maduración)

- Composición química
- Perfil de ácidos grasos y compuestos orgánicos volátiles (VOC)



**Table 2.** Milk yield and chemical composition of milk obtained from the control group (CG) and the experimental group (SeG)

| Variable                                      | Diet         |              | P-value |
|---|--------------|--------------|---------|
|   | CG           | SeG          |         |
| Milk yield (kg)                               | 37.15 ± 2.26 | 39.63 ± 3.01 | NS      |
| Composition                                   |              |              |         |
| Fat (%)                                       | 3.47 ± 0.31  | 3.01 ± 0.27  | NS      |
| Protein (%)                                   | 3.11 ± 0.26  | 3.10 ± 0.29  | NS      |
| Casein (%)                                    | 2.40 ± 0.18  | 2.41 ± 0.21  | NS      |
| Lactose (%)                                   | 4.67 ± 0.40  | 4.73 ± 0.24  | NS      |
| Urea (mg/100 mL)                              | 20.88 ± 1.51 | 21.10 ± 1.42 | NS      |
| SCC ( $\times 10^3$ cells/mL)                 | 208.0 ± 15.0 | 153.0 ± 11.0 | *       |
| Total bacterial count ( $\times 10^8$ cfu/mL) | 38.0 ± 7.0   | 31.0 ± 5.0   | NS      |
| pH  | 6.51 ± 0.07  | 6.50 ± 0.06  | NS      |
| Se ( $\mu\text{g/kg}$ )                       | 39.0 ± 1.17  | 49.46 ± 3.32 | **      |

\* $P < 0.05$ ; \*\* $P < 0.01$ .

**Table 3.** Chemical composition of cheese obtained from the control group (CG) and the experimental group (SeG), analyzed at 7 ( $T_7$ ) and 120 ( $T_{120}$ ) d after cheese-making

| Item                     | $T_7$                     |                           | $T_{120}$                 |                           |
|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                          | CG                        | SeG                       | CG                        | SeG                       |
| DM (%)                   | 54.91 <sup>A</sup> ± 3.71 | 53.21 <sup>A</sup> ± 4.32 | 66.57 <sup>B</sup> ± 3.86 | 65.12 <sup>B</sup> ± 4.14 |
| Fat <sup>1</sup> (%)     | 39.37 ± 2.92              | 41.15 ± 3.22              | 37.74 ± 3.31              | 37.96 ± 2.83              |
| Protein <sup>1</sup> (%) | 54.18 ± 3.78              | 50.17 ± 2.92              | 49.58 ± 3.42              | 49.03 ± 3.61              |
| Ash <sup>1</sup> (%)     | 4.43 ± 0.34               | 5.24 ± 0.52               | 5.62 ± 0.49               | 6.02 ± 0.57               |
| Se ( $\mu\text{g/kg}$ )  | 208.0 <sup>a</sup> ± 9.2  | 290.0 <sup>b</sup> ± 10.4 | 193.0 <sup>a</sup> ± 5.7  | 306.0 <sup>b</sup> ± 7.9  |

<sup>a,b</sup>Means with different superscripts are significantly different by diet ( $P < 0.05$ ).

<sup>A,B</sup>Means with different superscripts are significantly different by ripening time ( $P < 0.05$ ).

<sup>1</sup>Data expressed on a DM basis.

**Table 4.** Fatty acid profile of bulk milk and cheeses obtained from the control group (CG) and the experimental group (SeG)<sup>1</sup>

| Item   | Milk         |              |         | Cheese       |              |         |
|--|--------------|--------------|---------|--------------|--------------|---------|
|  | CG           | SeG          | P-value | CG           | SeG          | P-value |
| C10:0  | 3.21 ± 0.23  | 3.08 ± 0.18  | NS      | 3.43 ± 0.27  | 3.60 ± 0.32  | NS      |
| C12:0  | 3.99 ± 0.31  | 3.87 ± 0.32  | NS      | 4.13 ± 0.34  | 3.96 ± 0.29  | NS      |
| C14:0  | 12.88 ± 1.05 | 12.22 ± 1.12 | NS      | 12.56 ± 0.98 | 12.06 ± 1.07 | NS      |
| C14:1  | 0.46 ± 0.05  | 0.68 ± 0.06  | *       | 0.73 ± 0.06  | 0.81 ± 0.07  | NS      |
| C15:0  | 1.23 ± 0.11  | 1.18 ± 0.08  | NS      | 1.51 ± 0.12  | 1.53 ± 0.13  | NS      |
| C16:0  | 36.55 ± 2.23 | 34.49 ± 2.31 | NS      | 35.78 ± 3.02 | 34.64 ± 3.2  | NS      |
| C16:1  | 1.55 ± 0.09  | 1.72 ± 0.12  | NS      | 1.22 ± 0.08  | 1.43 ± 0.14  | NS      |
| C17:0  | 0.55 ± 0.05  | 0.52 ± 0.05  | NS      | 0.58 ± 0.06  | 0.56 ± 0.05  | NS      |
| C18:0  | 8.72 ± 0.74  | 7.91 ± 0.71  | NS      | 9.20 ± 0.81  | 9.19 ± 0.72  | NS      |
| C18:1 <i>trans</i> -11                           | 0.68 ± 0.06  | 0.73 ± 0.06  | NS      | 0.58 ± 0.06  | 0.53 ± 0.05  | NS      |
| C18:1 <i>cis</i> -9                              | 15.95 ± 1.02 | 17.43 ± 1.13 | NS      | 15.41 ± 1.21 | 15.64 ± 0.97 | NS      |
| C18:1 <i>cis</i> -11                             | 0.38 ± 0.04  | 0.45 ± 0.04  | NS      | 0.45 ± 0.04  | 0.53 ± 0.05  | NS      |
| C18:2  | 1.83 ± 0.16  | 2.21 ± 0.18  | *       | 1.96 ± 0.21  | 2.46 ± 0.16  | *       |
| C18:3  | 0.46 ± 0.05  | 0.52 ± 0.05  | NS      | 0.64 ± 0.06  | 0.55 ± 0.05  | NS      |
| CLA <i>cis</i> -9, <i>trans</i> -11 <sup>2</sup> | 0.29 ± 0.03  | 0.38 ± 0.04  | *       | 0.26 ± 0.03  | 0.37 ± 0.04  | *       |
| C20:4  | 0.19 ± 0.02  | 0.22 ± 0.02  | NS      | 0.17 ± 0.02  | 0.18 ± 0.02  | NS      |
| MUFA   | 19.02 ± 1.13 | 21.01 ± 1.65 | NS      | 18.39 ± 0.77 | 19.14 ± 0.91 | NS      |
| PUFA   | 2.77 ± 0.21  | 3.29 ± 0.28  | NS      | 3.03 ± 0.21  | 3.46 ± 0.23  | NS      |
| SFA  | 67.13 ± 2.09 | 63.47 ± 1.34 | *       | 67.19 ± 2.14 | 65.54 ± 2.02 | NS      |
| Atherogenic index <sup>3</sup>                   | 4.20 ± 0.29  | 3.62 ± 0.24  | **      | 4.17 ± 0.18  | 3.84 ± 0.11  | *       |
| Thrombogenic index <sup>3</sup>                  | 4.77 ± 0.36  | 4.06 ± 0.31  | *       | 4.58 ± 0.24  | 4.38 ± 0.22  | NS      |
| Desaturation index <sup>3</sup>                  | 0.03 ± 0.00  | 0.05 ± 0.00  | *       | 0.05 ± 0.00  | 0.06 ± 0.00  | NS      |

<sup>1</sup>Individual fatty acids (FA) are expressed as percent of total FA. Data are reported as mean (%) ± SD.

<sup>2</sup>CLA *cis*-9,*trans*-11 = rumenic acid.

<sup>3</sup>Atherogenic index: (C12:0 + 4·C14:0 + C16:0)/[Σ MUFA + Σ PUFA (n-3; n-6)]. Thrombogenic index: (C14:0 + C16:0 + C18:0)/{[0.5·Σ MUFA] + [0.5·Σ PUFA (n-6)] + [3·Σ PUFA (n-3)] + (n-3/n-6)}. Desaturation index: (C14:1 *cis*-9)/(C14:0 + C14:1 *cis*-9).

\**P* < 0.05; \*\**P* < 0.01.

↑ Ácidos miristoleico,  
linoleico y CLA

↓ Ácidos grasos  
saturados



**Table 5.** Volatile organic compounds (VOC) detected in cheese obtained from the control group (CG) and the experimental group (SeG), analyzed at 7 (T<sub>7</sub>) and 120 (T<sub>120</sub>) d after cheese-making<sup>1</sup>

| Item           | VOC                              | T <sub>7</sub>  |              |                 | T <sub>120</sub> |              |                 |
|----------------|----------------------------------|-----------------|--------------|-----------------|------------------|--------------|-----------------|
|                |                                  | CG              | SeG          | <i>P</i> -value | CG               | SeG          | <i>P</i> -value |
| Methyl ketones | 2-Pentanone                      | 0.42 ± 0.04     | 1.13 ± 0.09  | **              | 0.31 ± 0.03      | 0.94 ± 0.08  | **              |
|                | 2-Heptanone                      | 18.75 ± 1.31    | 19.24 ± 1.56 | NS              | 44.64 ± 3.25     | 41.09 ± 3.06 | NS              |
|                | 2-Octanone                       | 0.57 ± 0.06     | 0.53 ± 0.05  | NS              | 2.75 ± 0.25      | 3.32 ± 0.29  | NS              |
|                | 2-Nonan-2-one                    | ND <sup>2</sup> | ND           | NS              | 2.34 ± 0.20      | 4.90 ± 0.41  | **              |
|                | 2-Nonanone                       | 6.67 ± 0.59     | 5.88 ± 0.51  | NS              | 29.48 ± 1.82     | 32.15 ± 2.92 | NS              |
|                | 2-Decanone                       | ND              | ND           | NS              | ND               | ND           | NS              |
|                | 2-Undecanone                     | 1.61 ± 0.15     | 1.30 ± 0.12  | NS              | ND               | ND           | NS              |
|                | 2-Tridecanone                    | 0.41 ± 0.04     | 0.26 ± 0.03  | *               | ND               | ND           | NS              |
| Methyl esters  | Methyl butanoate                 | 0.25 ± 0.03     | 0.59 ± 0.06  | **              | ND               | ND           | NS              |
|                | Methyl hexanoate                 | 0.29 ± 0.03     | 0.82 ± 0.07  | **              | 0.31 ± 0.03      | ND           | **              |
|                | Methyl octanoate                 | 0.19 ± 0.02     | 0.50 ± 0.05  | **              | 0.08 ± 0.01      | 0.08 ± 0.01  | NS              |
| Ethyl esters   | Ethyl butanoate                  | 2.11 ± 0.16     | 0.98 ± 0.08  | **              | 2.75 ± 0.23      | 2.11 ± 0.18  | *               |
|                | Ethyl hexanoate                  | 1.27 ± 0.11     | 0.75 ± 0.07  | **              | 8.51 ± 0.72      | 5.37 ± 0.45  | **              |
|                | Ethyl octanoate                  | 0.66 ± 0.07     | 0.37 ± 0.04  | **              | 1.92 ± 0.17      | 2.80 ± 0.22  | *               |
|                | Ethyl nonanoate                  | ND              | ND           | NS              | 0.08 ± 0.01      | 0.09 ± 0.01  | NS              |
|                | Ethyl decanoate                  | 0.39 ± 0.04     | 0.23 ± 0.03  | **              | 0.81 ± 0.08      | 1.68 ± 0.12  | **              |
|                | Ethyl dodecanoate                | 0.12 ± 0.01     | ND           | **              | 0.16 ± 0.02      | 0.19 ± 0.02  | NS              |
|                | Ethyl tetradecanoate             | ND              | ND           | NS              | ND               | 0.03 ± 0.00  | *               |
|                | Ethyl hexadecanoate              | ND              | ND           | NS              | ND               | 0.01 ± 0.00  | *               |
| Lactones       | <i>cis</i> -γ-Dodec-6-enolactone | ND              | ND           | NS              | 0.10 ± 0.01      | 0.11 ± 0.01  | NS              |
|                | γ-Nonalactone                    | ND              | ND           | NS              | 0.09 ± 0.01      | 0.10 ± 0.01  | NS              |
|                | γ-Dodecalactone                  | 0.63 ± 0.06     | 0.37 ± 0.04  | **              | 0.22 ± 0.03      | 0.17 ± 0.02  | NS              |
|                | δ-Octalactone                    | 4.93 ± 0.33     | 2.76 ± 0.21  | **              | ND               | ND           | NS              |
|                | δ-Nonalactone                    | ND              | ND           | NS              | 0.59 ± 0.06      | 0.48 ± 0.05  | NS              |
|                | δ-Decalactone                    | 14.56 ± 1.17    | 10.58 ± 0.86 | *               | 2.35 ± 0.18      | 2.00 ± 0.19  | NS              |
|                | δ-Dodecalactone                  | 2.26 ± 0.18     | 1.03 ± 0.09  | **              | 0.52 ± 0.05      | 0.54 ± 0.06  | NS              |
|                | δ-Tetralactone                   | 0.21 ± 0.02     | 0.10 ± 0.01  | **              | 0.05 ± 0.00      | 0.05 ± 0.00  | NS              |
| Aldehydes      | Hexanal                          | 33.89 ± 2.75    | 41.98 ± 3.13 | **              | ND               | ND           | NS              |
|                | Heptanal                         | 2.79 ± 0.22     | 4.91 ± 0.34  | **              | 0.57 ± 0.06      | 0.81 ± 0.08  | *               |
|                | Octanal                          | 0.61 ± 0.06     | 0.66 ± 0.07  | NS              | 0.11 ± 0.01      | 0.11 ± 0.01  | NS              |
|                | Nonanal                          | 2.24 ± 0.19     | 2.54 ± 0.23  | NS              | 0.42 ± 0.04      | 0.42 ± 0.05  | NS              |
|                | Decanal                          | 0.55 ± 0.06     | 0.50 ± 0.05  | NS              | 0.09 ± 0.01      | 0.08 ± 0.01  | NS              |
| Alcohols       | 1-Hexanol                        | 2.71 ± 0.24     | 1.33 ± 0.12  | **              | 0.66 ± 0.06      | 0.36 ± 0.04  | **              |
|                | 1-Octanol                        | 0.93 ± 0.09     | 0.60 ± 0.07  | *               | ND               | ND           | NS              |

<sup>1</sup>Individual VOC are expressed as percent of total VOC. Data are reported as mean (%) ± SD.

<sup>2</sup>ND = not detectable.

\**P* < 0.05; \*\**P* < 0.01.



- Efecto positivo de la suplementación de Se en las propiedades nutricionales de la leche y el queso.
- Cantidades mejoradas de ácido linoleico y CLA en leche y queso, lo que refleja mejoras en su funcionalidad con aplicación en salud humana.
- El perfil aromático de los productos lácteos fue influenciado (positivamente) por la dieta rica en Se

## CONCLUSIONES

- La fortificación de alimentos con Se usando BAL (microorganismos) selenizadas o a través de la suplementación animal afecta positivamente su contenido en los productos lácteos fermentados y sus propiedades funcionales

## PERSPECTIVAS

- Cuál es el papel de las BAL en la biotransformación del Se durante la maduración de los quesos?
- Evaluar su biodisponibilidad de los seleno-compuestos en los productos fermentados en estudios *in vivo* y su efecto en la microbiota intestinal



# MUCHAS GRACIAS!

## Grupo de laboratorio



**Dra. Micaela Pescuma**



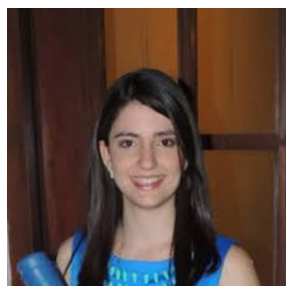
**Lic. Fernando Martínez**



**Lic. Laura Crespo**



**Lic. Florencia Mohamed**



**Lic. Luciana Ruiz Rodríguez**



**Dr. Yolanda Madrid Albarrán**  
**Universidad Complutense de**  
**Madrid, España**