

## Estudio del comportamiento de Bacterias Acidolácticas (BAL) del cultivo Bioyogur a diferentes dosis de tratamiento magnético

*Studying the Behavior of Lactic Acid Bacterias (BAL) Culture Bioyogur to Different Doses of Magnetic Treatment*

<sup>I</sup>MSc. Yarindra Mesa-Mariño, yarindra@cnea.uo.edu.cu, <sup>I</sup>MSc. Siannah María Mas-Diego,  
<sup>II</sup>MSc. Matilde Anaya-Villalpanda, <sup>II</sup>Lic. Hilda Cobo-Almaguer,  
<sup>III</sup>Dr. C Manuel Díaz-Velázquez

<sup>I</sup>Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Santiago de Cuba, Cuba; <sup>II</sup>Instituto de Investigaciones para la industria Alimenticia (IIIA), La Habana, Cuba; <sup>III</sup>Facultad de Ingeniería Química, Sede Julio Antonio Mella, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba

### Resumen

El yogur es un probiótico beneficioso en la prevención y restauración de enfermedades intestinales. Se obtiene de la fermentación de cultivos bacterianos como el BIOyogur formado por el *Lactobacillus acidophilus* y el *Streptococcus thermophilus*. En el combinado lácteo de Santiago de Cuba, la baja viabilidad de estos cultivos iniciadores destinados a la producción industrial está en un 86 %, con una concentración celular de  $5,89 \log \text{ufcmL}^{-1}$ , afectando la fermentación y calidad del yogur de soya. Conociendo la acción estimulante de los campos electromagnéticos (CEM) de 60 Hz sobre microorganismos de interés industrial, se desea disminuir el tiempo de fermentación del proceso de producción y mejorar la calidad del producto final. Por esta razón se propone un tratamiento con campo electromagnético a los cultivos iniciadores, que contribuya con la mejora del tiempo de fermentación establecido en las normas industriales y con la calidad del producto final. Para ello se evaluó el efecto que produce un CEM de 60 Hz aplicando un diseño multifactorial con tratamientos de 4, 6 y 8 mT a 5, 10 y 15 min de exposición respectivamente; seleccionando como factores el tiempo de exposición, la inducción magnética y la inoculación previa. Obteniéndose como variables respuesta: el crecimiento de las bacterias ácido lácticas (BAL), el pH y la acidez. Con un crecimiento de  $10,38 \log \text{ufcmL}^{-1}$  a un valor de pH igual 3,80 y una acidez de 0,81 %, manteniendo los parámetros de calidad del producto final para 6 mT y 5 min del tratamiento seleccionado.

**Palabras clave:** tratamiento magnético, cultivos bacterianos, yogur.

### Abstract

Yogurt is beneficial in the prevention and restoration of intestinal diseases probiotic. It is obtained from fermentation of bacterial cultures as BIOyogur comprising *Lactobacillus acidophilus* and *Streptococcus thermophilus*. In the milk combined Santiago de Cuba, the low viability of these starter cultures for industrial production is 86 %, with a cell concentration of  $5,89 \log \text{ufcmL}^{-1}$ , affecting fermentation and quality of soy yogurt. Knowing the stimulating

action of electromagnetic fields (EMF) 60 Hz on microorganisms of industrial interest, it is desired to decrease the fermentation time of the production process and improve product quality. Therefore treatment with electromagnetic field to starter cultures, which contributes to the improvement of fermentation time established industry standards and the final product quality, is proposed. For this, the effect of a 60 Hz EMC applying a multifactorial design with treatments 4, 6 and 8 mT at 5, 10 and 15 respectively min exposure was assessed; selecting factors as exposure time, the magnetic induction and prior inoculation. Obtaining as a variables response: growth lactic acid bacteria (LAB), pH and acidity. An increase of 10,38 log ufc/mL-1 equal to a value of pH 3.80 and an acidity of 0,81 %, maintaining the quality parameters of the final product 6 mT and 5 min of the selected treatment.

**Keywords:** *magnetic treatment, bacterial cultures, yogurt.*

## **Introducción**

Existen diferentes tipos de yogur de acuerdo con sus características físico-químicas y con la presencia de aromas en la composición de la mezcla básica. Entre los principales componentes del yogur están: el ácido láctico, acetaldehídos y diacetil en bajas concentraciones, encargados de darle su sabor característico. Las bacterias acidolácticas (BAL) compuestas por cultivos mixtos o puros están consideradas como probióticos en la fermentación y obtención de productos lácteos. El BIOyogur es un cultivo mixto de BAL termófilas de elevada actividad acidificante en proporción de 1:2 empleado en la elaboración de yogur y otros productos lácteos. Su volumen puede aumentarse mediante resiembras sucesivas hasta el nivel de producción que se desee [1]. Sin embargo un gran número de estos microorganismos están presentando deficiencia en su viabilidad celular por diferentes factores que inciden en ello. El campo magnético (CM) y/o electromagnético (CEM) está siendo empleado como tecnología emergente dentro de los procesos no térmicos de alimentos. Una de las propiedades fundamentales es que tiende a estimular o inhibir el crecimiento microbiano en dependencia de factores tales como la intensidad y duración de la exposición al campo. Durante la fase de crecimiento, fundamentalmente la fase exponencial, se destacan los efectos más frecuentes como: los cambios en la dirección de migración, alteración del crecimiento y en la reproducción, cambios en la síntesis de ADN y en la orientación de biomoléculas y permeabilidad de membranas, así como alteración del flujo de iones a través de la membrana plasmática [2, 3, 4].

Efectos como estos de manera individual o combinada generan una modificación de la velocidad de reproducción y multiplicación celular, afectando además el consumo de sustrato por parte del cultivo. Los resultados reportados sobre los efectos del campo magnético en microorganismos y en otros sistemas biológicos están aún sujetos a discusión por varios autores. Las diferencias en las condiciones experimentales tales como la temperatura, el pH, entre otras contribuyen con la divergencia de resultados [5, 6, 7]. A través de este trabajo se evalúan los efectos de un campo magnético estático (CME) de 70 mT y el campo electromagnético (60 Hz y 6 mT) en el cultivo iniciador de BIOyogur, con la finalidad de aumentar la concentración necesaria de estas bacterias para inhibir el crecimiento de patógenos presentes en la microflora del producto e incrementar los parámetros de calidad del mismo.

#### *Materiales y métodos*

La investigación se realizó en el Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria (IIIA) de La Habana, en colaboración con el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), la Facultad de Ingeniería Química (FIQ) de la Universidad de Oriente y el Combinado Lácteo de Santiago de Cuba. Se emplearon cultivos iniciadores de Bioyogur compuestos por *Lactobacillus acidophilus* y *Streptococcus thermophilus*, producidos por el banco de cepas del Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria (IIIA) de La Habana, comercializados y distribuidos a todas las industrias y combinados lácteos del país. Se reactivaron y propagaron los cultivos con leche entera en polvo (LEP) libre de sustancias inhibidoras (tóxicas, antibióticas) que impiden la coagulación, de 9-9,4 % contenido graso [7, 8, 9]. Se empleó un dispositivo de tratamiento electromagnético de fabricación cubana, diseñado y construido por Tecnologías y Componentes Electrónicos (TECE) "Ernesto Che Guevara" en Pinar del Río, formado por un generador de señal (fuente) y un sistema de bobina circular (solenoides) sobre un mismo eje con núcleo de aire [10, 11]. El mismo genera un campo electromagnético uniforme; calibrado y caracterizado por especialistas del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA). Se empleó 4, 6 y 8 mT de inducción, con una frecuencia de trabajo de 60 Hz, a 10, 15 y 20 min de exposición respectivamente. Las muestras fueron colocadas siguiendo las indicaciones para el arreglo físico recomendado por los

especialistas del CNEA. Las curvas de calibración contra el patrón de referencia nacional de campos bajos muestran la distribución de las líneas de campo magnético [11]. Se realizó un diseño de experimento multifactorial y una comparación de medias a través de un test t de Student, después de comprobar la normalidad y homogeneidad de las varianzas de las variables medidas para las muestras tratadas con respecto al control. Se utilizó el software Statistica v. 7.0, StatSoft, Tulsa, USA. (2007). Mediante un ANOVA simple, se realizó para cada factor aplicando la Prueba de Tukey, en la comparación de las muestras tratadas con inoculación previa y sin inoculación previa del cultivo Bioyogur con respecto al control. Se midieron las variables de respuesta crecimiento de bacterias ácido lácticas (BAL), pH y acidez. Se expresaron los valores en función de la mayor concentración de BAL, los menores valores de pH y acidez. El diseño aportó diferentes variantes experimentales distribuidas en 16 corridas con factores y niveles de intensidades y tiempo de exposición que se ajustaron en correspondencia con valores experimentales similares a los reportados por la literatura donde se encontraron efectos en estudios similares.

### *Resultados y discusión*

En el diseño experimental (tabla 1), se muestran los valores obtenidos de crecimiento de bacterias ácido lácticas (BAL), pH y el porcentaje de acidez para las diferentes combinaciones de tratamiento estudiadas con y sin inoculación previa del microorganismo en el sustrato con respecto al control. Del resumen estadístico se tiene que para BAL con inoculación previa, la estimación de efectos es la siguiente variable: BAL ( $\log \text{ufcmL}^{-1}$ );  $R^2=0,99926$ ; Coeficiente de ajuste: 0,998 64 (Con Inoculación Previa) 2 factores, 1 Bloque, 12 Corridas; Cuadrado Medio Residual=0,002 1019.

donde:

x Tiempo de exposición

y Inducción Magnética

$$\text{BAL} = 7,136\ 179 + 0,926\ 255 * x - 0,067\ 698 * x^2 + 0,069\ 578 * y - 0,000\ 323 * y^2 - 0,006\ 864 * x * y \dots\dots\dots (1)$$

**Tabla 1**  
**Resultados de la matriz del diseño experimental**

CEM (mT)	Tiempo (min)	I*	BAL (log ufc.mL <sup>-1</sup> )	pH	Acidez (%)
control			7,13	4,10	0,76
4	5,0	si	10,00	3,90	0,83
4	5,0	no	8,30	4,80	0,68
4	10,0	si	10,18	3,90	0,80
4	15,0	si	10,32	3,70	0,76
4	15,0	no	8,39	4,35	0,74
6	5,0	si	10,38	3,80	0,81
6	5,0	no	8,04	4,40	0,82
6	7,5	si	10,45	3,80	0,76
6	10,0	no	8,28	4,60	0,80
6	12,5	si	10,48	3,90	0,80
8	5,0	si	10,28	3,95	0,85
8	5,0	no	8,59	4,80	0,66
8	7,5	no	8,18	4,50	0,72
8	15,0	si	10,38	3,80	0,83
8	15,0	no	8,54	4,60	0,77

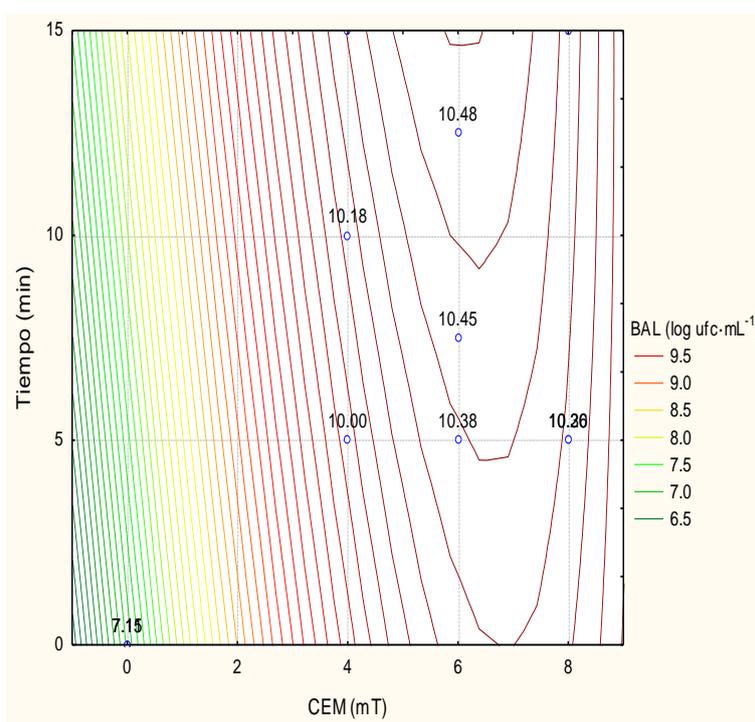
\*I Con inoculación (si) y sin inoculación (no) del microorganismos en el sustrato

El comportamiento del crecimiento de BAL del cultivo BIOyogur se mostró similar a los reportados por Namba, 2000 y Guzmán, 2013. Que expresan que el tratamiento magnético en BAL tiene un mayor efecto estimulante cuando se aplica el tratamiento con campo electromagnético (CEM) con la inoculación del microorganismo en el sustrato, aumentando la permeabilidad de la pared celular proporcionando una mayor asimilación de nutrientes del sustrato por los microorganismos [11, 12, 13]. En la comparación de las medias muestrales del crecimiento de BAL del cultivo iniciador BIOyogur, con y sin inoculación previa; a distintos valores de tratamiento magnético y tiempos de exposición son mostradas en la tabla 2 y figura 1, corroborando el efecto estimulante del CEM sobre este tipo de sistema biológico, el cual varía en función de la intensidad aplicada y del tiempo de exposición. Se demuestra que existen diferencias significativas entre las medias de los tratamientos ( $p < 0,05$ ).

**Tabla 2**  
**Prueba Tukey del crecimiento de BAL con inoculación**  
**previa a distintos tratamientos magnéticos**  
**y tiempos de exposición**

	Tratamiento	BAL (log ufc/mL <sup>-1</sup> )
1	Control	7,13 a
2	4 mT-5 min	10,00 b
3	4 mT-10 min	10,18 b, c
4	8 mT-5 min	10,28 c, d
5	4 mT-15 min	10,32 c, d
6	8 mT-15 min	10,38 c, d
7	6 mT-5 min	10,38 c, d
8	6 mT-7,5 min	10,45 d
9	6 mT-12,5 min	10,48 d

\*Las medias seguidas por una misma letra no tienen diferencias estadísticamente significativas entre sí a una p=0,5.



**Fig. 1 Recuento de las bacterias ácido lácticas (BAL)**  
**en el cultivo iniciador de BIOyogur con**  
**inoculación previa.**

Existen diferencias significativas entre los grupos tratados a 4mT-5 min, 4mT-10 min con respecto a los tratados a 4mT-15 min y al control. Estos valores son similares a los reportados en el experimento anterior, donde se obtuvieron los mayores valores de viabilidad y concentración para las muestras tratadas con

un CEM de 60 Hz a 4 mT-10 min. A pesar que se muestra mayor crecimiento de BAL a los 4mT-15 min, estos son similares a los obtenidos al aplicar el tratamiento con: 6 mT-5 min, 8 mT-5 y 8 mT-15 min; donde se observa igualmente mayor cantidad de BAL. Sin embargo al aplicar 6 mT-7,5 min o 6 mT-12,5 min se obtuvo un mayor crecimiento de BAL que en las combinaciones de tratamiento anteriores. Para el crecimiento de BAL con inoculación previa a los 6 mT los mejores rangos de aplicación fueron 6 mT con 7,5 y 12,5 min donde se obtuvieron 10,45 y 10,48 (log ufc/mL-1) para las muestras de BIOyogur con inoculación previa respectivamente. Este comportamiento permite inferir que el tratamiento magnético aplicado sobre las BAL con inoculación previa induce una estimulación del crecimiento celular.

En la tabla 3 y figura 2 se muestran los valores de crecimiento de BAL sin inoculación previa para los distintos tratamientos magnéticos empleados en el ensayo. Se observa que existen diferencias significativas  $p < 0,05$  entre las medias de los tratamientos entre los grupos tratados con respecto al control. Observándose los mayores valores de crecimiento cuando se aplica el tratamiento magnético de 6 mT-12,5 min o el de 6 mT-7,5 min; siendo este último el de más alto valor de crecimiento de BAL; sin embargo se presentaron menores valores en el crecimiento de las BAL sin inoculación previa con respecto al control. Los valores más altos se presentaron para 8 mT-15 min, lo que representa un 83 % del aumento del crecimiento. Del resumen estadístico obtenido para BAL sin inoculación previa se tiene que la estimación de efectos; Variable; Var.: BAL (log ufc/mL-1);  $R^2=0,92819$ ; Coeficiente de ajuste: 0,856 39 (Sin Inoculación Previa) 2 factores, 1 Bloque, 12 corridas; Cuadrado medio residual =0,039 5083; obteniéndose la siguiente ecuación:

$$\text{BAL} = 7,147\ 626 + 0,391\ 774 * x - 0,0230\ 06 * x^2 - 0,065\ 879 * y + 0,006\ 222 * y^2 - 0,005\ 868 * x * y \dots \dots \dots (2)$$

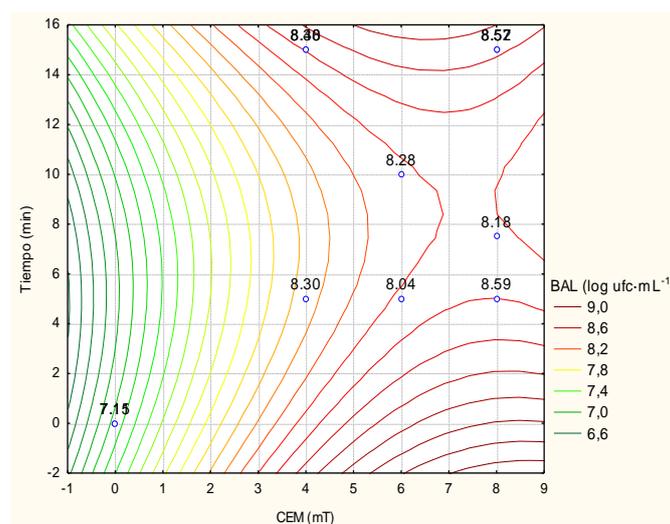
Entre los grupos tratados a diferentes valores de intensidades magnéticas y tiempo de exposición se muestran diferencias en las medias de los tratamientos con valores de intensidades de 8 mT-5 min, donde se mostraron mayores valores de crecimiento de BAL sin inoculación previa, alcanzando un mayor valor de 8,59 de log ufc/mL<sup>-1</sup>. El efecto estimulante del CEM puede que

varíe conforme cambien los valores de intensidad, inducción y tiempo de exposición. La intensidad empleada de 60 Hz en las tecnologías emergentes de CEM ofrece como ventaja una mínima degradación de propiedades organolépticas, nutricionales y menores requerimientos de energía al combinarse con los procesos térmicos [11, 12]. Esto pudiera hacer posible la aplicación del CEM de 60 Hz, 6 mT-5 min en alimentos como el yogur en los que la micro biota Gram positiva sea la dominante, como en la mayoría de los alimentos fermentados.

**Tabla 3**  
**Prueba de Tukey para el crecimiento de BAL**  
**sin inoculación previa a distinto tratamiento**  
**magnético y tiempos de exposición**

	Tratamiento	BAL (log ufc/mL <sup>-1</sup> )
1	Control	7,13 a
	6 mT-5 min	8,04 d
3	8 mT-7,5 min	8,18 d, f
4	6 mT-10 min	8,28 e, f
5	4 mT-5 min	8,30 e, f
6	4 mT-15 min	8,39 c, e
7	8 mT-15 min	8,54 c, b
8	8 mT-5 min	8,59 b

**\*Las medias seguidas por una misma letra no tienen diferencias estadísticamente significativas entre sí a una p=0,5**



**Fig. 2 Superficie de respuesta del crecimiento de BAL**  
**sin inoculación previa a diferentes**  
**tiempos de exposición e intensidad de CEM.**

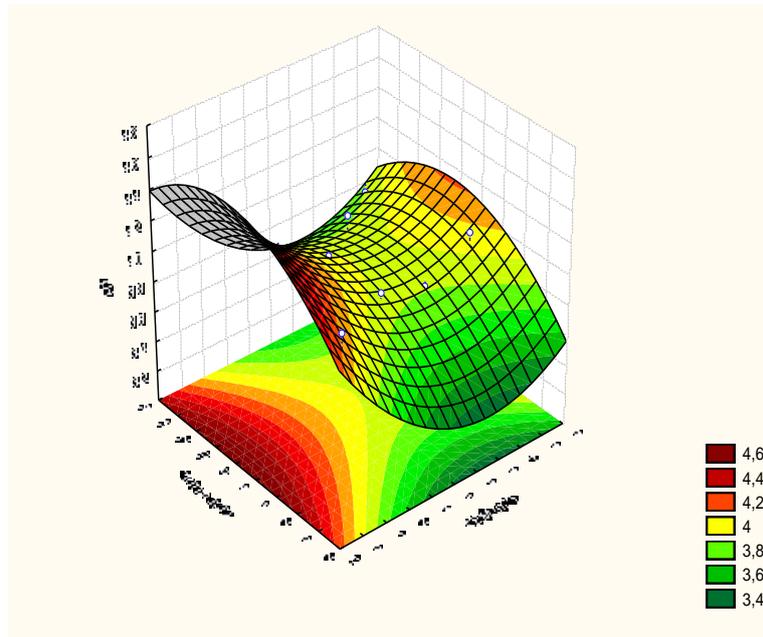
Las muestras sin inoculación previa muestran de igual forma la acción estimulante del CEM aplicado al cultivo iniciador de BIOyogur. Esto corresponde a los valores de crecimiento de BAL en la combinación de tratamiento magnético 8mT-5 min; donde se obtuvieron valores de crecimiento de (8,59 log ufc $\text{mL}^{-1}$ ), superiores con respecto al control (7,13 log ufc $\text{mL}^{-1}$ ). Al comparar los valores de crecimiento de BAL con inoculación y sin inoculación previa en las combinaciones de tratamiento que mostraron mejores valores. Se observa que las muestras tratadas de 6 mT-5 min con inoculación previa del cultivo fueron las muestras que mostraron mejores resultados.

El comportamiento del pH y % de acidez del cultivo BIOyogur con y sin inoculación previa, reportados a distintos valores de tratamiento y tiempo de exposición se muestran en la tabla 4 y figura 3. No existe diferencia significativa entre las medias de los tratamientos para  $p < 0,05$ ; sin embargo para las muestras tratadas con 6mT-5 min, los valores de pH se vuelven más ácidos que los de las muestras no tratadas. A pesar de observarse un aumento en el pH con inoculación previa respecto al control, el pH no ha sido objeto de estudio por otros autores; sin embargo los cambios de pH que se reportan difieren de los valores establecidos por la norma industrial [8,9]. En la tabla 5 y figura 4 se muestran los valores del pH para las muestras sin inoculación previa a diferentes valores de intensidad de CEM y tiempo de exposición, donde se observa que no existe diferencia significativa para  $p < 0,05$ , pero si existen diferencias entre las muestras tratadas y el control.

**Tabla 4**  
**Prueba de Tukey para el pH de los grupos tratados con inoculación previa a distintos tratamiento magnéticos y tiempos de exposición**

Con Inoculación Previa		
	Tratamiento	pH
1	4 mT-15 min	3,70 a
2	8 mT-15 min	3,80 a
3	6 mT-5 min	3,80 a
4	6 mT-7,5 min	3,80 a
5	4 mT-5 min	3,90 a
6	6 mT-12,5 min	3,90 a
7	4 mT-10 min	3,90 a
8	8 mT-5 min	3,95 a
9	Control	4,10 a

\*Las medidas seguidas por una letra no tienen diferencias estadísticamente significativas entre sí a una  $p=0,5$



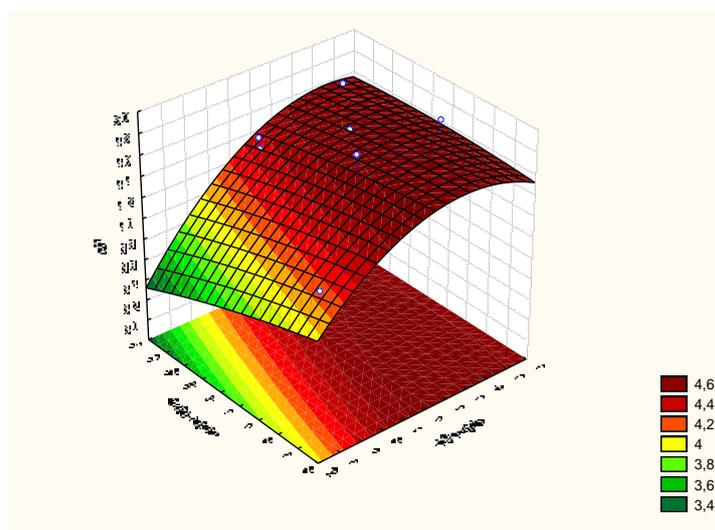
**Fig. 3 Superficie de respuesta de pH con inoculación previa a diferentes tiempos de exposición e intensidad de CEM.**

En la tabla 5 y figura 4 se muestran los valores de pH sin inoculación previa, donde de igual forma se demostró que entre las muestras tratadas con y sin inoculación previa, los valores más bajos de pH se obtuvieron en las muestras con inoculación previa, para las combinaciones de tratamiento de 4 mT-15 min propuestas en el diseño. Las muestras de cultivo BIOyogur tratados a 4 mT-5 min y 8 mT-5 min, presentan un valor de pH más altos en las muestras tratadas respecto al control; siendo además los valores más altos para las muestras elaboradas sin inoculación previa. Lo que supone que para estas combinaciones de tratamiento el pH se volvería más ácido que los reportados en las normas industriales entre 8-8,3 [8,9].

**Tabla 5**  
**Prueba de Tukey para el pH de los grupos tratados sin**  
**inoculación previa a distintos tratamientos magnéticos**  
**y tiempos de exposición**

<b>Sin Inoculación Previa</b>		
	<b>Tratamiento</b>	<b>pH</b>
<b>1</b>	Control	4,10 b
<b>2</b>	4 mT-15 min	4,35 b
<b>3</b>	6 mT-5 min	4,40 b
<b>4</b>	8 mT-7,5 min	4,50 b
<b>5</b>	6 mT-10 min	4,60 b
<b>6</b>	8 mT-15 min	4,60 b
<b>7</b>	8 mT-5 min	4,80 b
<b>8</b>	4 mT-5 min	4,80 b

**\*Las medias seguidas por una misma letra no tienen**  
**diferencias estadísticamente**  
**significativas entre sí a una  $p=0,5$ .**



**Fig. 4 Superficie de respuesta de pH sin inoculación previa**  
**a diferentes tiempos de exposición e intensidad de CEM.**

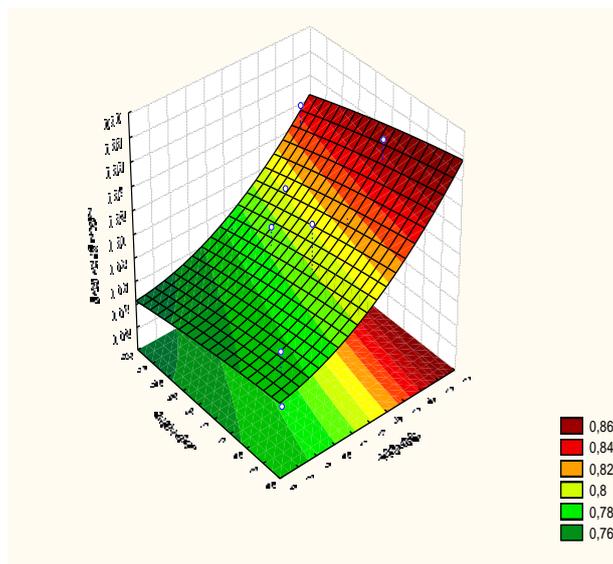
Las variaciones de pH están dadas por la concentración de mayor o menor porcentaje de ácido láctico producido por las BAL. Este aumento de pH en las muestras expuestas al campo electromagnético puede estar relacionado con el aumento del número de microorganismos en el sustrato. Al aplicar la

combinaciones de tratamiento de 4 mT-15 min se obtiene el valor más bajo de pH con respecto al control, esto sugiere que el pH será mayor, cuanto mayor sea el tiempo de exposición por encima de los 15 min y mayor sea la intensidad del CEM, entonces no se obtendrá un cultivo técnico de óptima calidad, pues disminuirían los valores de pH de manera considerable, tornando el cultivo mucho más ácido, hasta suponer la muerte de los microorganismos.

Al comparar los valores de pH con y sin inoculación previa se observa que los valores de pH con inoculación previa son menores que los valores de pH sin inoculación previa. Esto puede estar dado porque los microorganismos presentes en el sustrato realizan su función metabólica, agotando así los nutrientes del mismo y degradando la leche del sustrato a ácido láctico, acidificando el medio [10, 12, 13].

**Tabla 6**  
**Análisis estadístico para el porciento de acidez de las BAL con inoculación previa a distintos tratamientos magnéticos y tiempos de exposición**

<b>Con Inoculación Previa</b>		
	<b>Tratamiento</b>	<b>Acidez (% ác. lác.)</b>
<b>1</b>	6 mT-7,5 min	0,76 c
<b>2</b>	Control	0,76 c
<b>3</b>	4 mT-15 min	0,76 c
<b>4</b>	4 mT-10 min	0,80 c
<b>5</b>	6 mT-12,5 min	0,80 c
<b>6</b>	6 mT-5 min	0,81 c
<b>7</b>	4 mT-5 min	0,83 c
<b>8</b>	8 mT-15 min	0,83 c
<b>9</b>	8 mT-5 min	0,85 c



**Fig. 5 Superficie de respuesta de la acidez con inoculación previa a diferentes tiempos de exposición e intensidad de CEM.**

En la tabla 6 y figura 5 se muestran los valores de acidez para las muestras con inoculación previa a diferentes valores de tratamiento magnético y diferentes tiempos de exposición para el cultivo mixto de BIOyogur. Los valores de acidez con inoculación previa reportados muestran que se obtuvo un comportamiento similar al del pH, mostrando que entre las medias de los tratamientos no existe diferencia significativa para  $p < 0,05$ , pero si entre las muestras tratadas con respecto al control. Se obtuvieron los valores más altos para las muestras tratadas con la combinación de tratamiento de 8 mT-5 min de exposición. A medida que el ácido láctico producido por las BAL se va acumulando, la estructura de las proteínas de la leche van modificándose (van cuajando), y lo mismo ocurre con la textura del producto.

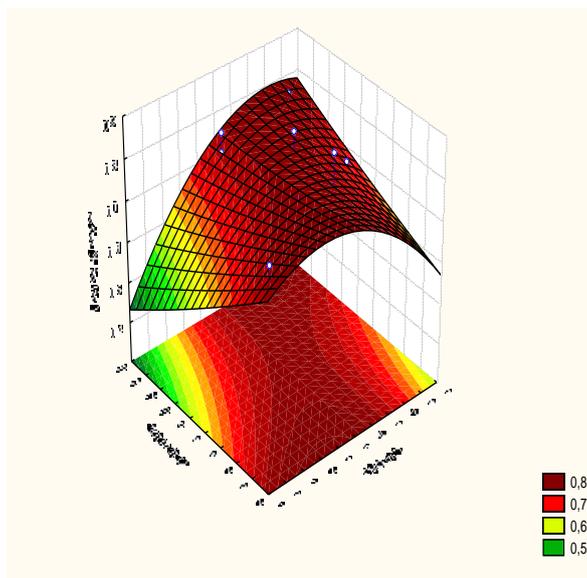
Existen otras variables como la temperatura y la composición de la leche que influyen además en la acidez del producto resultante [10,13]. Por otra parte los valores de acidez obtenidos para las BAL sin previa inoculación a diferentes intensidades de tratamiento y diferentes tiempos de inducción se muestran en la tabla 7 y figura 6. Se observa que no existe diferencia significativa entre las medias de los tratamientos para  $p < 0,05$ . En la comparación entre las muestras se observa que la concentración en mayor o menor porcentaje de ácido láctico puede ser la causa fundamental de la variación en los valores reportados. Por

último se fijaron las condiciones experimentales seleccionando el valor de 6 mT-5 min con inoculación previa con el objetivo de obtener los mayores recuentos en ufc/mL-1 de BAL, valores de acidez y el pH, adecuados a los reportados en las normas de producción del yogur.

Las muestras que estuvieron expuestas al CEM con inoculación previa presentan un alto grado de fermentación de la leche y mayor producción de acidez (0,82). La acidez se reporta como porcentaje de producción de ácido láctico, que es el ácido orgánico mayoritario en el yogur, pero también se forman otros compuestos que pudieran disociarse en iones y estar afectando dicho valor de pH. La acción del CEM induce cambios en la formación de las membranas, lo que se traduce en alteraciones de las funciones de los receptores de la membrana. Los resultados obtenidos en el ensayo concluyen que el tratamiento al cual se obtienen los mayores valores para el crecimiento de BAL 10,48 log ufc/mL-1 fue para el tratamiento de 6 mT-12,5 min con inoculación previa [10,12, 13].

**Tabla 7**  
**Análisis estadístico para la acidez de las BAL**  
**sin inoculación previa a distintos tratamiento**  
**magnéticos y tiempos de exposición**

	<b>Tratamiento</b>	<b>Acidez (% ác. lác.)</b>
<b>1</b>	8 mT-5 min	0,66 c
<b>2</b>	4 mT-5 min	0,68 c
<b>3</b>	8 mT-7,5 min	0,72 c
<b>4</b>	4 mT-15 min	0,74 c
<b>5</b>	Control	0,76 c
<b>6</b>	8 mT-15 min	0,77 c
<b>7</b>	6 mT-10 min	0,80 c
<b>8</b>	6 mT-5 min	0,82 c



**Fig. 6 Superficie de respuesta de la acidez sin inoculación previa a diferentes tiempos de exposición e intensidad de CEM.**

Es de suponer que los valores de pH y acidez se suponen que estén mayormente afectados por la intensidad del CEM, no por el tiempo de exposición, esto se corrobora al obtener los mayores resultados de pH y acidez con inoculación previa pero a un tratamiento de 8 mT-5 min. Sin embargo, para el buen estado de formulación del cultivo BIOyogur a cultivo técnico es importante obtener un mayor crecimiento de BAL para lo que se recomienda emplear el valor de tratamiento de 6 mT con 12,5 min de tiempo de exposición. Los efectos que ejercen los CEM sobre los sistemas biológicos pueden ser explicados a través de los estudios que se centran en las bajas frecuencias, Liboff planteó en su teoría del ión ciclotrón que cualquier ión que entra en un campo electromagnético, a una determinada velocidad, experimenta una fuerza que depende de la velocidad, y de la intensidad del campo. Esa fuerza a su vez depende de la carga y la masa del ión; y determina su girofrecuencia (trayectoria del ión, ya sea circular o espiral).

Se plantea que cuando la giro frecuencia del ión se iguala a la frecuencia del CEM, la energía se transfiere selectivamente desde el campo hacia el ión produciendo el fenómeno denominado como resonancia del ciclotrón (ICR) [14]. Cuando las frecuencias resonantes de  $\text{Na}^+$  y de  $\text{Ca}^{2+}$  están en resonancia, la energía se transfiere hacia las actividades metabólicas asociadas a ellos, y esto provoca un aumento de la velocidad y del sentido iónico total del sistema.

Este fenómeno por lo tanto afecta el transporte neto de iones  $\text{Na}^+$  o  $\text{Ca}^{2+}$  a través de la membrana celular. Se ha visto que este comportamiento iónico induce cambios en las actividades metabólicas, en un determinado intervalo de frecuencias, y que los iones van transmitiendo los efectos del CEM desde los puntos de interacción, hacia los tejidos y órganos. La membrana celular es el punto de interacción y el efecto de los campos electromagnéticos se trasmite al citoesqueleto, organelas, membrana nuclear, cromosoma y moléculas de proteína [12, 15]. Por tanto, la intensidad de la respuesta del campo electromagnético es difundida tanto en el interior, como en los puntos de interacción. Los resultados expuestos permitieron mostrar que el CEM de 60 Hz y 6 mT-5min con inoculación previa del microorganismo en el sustrato, provocó un aumento de la concentración celular 93,98 % (7,98 log ufc/mL-1) con respecto al control, un aumento de la viabilidad de un 96 %, crecimiento de 10,38 log ufc/mL-1, valores de pH igual 3,80 y acidez de 0,81 %; bajo las condiciones experimentales estudiadas.

El cultivo tratado alcanzó los parámetros de calidad luego de las 3 h de fermentación con respecto a las 4,5 h que refiere la norma, trayendo consigo un ahorro de 1,5 h en el tiempo de fermentación del cultivo en relación con el cultivo sin tratamiento. El tratamiento de los inóculos bacterianos con CEM constituye un importante aporte al rendimiento económico y productivo cumpliendo con las normas de calidad establecidas en la industria láctea para la elaboración de los productos, constituyendo un aporte a la economía del país.

## Conclusiones

- 1. Al evaluar el efecto del campo electromagnético de 60 Hz con intensidades de 4, 6 y 8 mT a 5, 10 y 15 min de exposición sobre el crecimiento (morfología, concentración y viabilidad), el pH y el porcentaje de acidez del cultivo iniciador Bioyogur, se seleccionó la combinación de 6 mT- 5 min con inoculación previa del microorganismo, se obtuvo un aumento de la concentración celular***

de un 46 % (10,38 log ufc·mL<sup>-1</sup>) un crecimiento de 10,38 log ufc·mL<sup>-1</sup>, valores de pH de 3,80 y acidez de 0,81 %.

2. No se observaron cambios en la morfología de las células, manteniendo la relación simbiótica; con un aumento de la concentración celular 93,98 % (7,98 log ufc·mL<sup>-1</sup>) y viabilidad del cultivo de Bioyogur un 96 %.
3. Es posible aplicar el tratamiento magnético como tecnología alternativa para mejorar su calidad y estimular procesos fermentativos de interés industrial como el yogur. Se recomienda obtener modelos que permitan predecir el comportamiento de las variables respuestas.

## Bibliografía

1. AMAMCHARLA, J. K.; METZGER, L. E., Development of a rapid method for the measurement of lactose in milk using a blood glucose biosensor. *Journal of dairy science*, 2011, Vol. 94, N° 10, pp. 4800-4809. EUA.
2. AUTY, MARK AE, *et al.* Development and application of confocal scanning laser microscopy methods for studying the distribution of fat and protein in selected dairy products. *Journal of Dairy Research*, 2001, Vol. 68, N° 03, pp. 417-427. EUA.
3. BARRAL, S., *et al.* Interactions between whey proteins and kaolinite surfaces. *Acta Materialia*, 2008, Vol. 56, N° 12, pp. 2784-2790. EUA.
4. KYLE, Clinton R.; AMAMCHARLA, Jayendra K. Value Addition of Greek Yogurt Whey Using Magnetic Fluid and Sepiolite Treatments. *Food and Bioprocess Technology*, 2015, pp. 1-11.
5. LIPUS, L. C.; DOBERSEK, D., Influence of magnetic field on the aragonite precipitation. *Chemical Engineering Science*, 2007, Vol. 62, N° 7, pp. 2089-2095. EUA.
6. STRAZISAR, Janez; KNEZ, Sergej; KOBE, Spomenka. The influence of the magnetic field on the Zeta potential of precipitated calcium carbonate. *Particle & Particle Systems Characterization*, 2001, Vol. 18, N° 5-6, p. 278-285. EUA.
7. ONN. Iniciadores Lácticos. Método de Ensayo. Norma Ramal: NRIAL 065:08. 1ra Edición. Centro Nacional de inspección de la Calidad: Ministerio de la industria Alimentaria, 2008.
8. ONN- Contaminantes Microbiológicos en Alimentos\_Requisitos Sanitarios. NC 585:08. 1<sup>ra</sup> Edición. Oficina Nacional de Normalización. La Habana. 2008. ICS: 67.020; 07.100.30.
9. ONN. Yogurt – Enumeración de los microorganismos característicos – Técnicas del Conteo de colonias a 37 °C. NC ISO: 7889: 2009.

- 1<sup>ra</sup> Edición. Oficina Nacional de Normalización. La Habana. 2008. ICS: 07.100.30.
10. GUZMÁN, T. M., et al. Influencia del campo magnético en la calidad microbiológica del queso fresco telita. *Tecnología de Alimentos*, 2009, Vol. 20, No 2, pp. 67-72. Cuba.
  11. GILART, F., et al. High flow capacity devices for anti-scale magnetic treatment of water. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 2013, Vol. 70, pp. 211-216. EUA.
  12. NAMBA, K.; MOHRI, K. S. Effect of electromagnetic field on lactic acid bacteria proliferation. *Nippon Shokubutsu Kojo Gakkai Taikai Gakujutsu Koen Yoshishu*, 2000, Vol. 2000, pp. 68-69. Japón.
  13. GUZMÁN, T. M. Células en cultivo de *Lactobacillus acidophilus* bajo la acción un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja. *Investigación y Saberes*, 2013, Vol. 2, No 3, p. 13-17. Ecuador.
  14. LIBOFF, A. R., et al. Cyclotron resonance in membrane transport. *Interactions between electromagnetic fields and cells*, 1985, pp. 281-296. EUA.
  15. ACEA, Carlos. Un solo golpe magnético. *Revista ICIDCA*, La Habana, 2001, Vol. 25, No 2-3, pp. 24-29. Cuba.