

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



NOMBRE DEL SUB-EVENTO
VII SIMPOSIO INTERNACIONAL DE QUÍMICA

Título

Efecto de la aplicación de un campo electromagnético en la viscosidad del yogur natural.

Title

Effect of the application of an electromagnetic field on the viscosity of natural yogurt.

Ing. Rosalía de la Caridad Esquivel Figueredo¹, MSc. Yarindra Mesa Mariño², MSc. Dunia Rodríguez Heredia³

1. Universidad de Holguín, Cuba, E-mail: rosalia.esquivel@uho.edu.cu

2. Gases Industriales Santiago, Cuba, E-mail: ymesa@stgolub.cubalub.cupet.cu

3. Universidad de Oriente, Cuba, E-mail: duniarh@uo.edu.cu

Resumen: La industria láctea es una de las ramas de la industria alimenticia que más auge ha alcanzado en los últimos años. La elaboración de yogur es una de sus líneas de producción, el cual posee valiosos aportes nutritivos. La presente investigación tuvo como objetivo la evaluación de la aplicación de un campo electromagnético al inóculo para la elaboración de yogur natural, a partir del efecto del mismo en la viscosidad del yogur. Se desarrollaron dos métodos: uno empleando el viscosímetro rotacional y el otro la Copa Ford, realizándose el análisis de los resultados con el programa Microsoft Excel y el Statgraphics Centurion (v 15.2.14). Se concluyó que el tratamiento aplicado no ejerce una influencia significativa sobre la viscosidad del producto terminado. Los datos obtenidos a partir del viscosímetro se ajustaron al modelo de Oswald de Waele, cuyo comportamiento de flujo es el de un fluido pseudoplástico. Además, se obtuvieron valores de índice de consistencia (K) y de flujo (n) similares, los cuales fueron: 0.4961 Pa•s y 0.4051 para la muestra control y 0.4838 Pa•s y 0.4184 para la elaborada a partir del tratamiento electromagnético.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.



***Abstract:** The lactary industry is one of the branches food industry's boom has achieved in lastest years. The preparation of yogurt is one of its production lines, which has valuable nutritional benefits. The present study aimed to evaluate the application of an electromagnetic field to the inoculum for the production of yogurt, from the effect thereof on the viscosity of yogurt. Two methods were developed: one using the rotational viscometer and the other Ford Cup, performing the analysis of the results with Microsoft Excel and Statgraphics Centurion (v 15.2.14) program. It was concluded that the treatment applied does not exert a significant influence on the viscosity of the finished product. The data obtained from the viscometer was adjusted to Oswald de Waele model, which is the flow behavior of pseudoplastic fluid. Moreover, consistency index values (K) and flow (n) like are obtained, which were: 0.4961 and 0.4051 Pa*s for the control sample and 0.4838 and 0.4184 Pa*s for processed from electromagnetic treatment.*

Palabras Clave: Campo electromagnético; Yogur; Viscosidad.

Keywords: Electromagnetic field; Yogurt; Viscosity.

1. Introducción

Los alimentos son de vital necesidad para la obtención de nutrientes en el ser humano, los cuales son importantes para su crecimiento y desarrollo. Últimamente ha cobrado auge el consumo de alimentos elaborados con microorganismos (alimentos probióticos). Estos tienen la capacidad de que las bacterias presentes en los mismos sobreviven en el tracto intestinal aumentando la flora y contribuyendo a mejorar la digestión, así como el sistema inmunológico (Agostina, 2000; Jaramillo, 2001). En la actualidad su demanda crece a nivel mundial, por lo que es de suponer que la industria alimenticia es uno de los sectores fundamentales para la economía del país. La industria láctea, dentro de la rama alimentaria, es una de las principales por aumento de la demanda y valor nutricional de sus productos.

Estos productos contienen gran cantidad de bacterias lácticas, las que se encargan de convertir las proteínas de la leche y la lactosa, en sustancias de más fácil digestión. Estas se han utilizado para fermentar cultivos de alimentos durante al menos 4 milenios. Su uso más corriente se ha aplicado en

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



todo el mundo a los productos lácteos fermentados, como el yogur, el queso, la mantequilla, la crema de leche, el kéfir y el koumiss. La importancia de las bacterias ácido-lácticas se debe ante todo a sus propiedades, que contribuyen a preservar y mejorar la salud.

El yogur natural es uno de los principales productos lácteos consumidos en la actualidad. Se desconoce dónde y cuándo, por primera vez el hombre comienza a elaborar el yogur, se cree que fue en Mesopotamia aproximadamente en el año 5000 a.C (Morales, 1988). Otras fuentes indican que los primeros yogures fueron de fermentación espontánea, provocada por bacterias en el interior de las bolsas de piel e intestino de cabra usados como recipientes de transporte de los antiguos búlgaros, idioma del cual proviene la palabra yogur (Bartrina, 2011).

Este producto contiene bacterias activas que forman parte de nuestra flora intestinal indispensable, las cuales participan en la descomposición de los alimentos en el proceso digestivo. El yogur se cataloga como un producto de alta digestibilidad, que aumenta el coeficiente de absorción de numerosas sustancias, tales como proteínas y grasas. El consumo de yogur intensifica la retención de fósforo, calcio e hierro en comparación con la leche; también cabe destacar su participación en la disminución de los problemas alérgicos. Además de consumir el yogur en forma natural, éste se puede integrar a múltiples preparaciones culinarias.

Debido a su fácil preparación y a la necesidad de su consumo, este producto es elaborado en Cuba a nivel industrial. Una de las fábricas dedicadas a la elaboración de este producto es la Pasteurizadora Santiago de Cuba que se encuentra en Ducureaux carretera del Caney, en la cual se realiza esta investigación. A pesar de que la tecnología utilizada es moderna, se han presentado problemas con la calidad de la materia prima. Los inóculos que se utilizan para la elaboración del yogur presentan baja viabilidad, y como consecuencia, se necesita un mayor tiempo de fermentación, afectándose no solo la calidad del producto sino también el costo de producción.

A partir de investigaciones anteriores se demostró que la aplicación de un campo magnético de 60 Hz y 4 mT aumenta la velocidad de crecimiento y la viabilidad de las bacterias en el yogur, lo que disminuye el tiempo de fermentación o elaboración (Mariño, 2012). Esto trajo como consecuencia que surgieran dudas acerca de la calidad del producto obtenido a partir de inóculos tratados con campo magnético. En un estudio más reciente, el realizado por Frómeta, en el año 2014 se obtuvo resultados sobre los parámetros organolépticos y sensoriales, pero aún no se ha tenido en cuenta los efectos de esta técnica en los parámetros reológicos, los cuales son de gran importancia en la industria, y por

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



ende en los alimentos. En productos como el yogur, la viscosidad es un parámetro de calidad esencial, por tanto para el desarrollo de esta investigación se plantea el siguiente protocolo:

Problema científico:

Desconocimiento de la viscosidad que presenta el yogur natural elaborado con cultivo Bioyogur tratado con campo electromagnético en la producción de este producto a escala de laboratorio.

Objeto de investigación:

Proceso de obtención de yogur natural.

Campo de investigación:

Viscosidad del yogur natural elaborado con inóculo tratado con campo electromagnético.

Objetivo General:

Evaluar la aplicación de un campo electromagnético de 60 Hz y 6 mT en la viscosidad del producto final.

Hipótesis:

Si el yogur natural elaborado con cultivo Bioyogur tratado con campo electromagnético presenta una viscosidad adecuada, entonces el tratamiento propuesto puede emplearse como una alternativa en la producción de yogur.

Objetivos específicos:

1. Determinar la viscosidad del yogur natural elaborado sin y con cultivo Bioyogur tratado con un campo electromagnético de 60 Hz a 6 mT durante 5 min empleando un viscosímetro rotacional.
2. Determinar el tiempo de flujo del yogur natural elaborado sin y con cultivo Bioyogur tratado con un campo electromagnético de 60 Hz a 6 mT durante 5 min empleando el método manual de la Copa Ford.
3. Obtener el modelo reológico del yogur natural elaborado sin y con cultivo Bioyogur tratado con un campo electromagnético de 60 Hz a 6 mT durante 5 min.

2. Metodología

2.1 Metodología empleada

La experimentación se realizó en el Laboratorio de Microbiología y Bioquímica de la Facultad de Ingeniería Química, ubicado en la sede Julio Antonio Mella de la Universidad de Oriente y en el

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

Laboratorio de Bitroplantas del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), en colaboración con el Laboratorio de Combustibles ubicado en esta misma instalación y con el Laboratorio de Calidad de la Pasteurizadora Santiago de Cuba.

El cultivo empleado como iniciador para la elaboración del yogur a nivel de laboratorio estuvo constituido por inóculos compuestos por *Lactobacillus acidophilus* y *Streptococcus termophilus*, el cual se obtuvo a partir del primer pase luego de realizar la reactivación del cultivo liofilizado, el cual se conoce como cultivo madre. Estos cultivos liofilizados son producidos en el banco de cepas del Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria (IIIA) de la Habana, son comercializados y distribuidos a todas las industrias y combinados lácteos del país.

Se utilizó como materia prima leche descremada en polvo (LDP), la cual fue obtenida de un mismo lote procedente de la fábrica, la misma contó con las características requeridas de calidad (acidez y sólidos no grasos) necesarias para la elaboración tanto del cultivo como del yogur.

Se prepararon cuatro muestras de cultivos de aproximadamente 100 mL cada una, a las cuales se les aplicó un campo magnético de 6 mT y 60 Hz durante 5 min, con el objetivo de aumentar la viabilidad de los microorganismos. Además se prepararon cuatro muestras de cultivo a las cuales no se les aplicó campo magnético, estas se tomaron como muestras control. Para la determinación de la viscosidad el yogur se elaboró con inóculos tratados magnéticamente y con las muestras control para poder comparar posteriormente.

En el diseño de experimentos la variable de respuesta es la viscosidad del yogur y para el desarrollo de la experimentación se siguieron los siguientes pasos:

- ❖ Preparar las condiciones asépticas del local y de los materiales a emplear.
- ❖ Preparar el medio de inoculación (800 mL de leche)
- ❖ Realizar el segundo pase del cultivo al 1% a una temperatura de 43⁰C durante un tiempo de incubación de 18-24 h, para obtener el cultivo técnico. Este proceso se realizó tres veces durante el tiempo de experimentación, ya que el período de reactivación de este cultivo es de 7 días.
- ❖ Tratar 4 muestras de cultivo de 100 mL cada una con un campo magnético de 60 Hz y 6 mT durante 5 min.
- ❖ Preparar 4 litros de leche con agua destilada en dos erlenmeyer, cada uno de 2 L de capacidad.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

- ❖ Inocular al 3% una muestra con cultivo tratado y su respectivo control con cultivo sin tratar. Dejar fermentar en la incubadora durante 3.5-4,5 h a 43⁰C.
- ❖ Analizar la viscosidad por el viscosímetro rotacional y por el método de la Copa Ford.

Los ensayos de investigación se realizaron durante un período de 15 días, los primeros 5 días se emplearon en la medición del tiempo de flujo a partir del método de la Copa Ford con un total de 69 mediciones, alrededor de 16 mediciones diarias. El resto del tiempo de experimentación se llevó a cabo el método empleando el viscosímetro rotacional, con un total de 50 mediciones. En el desarrollo de este método se realizaron solamente 10 mediciones diarias.

2.2 Métodos para la determinación de la viscosidad y el tiempo de flujo:

Determinación de la viscosidad por el viscosímetro rotacional:

El viscosímetro digital rotacional SNB-1 se utiliza para determinar la viscosidad absoluta a diferentes gradientes de velocidad. En comparación con otros productos similares, este instrumento tiene las siguientes características:

- ❖ Alta precisión de medición.
- ❖ Estable en la pantalla de medición.
- ❖ Fácil de operación y de lectura.

Las mediciones realizadas se llevaron a cabo en el laboratorio de combustible del Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA) y se desarrollaron 70 réplicas de las mismas. Los gradientes de velocidad usados para cada una de las mediciones fueron de 6 rpm, 12 rpm, 30 rpm y 60 rpm y el rotor utilizado fue el 2#.

Determinación del tiempo de flujo por el método de la Copa Ford:

Para el desarrollo del método se realizaron 69 réplicas de las mediciones, las mismas se llevaron a cabo en el laboratorio de calidad de la Pasteurizadora Santiago de Cuba.

Fundamento del método: Este método se basa en la determinación del tiempo de flujo del yogur batido por un orificio, utilizando la copa de Ford con el orificio de 4mm y a una temperatura de la muestra de 25 ⁰C, entendiéndose por tiempo de flujo al tiempo que tarda un determinado volumen de líquido en fluir por caída libre de un recipiente con un orificio en el fondo y ofrece un índice aproximado de la viscosidad del mismo.

Aparatos, utensilios y medios de medición: Copa de Ford de 100 mL de capacidad con orificio de 4 mm de diámetro. Cronómetro de precisión (0,2 s)

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

Según la norma para este método el yogur batido debe tener 20 segundos como mínimo.

2.3 Procesamiento estadístico de los datos

Para la comparación de los valores obtenidos del experimento se emplearon las siguientes herramientas estadísticas: el programa Microsoft Excel y el Statgraphics Centurion (v 15.2.14). Los resultados se obtuvieron a partir de los valores de la viscosidad dinámica en el caso del viscosímetro rotacional y de los tiempos de flujo en el caso del método de la Copa Ford. Los análisis estadísticos se realizaron a partir de la comparación de dos muestras independientes, opción aportada por el Statgraphics Centurion. Después de haber realizado los análisis pertinentes se analizó el efecto del tratamiento magnético de 6 mT a 60 Hz sobre la viscosidad del producto. Además se obtuvo el modelo reológico y se realizó una comparación entre ambos métodos empleados durante el desarrollo de la presente investigación.

3. Resultados y discusión

3.1 Análisis y discusión de los resultados obtenidos por el método del viscosímetro rotacional

En el desarrollo del método se analizó la viscosidad dinámica para cuatro diferentes gradientes de velocidad para muestras de yogur elaborado con cultivos tratados magnéticamente a 60 Hz y 6 mT durante 5 minutos y su respectivo control. La Tabla 1, que se muestra a continuación, refleja los valores obtenidos durante el primer día de experimentación en este método para 12 rpm, velocidad con la cual se muestran los posteriores análisis de los resultados obtenidos.

| Gradiente de velocidad ($\dot{\gamma}$) 12 rpm | | | | | |
|--|----------------|----------------|------------|----------------|----------------|
| Mediciones | Control | Tratado | Mediciones | Control | Tratado |
| | η (mPa·s) | η (mPa·s) | | η (mPa·s) | η (mPa·s) |
| 1 | 1060 | 983 | 6 | 1260 | 1190 |
| 2 | 1240 | 1000 | 7 | 1180 | 1270 |
| 3 | 1160 | 1110 | 8 | 1100 | 1340 |
| 4 | 1110 | 1140 | 9 | 1360 | 1280 |
| 5 | 1160 | 1250 | 10 | 1150 | 1370 |

Tabla 1: Datos obtenidos a partir de la medición empleando el viscosímetro rotacional SNB-1. Fuente: elaboración propia. De acuerdo a los resultados anteriormente expuestos se observa de manera preliminar cómo los valores de viscosidad obtenidos se encuentran aproximadamente en el mismo rango. Para determinar

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

si la diferencia entre el control y el tratado es significativa se llevó a cabo una comparación de las dos muestras de datos empleando el programa profesional Statgraphics Centurion (v 15.2.14).

En la Figura 1 se muestra el Gráfico de Caja y Bigotes para ambas muestras, en el cual la caja se construye con el intervalo cubierto por el 50% central de los valores de los datos cuando se ordenan de menor a mayor. La línea vertical corresponde a la mediana y el signo más se coloca en la media muestral. Los bigotes se dibujan desde los extremos de la caja hasta los valores mínimo y máximo de los datos.

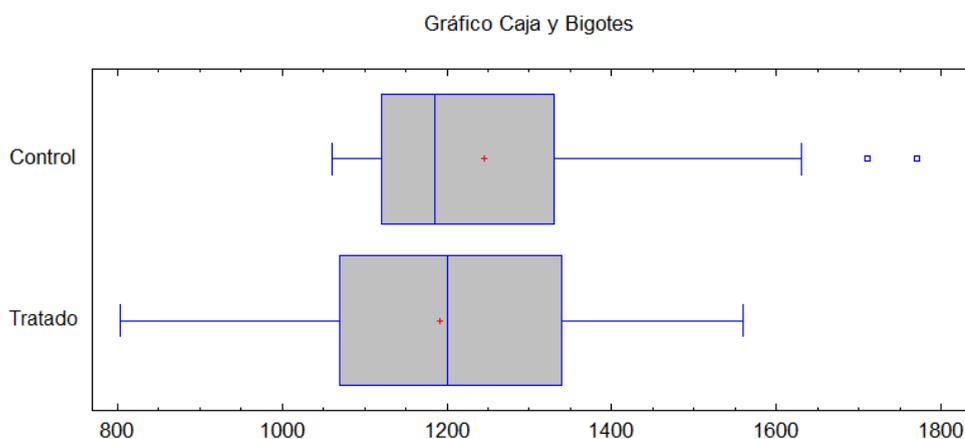


Figura 1: Gráfico de Caja y Bigotes para las muestras del control y el tratado. Fuente: elaboración propia.

Como se observa, la caja correspondiente al tratado es más simétrica que la del control y a la vez de mayor tamaño por lo que corresponde a la mayor variabilidad de los datos. Este tipo de gráfico es correspondiente a una distribución normal de los datos. En el caso del control la gráfica no es muy simétrica lo que indica una desviación de la normalidad, lo que provocaría que las pruebas en las que se comparan desviaciones estándar tiendan a invalidarse. La misma presenta dos puntos externos, los cuales pueden presentarse comúnmente por azar.

Las medianas y medias de las muestras no se superponen, pero están relativamente cercanas, por lo que no debe existir diferencia significativa entre ambas muestras. Esto se corrobora con las pruebas estadísticas realizadas, en el caso de la comparación de las medias se arribó a que no existe diferencia significativa entre la media del control y el tratado ($P > 0.05$). En el caso de la mediana se desarrolló una prueba de Wilcoxon de Mann-Whitney en la cual se obtuvo un valor de $P = 0.59777$ ($P > 0.05$) por lo que no hay diferencia estadísticamente significativa entre las medianas con un 95.0% de confianza. Otra de las pruebas estadísticas realizadas fue la de Kolmogorov-Smirnov. Esta prueba se realiza

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



calculando la distancia máxima entre las distribuciones acumuladas de las dos muestras. En este caso, la distancia máxima es 0.24, de particular interés es el valor P aproximado para la prueba, el cual fue de 0.112279. Debido a que el valor P es mayor que 0.05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las dos distribuciones con un 95.0% de confianza.

A partir de los análisis estadísticos el resultado común obtenido es la no influencia del tratamiento magnético en la viscosidad del yogur. La viscosidad es una característica de los fluidos en movimiento, que muestra una tendencia de oposición hacia su flujo ante la aplicación de una fuerza. Cuanta más resistencia oponen los líquidos a fluir, más viscosidad poseen. En estudios realizados anteriormente las principales influencias en este parámetro reológico se observan en los sólidos totales, en los cuales se ha demostrado que a mayor cantidad de sólidos totales presentes en la leche mayor es el índice de consistencia (K) y su viscosidad (Enríquez *et al.*, 2012).

En cuanto a la influencia del campo magnético los principales estudios llevados a cabo donde se observan efectos en la viscosidad o en algún parámetro reológico están relacionados con productos como la mayonesa en los cuales se aumenta la estabilidad de la emulsión y mejora sus características físico-químicas, organolépticas y su durabilidad. También en la industria confitera y de aromas se utiliza para mejorar la calidad de las masas de rellenos de chocolates al proporcionarle viscosidad óptima y aumentar su dispersión (Frómeta, 2014).

En cuanto a la industria láctea, que es el caso de la presente investigación, en un estudio realizado por Pothakamury en 1996, con la aplicación de electromagnetismo obtuvo leches fermentadas de mejor calidad, debido a que los campos electromagnéticos aumentan la viscosidad de la leche y disminuyen su tensión superficial. Por lo anteriormente expuesto los resultados de esta investigación pudieron deberse al hecho que el campo magnético se aplicó en el cultivo directamente por lo que los efectos se observan en mayor proporción a niveles atómicos y celulares (Rodríguez, 1999; Guzmán, 2009).

Esto está acorde con los estudios anteriores donde se observa el aumento de crecimiento microbiano de las bacterias ácido-lácticas, lo que provoca una mayor producción de ácido láctico, acelerando de esta manera el proceso de fermentación. Además influye positivamente en las características organolépticas y sensoriales (Mesa, 2014; Frómeta, 2014). En la figura 2 mostrada a continuación se observan las características de la formación del coágulo del yogur elaborado con inóculos tratados magnéticamente y su respectivo control, en la misma se manifiesta algunas de las características antes mencionadas.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTIFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”

DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

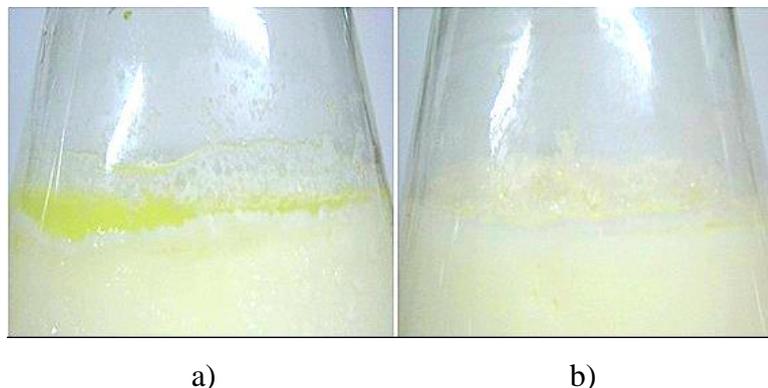


Figura 2: Aspecto de los coágulos obtenidos durante el proceso de fermentación, a) control y b) tratado con campo electromagnético. Fuente: elaboración propia.

En las imágenes anteriores se corrobora que el aspecto del coágulo más denso y consistente es el del tratado, lo cual es debido a un mejor proceso de fermentación. Además durante la experimentación a la hora de romper el coágulo para otorgarle la homogeneidad que requiere el yogur para consumir se necesitó un mayor grado de agitación para el tratado. También en un análisis realizado de acidez se obtuvo que la del control fue 1.14% y la del tratado de 1.27%, al ser superior demuestra que la producción de ácido láctico durante el proceso fermentativo aumentó con el tratamiento magnético, lo cual es consistente con investigaciones anteriores (Mesa, 2014; Frómeta, 2014).

Este aspecto de los coágulos también pudo deberse a que el tratamiento magnético influyó en las interacciones con la matriz proteica del sistema, que conllevan a atrapar más agua creando un coágulo más firme y consistente (Domínguez *et al.*, 2012). Esta influencia del campo magnético puede tener disímiles respuestas en sistemas diferentes, la influencia del mismo puede deberse a las propiedades magnéticas intrínsecas del sistema (Balderas, 2012). De manera general los mecanismos del ión ciclotrón e ión paramétrico son los que explican estos efectos. En el caso del cultivo puede deberse a la conductividad de determinados iones presentes en el fluido, en el medio de cultivo o sustrato. Los fundamentos de esta teoría se basan en la propiedad que tienen los alimentos fluidos de ser muy buenos conductores eléctricos. Debido a que el calcio está involucrado en un vasto arreglo de fenómenos celulares, los efectos de los campos electromagnéticos sobre los procesos biológicos calcio-dependientes, como es el caso de los productos lácteos, pudieran tener consecuencias de amplio rango (Mesa, 2014), como se manifestó en esta investigación.

3.2 Análisis y discusión de los resultados obtenidos por el método de la Copa Ford

El siguiente método se llevó a cabo en el laboratorio de calidad de la Pasteurizadora Santiago de Cuba

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

durante cinco días de experimentación. Este es un método manual el cual no mide directamente la viscosidad sino que da una idea de la viscosidad relativa del producto a partir de la medición del tiempo de flujo en segundos del yogur natural por un orificio de 4 mm empleando la Copa Ford con una capacidad de 100 mL. En la Tabla 2 mostrada a continuación se observa una selección de 10 valores obtenidos durante la medición del primer día.

| Mediciones | Tratadas | Control | Mediciones | Tratadas | Control |
|------------|----------|---------|------------|----------|---------|
| 1 | 112 | 102 | 6 | 126 | 115 |
| 2 | 103 | 100 | 7 | 136 | 110 |
| 3 | 125 | 105 | 8 | 125 | 124 |
| 4 | 112 | 105 | 9 | 91 | 121 |
| 5 | 130 | 104 | 10 | 99 | 135 |

Tabla 2: Tiempos de flujo en segundos para el yogur elaborado con cultivos tratados magnéticamente y su respectivo control a una temperatura de 25°C. Fuente: elaboración propia.

Para la comparación de estos resultados también se usó el programa profesional Statgraphics Centurion y se realizaron los mismos análisis estadísticos que los empleados en el método anterior. En la Figura 3 se muestra el gráfico de Caja y Bigotes para un total de 69 mediciones.

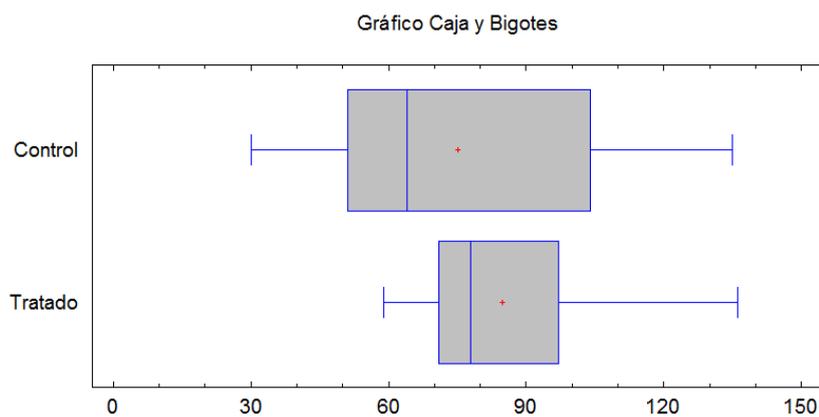


Figura 3: Gráfico de Caja y Bigotes obtenido a partir del análisis estadístico. Fuente: elaboración propia

A partir del análisis de las pruebas realizadas se obtuvo que existe diferencia significativa entre el control y el tratado ($P < 0.05$), lo cual es evidente al observar el gráfico anterior en el cual se ve una diferencia de posición entre la ubicación tanto de la media como la mediana. A pesar de esta diferencia significativa los valores obtenidos, tanto para las muestras tratadas con campo

PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”



DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.

electromagnético como para sus respectivos controles, se encuentran dentro de la norma (20 segundos como mínimo).

En este caso el tratado tiende a mayores valores que el control esto se manifiesta al comparar las medias y medianas obtenidas: las medias dieron valores de 75.101 y 84.754 segundos y las medianas 64 y 78 segundos del control y el tratado respectivamente. Lo anterior también se demuestra en la Figura 4 en la que se muestra un Gráfico de Densidades Suavizadas, el cual provee la forma de cada distribución de los datos. En el mismo, la curva obtenida para el tratado es la de mayor pico.

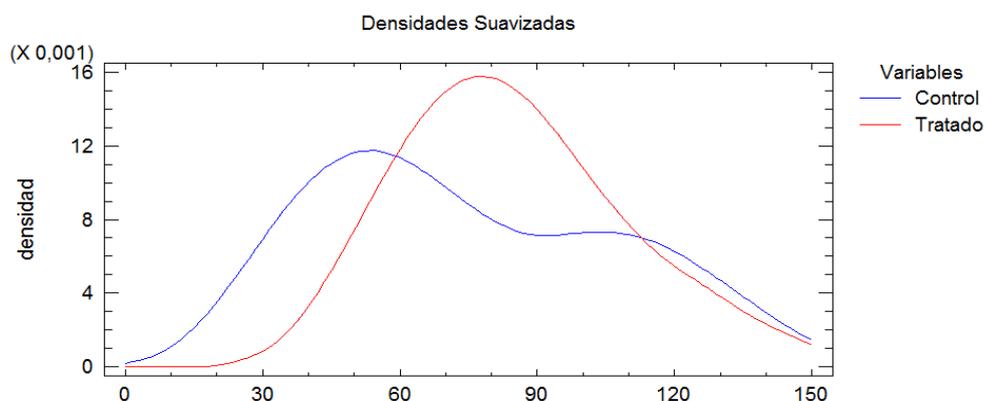


Figura 4: Gráfico de densidades suavizadas para las muestras analizadas. Fuente: elaboración propia.

Los resultados obtenidos para este método pudieron deberse al hecho de que el mismo es un procedimiento manual lo cual tiende a introducir mayor cantidad de errores humanos, además este se realiza en la fábrica para yogur batido cuyo coágulo formado es roto por agitación mecánica, lo que provoca la total homogeneidad del producto, en el caso del estudio realizado en la presente investigación no se contó con agitadores mecánicos, sino con agitación manual, por consiguiente quedan en el seno del fluido pequeños trozos de coágulo causando leves obstrucciones en el orificio de la Copa Ford.

3.3 Obtención del modelo reológico

A partir de las mediciones obtenidas con el viscosímetro rotacional y empleando el programa Microsoft Excel 2013 se obtuvo el comportamiento reológico promedio. Los valores de viscosidad dinámica fueron promediados para obtener un único valor para cada uno de los gradientes de velocidad que se analizaron en la presente investigación. En la Tabla 3, que se presenta a continuación, se recogen estos valores promedios.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCION CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

| Velocidad | 6 rpm | 12 rpm | 30 rpm | 60 rpm |
|-----------|---------|--------|--------|---------|
| Control | 2002.98 | 1245 | 750.16 | 501.375 |
| Tratado | 1892.8 | 1191.8 | 721.68 | 489.938 |

Tabla 3: Valores promedios de viscosidad dinámica (η) en mPa·s. Fuente: elaboración propia.

Existen diferentes modelos que describen los comportamientos de flujo, desde los fluidos que cumplen con la Ley de Newton de la viscosidad que se conocen como fluidos newtonianos hasta los no-newtonianos. De manera general estos modelos describen la relación del esfuerzo cortante (τ) contra el gradiente de velocidad ($\dot{\gamma}$).

Para poder obtener el modelo reológico en la presente investigación se determinó, empleando la relación 3.1 que se muestra a continuación, el esfuerzo cortante (τ) utilizando los valores mostrados en la tabla anterior.

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \dots\dots\dots(3.1)$$

Luego empleando el programa Microsoft Excel con los datos obtenidos se ajustó al modelo más favorable. En la figura 5 mostrada a continuación se observan las curvas de flujo tanto para el yogur elaborado con inóculos tratados magnéticamente como su respectivo control.

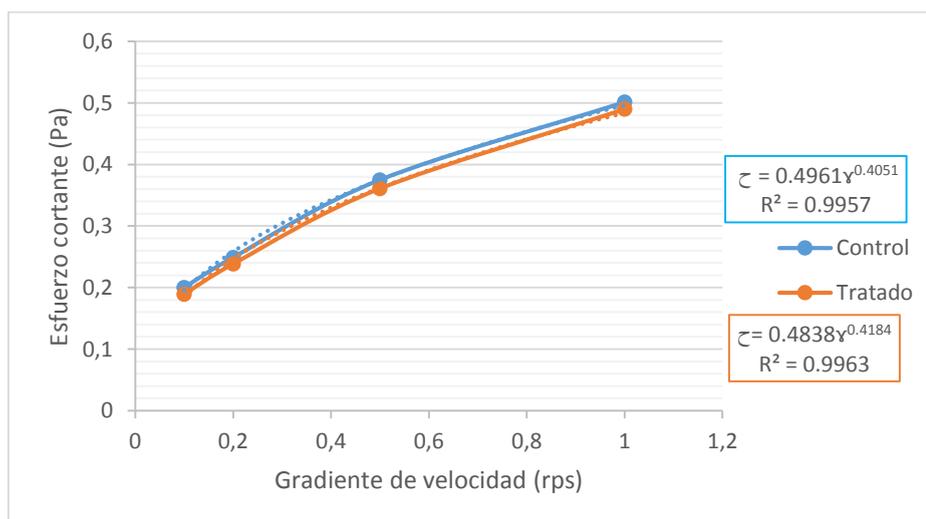


Figura 5: Curvas de flujo obtenidas para el yogur elaborado con cultivo tratado y su muestra control. Fuente: elaboración propia.

Se puede observar a partir de las curvas obtenidas que tanto el yogur elaborado con inóculos tratados

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



magnéticamente como la muestra control presentan un comportamiento no-newtoniano esto es acorde a investigaciones anteriores donde presentan este mismo comportamiento (Enríquez *et al.*, 2012; Díaz *et al.*, 2004). El modelo al cual se ajustaron los datos con índices de regresión de 99.57% y 99.63% para el control y el tratado respectivamente fue el modelo de Oswald de Waele o Ley de Potencia, el cual se corresponde a fluidos que tienen comportamiento pseudoplástico cuya característica principal es la disminución de la viscosidad con el aumento del gradiente de velocidad como se manifestó en los datos. Este modelo obtenido se corresponde con la investigación realizada por Díaz *et al.*, 2004 donde se emplea este mismo modelo para el ajuste de los datos.

A partir del modelo obtenido se puede determinar el índice de consistencia (K) para ambas muestras los cuales dieron valores de 0.4961 Pa·s y 0.4838 Pa·s para el control y el tratado respectivamente. En cuanto a los índices de flujo (n) para el control dio un valor de 0.4051 y para el tratado 0.4184. Los índices de flujo menores que la unidad corroboran la naturaleza pseudoplástica de los sistemas analizados.

Al realizar la comparación de los resultados obtenidos se puede comprobar que la diferencia entre estos no es acentuada, además al observar la Figura 3.5 se aprecia que la distancia de separación entre las curvas de flujo es muy pequeña lo que indica poca variación en el comportamiento de flujo del yogur elaborado con cultivo tratado con campo electromagnético con respecto a la muestra control. Por lo que se puede concluir a partir de este análisis que el tratamiento electromagnético no ejerce una influencia significativa en el modelo reológico del sistema, esto es acorde con los resultados obtenidos durante el estudio estadístico del método del viscosímetro rotacional.

3.4 Comparación entre ambos métodos

Desde el punto de vista de la viscosidad que es la propiedad en la cual se centra dicha investigación al comparar ambos métodos una diferencia es que el método por la Copa Ford se basa en la medición del tiempo de flujo, o sea, no mide directamente la viscosidad y además con este parámetro sólo se ve la influencia en la viscosidad relativa la cual solamente es comparativa y puntual. Mientras que la viscosidad medida por el viscosímetro rotacional es una viscosidad absoluta las cuales son valores conforme a las leyes físicas y a partir de esta se puede determinar una caracterización completa del comportamiento del flujo.

Otro aspecto de singular importancia es el hecho de que el método de la Copa Ford es manual, mientras que al emplear el viscosímetro rotacional se evitan errores humanos que son más comunes en

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**

**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**



métodos como el mencionado anteriormente. Por lo que desde el punto de vista de resultados el método por el viscosímetro es más confiable y más acorde en fines investigativos como es el caso del estudio realizado en el presente trabajo. Aunque no hay que desestimar la importancia del método de la Copa Ford ya que es más práctico y de más fácil manejo y acorde con los análisis de calidad que se realizan en la fábrica.

4. Conclusiones

1. A partir del método empleando el viscosímetro rotacional se demostró que la aplicación de un campo electromagnético de 6 mT a 60 Hz durante 5 minutos a los cultivos iniciadores del yogur natural no tiene una influencia significativa sobre la viscosidad del producto terminado, por lo que es posible aplicar el tratamiento como una alternativa en la producción de yogur natural.
2. Empleando la Copa Ford se determinó el tiempo de flujo tanto para las muestras elaboradas con tratamiento electromagnético como para su respectivo control, a partir de los resultados obtenidos se comprobó que existe una diferencia significativa entre las muestras. La media obtenida para las muestras tratadas fue un 11,4 % superior a la obtenida para la muestra control y ambas se encontraron dentro de la norma establecida.
3. El modelo reológico obtenido tanto para el yogur natural elaborado con inóculos tratados con campo electromagnético como para su respectivo control fue el de un fluido pseudoplástico, ajustándose los valores al modelo de Oswald de Waele o Ley de Potencia.

5. Referencias bibliográficas

1. Agostina (2000). Proyecto sobre lácteos, compuestos del Yogurt, la elaboración del Yogurt Búlgaro y propiedades del Yogurt. Datos: <http://www.invdes.com>. Consultado en Octubre de 2014
2. Balderas, D.C. (2012). Efecto de los campos electromagnéticos sobre el crecimiento y formación de biopelícula de microorganismos productores de caries: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México.
3. Bartrina, J.A. (2011). Guía de la buena práctica clínica en Alimentos funcionales. Organización Médica colegial, España, págs. 6-112.
4. Díaz, B.J.; Sosa, M. E.; Vélez, J. F. (2004). Efecto de la adición de fibra y la disminución de grasa en las propiedades fisicoquímicas del yogur. Revista Mexicana de Ingeniería Química Vol. 3, 287-305.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu

**PLANTILLA OFICIAL PARA LA PRESENTACIÓN DE TRABAJOS
II CONVENCIÓN CIENTÍFICA INTERNACIONAL
“II CCI UCLV 2019”**



**DEL 23 AL 30 DE JUNIO DEL 2019.
CAYOS DE VILLA CLARA. CUBA.**

5. Domínguez, J.; Martínez, L.P.; Rivera, P. (2012). Efecto de la composición del Exopolisacárido producido por *Lb. delbrueckii* ss. *bulgaricus* NCFB 2772 sobre propiedades reológicas de productos lácteos. Universidad Nacional Autónoma de México.
6. Enríquez, D.C.; Sánchez, S.G.; Castro P.S. (2012). Efecto de la concentración de sólidos totales de la leche entera y tipo de cultivo comercial en las características reológicas del yogurt natural tipo batido. Escuela de Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ciencias Agropecuarias (Universidad Nacional de Trujillo).
7. Frómeta, D.L. (2014). Parámetros organolépticos y sensoriales del yogur elaborado con campo electromagnético. Tesis presentada en opción al Título de Ingeniero Químico. Facultad de Ingeniería Química. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. Cuba.
8. Guzmán, T. M.; Anaya, M.; Mesa, Y.; Cobo, H. (2013). Células de *Lactobacillus acidophilus* bajo la acción de un campo electromagnético de frecuencia extremadamente baja. *Investigación y Saberes*; 2 (1): 13-17.
9. Jaramillo (2001). Proyecto sobre el porqué el Yogurt beneficia al intestino de los seres humanos. Datos: <http://www.contusalud.com>.
10. Mariño, Y.M. (2012). Efecto de un campo electromagnético de 40 gauss a 60Hz en la viabilidad del cultivo bioyogurt en las fases de crecimiento bacteriana. *Investigación y Saberes*, págs.65-70.
11. Mesa, M.Y. (2014). Tratamiento electromagnético a cultivos iniciadores del proceso de obtención del yogur de soya. Tesis en opción al título de Master en ingeniería de Procesos Químicos. Facultad de Ingeniería Química. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. Cuba.
12. Morales, J. (1988). Proyecto sobre Origen del Yogur. Datos: Universidad Central de Venezuela.
13. Rodríguez de la Fuente, A.O.; (1999). Influencia de los campos electromagnéticos de 60 Hz de frecuencia sobre el crecimiento y diferenciación de *Entamoeba invadens*/ (por) Abraham Octavio Rodríguez de la Fuente, UANL.

Información de contacto
convencionuclv@uclv.cu
www.uclv.edu.cu