

# Influencia del campo magnético estático en el proceso de preparación del sirope de piña

Guillermo Ribeaux-Kindelán<sup>1\*</sup>, Fidel Gilart-González<sup>1\*\*</sup>, Yelennis Hernández-Vázquez<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA), Universidad de Oriente, Cuba.

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Universidad de Oriente, Cuba.

\*ribeaux@uo.edu.cu, \*\*fgg@uo.edu.cu

## RESUMEN

El objetivo del trabajo fue determinar la influencia de un campo magnético estático de 81.7 mT sobre los parámetros de calidad, en el proceso de elaboración del sirope de piña. La preparación del sirope se realizó siguiendo las normas de fabricación de la UEB José Tey Saint Blancard, de Santiago de Cuba. El tratamiento magnético a las muestras se realizó con un dispositivo diseñado y construido en el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado (CNEA, para estos propósitos. Se determinó el conteo de coliformes, levaduras y hongos filamentosos, así como pH, °Brix y el color. El análisis de estos resultados se realizó mediante una comparación de muestras con el programa profesional STATGRAPHICS Centurion, se demostró que entre cada uno de los parámetros medidos en los controles y las muestras tratadas magnéticamente no existían diferencias significativas desde el punto de vista estadístico; sin embargo, para los efectos de la industria, y de acuerdo con la experiencia de investigaciones precedentes, si se considera que, en cuanto al color y el °Brix, el campo magnético tuvo una ligera influencia en la sedimentación y clarificación del sirope, pues disminuyó su turbidez y, en el caso del °Brix, específicamente, pudiera deberse a un aumento de la capacidad calórica del sirope que favorece así su concentración al valor deseado en menos tiempo.

**Palabras clave:** tratamiento magnético, siropes.

## ABSTRACT

The objective of the work was to determine the influence of a 81.7 mT static magnetic field on the quality parameters in the process of making pineapple syrup. The research was carried out at the National Center of Applied Electromagnetism, the preparation of the syrup was carried out following the manufacturing standards of the UEB José Tey Saint Blancard of Santiago de Cuba. The magnetic treatment of the samples was carried out with a device designed and built at the CNEA for these purposes. The count of coliforms, yeasts and filamentous fungi, as well as pH, °Brix and color, were determined. The analysis of these results was carried out by means of a comparison of samples using STATGRAPHICS Centurion, demonstrating that between each of the parameters measured between the controls and the magnetically treated samples, there were no statistically significant differences, however, for the purposes of industry and according to the experience of previous investigations, if it is considered that in terms of color and °Brix the magnetic field had a slight influence on the sedimentation and clarification of the syrup, reducing its turbidity, and in the case of the °Brix, it could be due to an increase in the caloric capacity of the syrup, thus favoring its concentration to the desired value in less time.

**Key words:** magnetic treatment, syrups.

## INTRODUCCIÓN

Los siropes son disoluciones concentradas de azúcar, elaborados con excelente calidad para evitar la descomposición, pues constituyen un medio notable para el crecimiento de hongos, levaduras y bacterias. El azúcar es el ingrediente principal que define la composición de este producto,

ya que le confiere el sabor dulce, el valor alimenticio o energético y actúa como preservante en la conservación y prolongación de la vida media de este alimento.

La demanda creciente de alimentos mínimamente procesados, seguros, que conserven totalmente sus características y respeten las exigencias medio ambientales, justifica el desarrollo de nuevas tecnologías para la conservación y transformación de alimentos; como las tecnologías emergentes y de procesamiento no térmico de alimentos que han cobrado protagonismo y aceptación entre los consumidores (1). Estas no emplean el calor como agente de inactivación microbiana.

En la UEB José Tey Saint Blancard, perteneciente a la Empresa de Bebidas y Refrescos (EMBER), en Santiago de Cuba, se elaboran siropes de diferentes sabores, y se emplean aditivos como técnica de conservación tradicional, pero aun así no se consigue que la vida útil del producto, específicamente el de piña, sea la esperada, por lo que no satisface las expectativas del productor y los consumidores.

La durabilidad del sirope, envasado en recipientes plásticos, debe oscilar entre dos y cuatro meses. Sin embargo, en las condiciones actuales de producción se garantiza la estabilidad del producto solamente por un mes. La realización de investigaciones en esta área, con el propósito de mejorar la calidad del producto, es de gran importancia e interés, por los beneficios económicos y sociales que reportaría.

Por ello, constituye un reto aplicar la tecnología del campo magnético estático durante el proceso de elaboración del sirope y que pueda influir en su durabilidad. Por lo que el objetivo de la investigación es evaluar la influencia del campo magnético estático, con inducción magnética de 81.7 mT, en la preparación del sirope de piña.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El sirope se elaboró según la norma cubana (2). Primeramente, se esterilizaron los instrumentos a utilizar en autoclave a 120 °C, por 20 minutos. También se esterilizó el lugar de trabajo con una solución al 70 % de alcohol etílico.

Para la preparación de 200 mL de sirope de piña a escala de laboratorio se utilizó:

- 1.53 mL esencia de piña
- 149.8 g de azúcar refino
- 1.4 g de ácido cítrico
- 0.2 g benzoato de sodio
- 0.3 mL color caramelo
- 100.88 mL de agua tratada

Se mezcló hasta lograr la total homogenización con un agitador mecánico, a una velocidad de 295 rpm, durante 30 min, a temperatura ambiente, en un vaso de precipitado de 250 mL. Alrededor del vaso de precipitado se acopla el acondicionador magnético, como se muestra en la figura 1. El tiempo de exposición al campo magnético estático coincide con el tiempo de agitación.

Al sirope se le efectúan los análisis que certifican que se encuentra apto para su comercialización y consumo; estas determinaciones son: físico-químicas (°Brix, pH y color) y microbiológicas (coliformes, hongos filamentosos y levaduras)

El contenido de sólidos solubles (°Brix) se determina según (3) empleando tablas que correlacionan el índice de refracción con el contenido de sólidos solubles (expresado en sacarosa), o la lectura directa de sólidos solubles en el refractómetro, a 20 °C. Para ello se vierte una pequeña cantidad de muestra en el equipo y se lee por medio de una escala graduada el índice de refracción que presenta el sirope.



**Figura 1.** Instalación experimental en la elaboración del sirope de piña a escala de laboratorio.

La determinación del pH se realiza según NC ISO 1842: 2001 (4), donde establece la medición por el método potenciométrico; el cálculo se realiza por la diferencia de potencial entre dos electrodos.

El análisis microbiológico se realiza para conocer la cantidad de microorganismos patógenos que hay presentes en el sirope elaborado; según lo establecido en la NC-ISO 4832 2010 y la NC 1004: 2014 (5 y 6). Se realizan las siembras microbiológicas para cada una de las muestras según la NC 585:2017 (7), para las determinaciones de: levaduras, hongos y Conteo Total de Microorganismos (MOS); y se realizan las lecturas microbiológicas al término de los tres y cinco días, respectivamente.

El color se determinó por el Método de Horne. Es un atributo de apariencia de los productos y su observación permite detectar ciertas anomalías y defectos (ICUMSA).

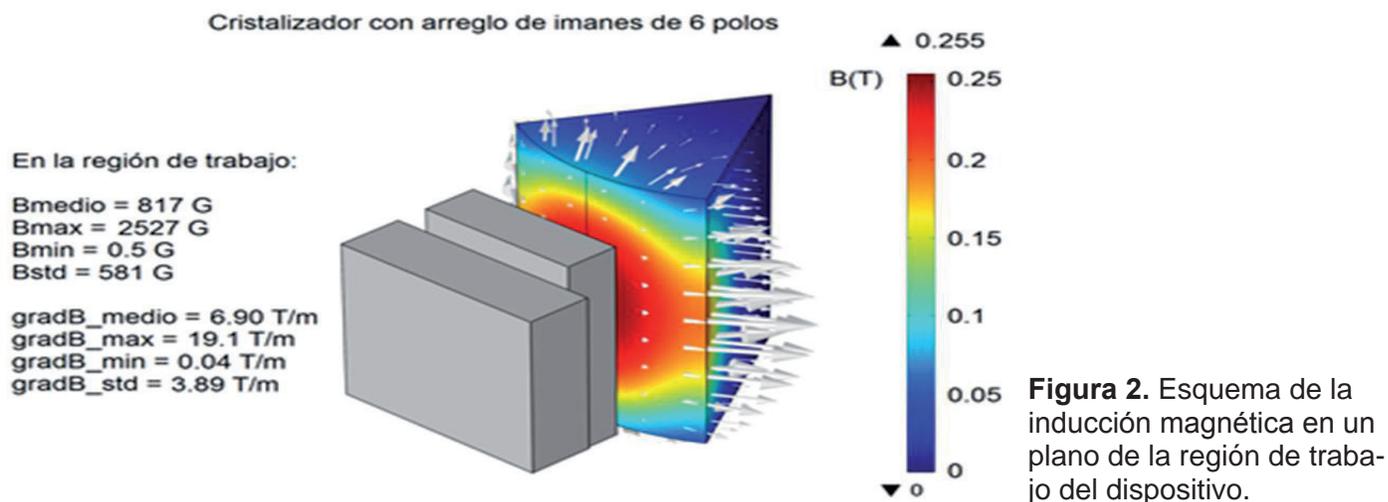
### Equipos y materiales empleados

- Balanza técnica, modelo Sartorius, soporta hasta 120 g, alimentación de 220 V.
- Autoclave, modelo ASH –260, alimentación de 110 V y una potencia de 1 kW.
- pHmetro.
- Brixómetro.
- Agitador Mecánico con un voltaje de 110 V.
- Incubadora para mohos y levaduras.

### Dispositivo acondicionador magnético

Para la aplicación del campo magnético se utilizó un arreglo de imanes permanentes como el que se muestra en la figura 1, elaborado y caracterizado en el Centro Nacional de Electromagnetismo Aplicado. Los imanes son de NdFeB de 32 MGOe, con forma de barra transversal rectangular, con dimensiones de 5x3x1 cm, magnetizados hasta la saturación a lo largo del eje menor y todos enfrentan el mismo polo al eje de simetría del dispositivo. El acondicionador magnético utilizado fue diseñado y confeccionado especialmente para los experimentos desarrollados en esta investigación, este se ubica alrededor del reactor y garantiza que las líneas de campo magnético atraviesen todo el volumen de la solución.

Para la caracterización del dispositivo se realizó una simulación con el software profesional COM-SOL Multifisic V- 5, basado en el método de los elementos finitos. Se resolvió un problema magnetostático 3D sin corrientes eléctricas. El dominio de solución fue una esfera de 0.25 m de diámetro. La precisión de resolución fue de 10<sup>-8</sup>. Sobre la esfera límite se aplicó la condición de frontera de elementos infinitos, como se muestra en la figura 2.



**Figura 2.** Esquema de la inducción magnética en un plano de la región de trabajo del dispositivo.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Del análisis estadístico

Primeramente, se hizo un análisis exploratorio de los datos para saber de qué distribución provienen, debido a que el sesgo y la curtosis estandarizada se encuentran en el rango de -2 a +2, podemos afirmar que proviene de una distribución normal.

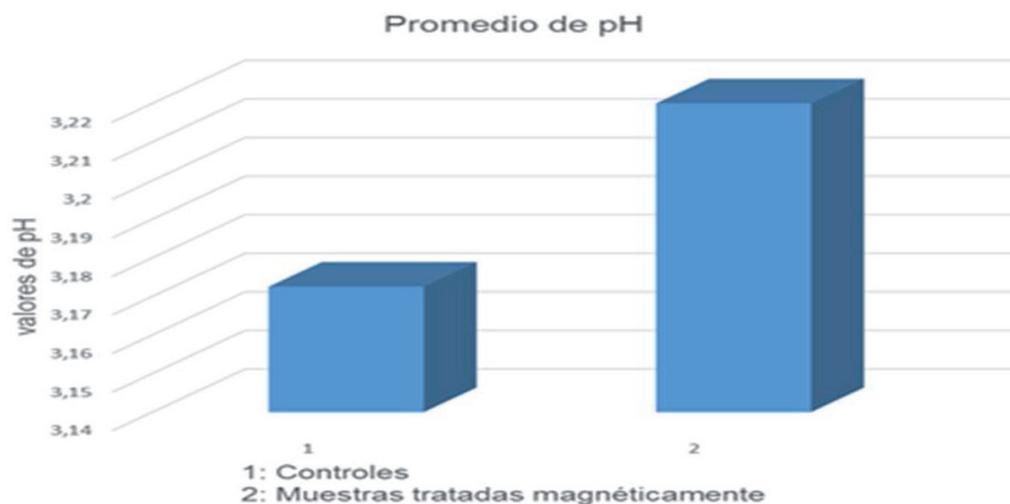
Se realizó una comparación de muestras independientes (muestras con tratamiento magnético y controles) para el pH y el °Brix.

### Para el pH

#### *Comparación de medias*

Se trabajó con un intervalo de confianza del 95.0 %. Se realizó una prueba t de student para comparar las medias. Como el valor probabilístico es mayor que 0.05 se concluyó que no existen diferencias significativas desde el punto de vista estadístico, entre los controles y las muestras tratadas magnéticamente, en relación con el pH.

Sin embargo, existe una ligera diferencia entre el pH de los controles y las muestras tratadas con magnetismo, figura 3, siendo el de este último ligeramente más elevado y, quizás, esto tenga alguna relevancia para la industria, ya que la acidez de los siropes varía en forma inversa con el pH, las muestras de sirope con una acidez más elevada presentan un mayor contenido de azúcares reductores, debido a que un aumento en la concentración de iones  $H^+$ , favorece la hidrólisis de la sacarosa. En nuestro caso particular, no podemos afirmar categóricamente que este ligero aumento del pH sea causado por la presencia del campo magnético estático, ya que el ambiente en que se realizaron las corridas experimentales era bastante descontrolado, en cuanto a la temperatura (condiciones ambientales), tal y como se realiza en la fábrica, y es conocido que el pH es muy sensible a los cambios de este parámetro; no obstante, si es importante señalar que se ha corroborado el cambio de concentración de iones en las soluciones, cuando estas son sometidas a la acción del campo magnético, de manera que no se descarta una posible influencia del campo magnético sobre el pH, solo que es necesario continuar y profundizar estos estudios en condiciones más controladas.

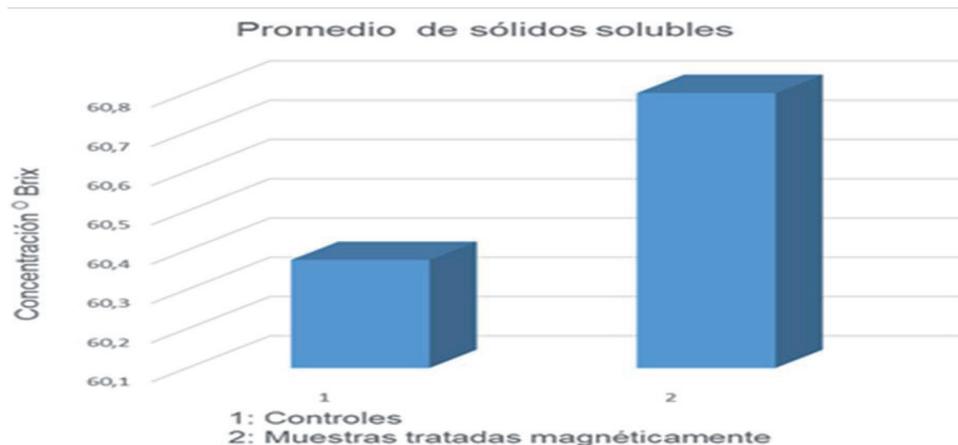


**Figura 3.** Promedio del comportamiento del pH.

### Para el °Brix

#### *Comparación de medias*

Se trabajó con un intervalo de confianza del 95.0 %. Se realiza una prueba t de student para comparar las medias. Como el valor probabilístico es mayor que el 0.05 se puede concluir que no existe diferencia estadísticamente significativa entre los controles y las muestras tratadas con magnetismo, en relación con el °Brix. No obstante, se puede observar que en cada una de las muestras tratadas magnéticamente en el mismo período de tiempo (30 min), se logra una concentración algo superior que cuando no se emplea el campo magnético. Esto podría resultar de interés para la industria, figura 4. De este resultado se infiere que el coeficiente de traspaso de calor  $\alpha$  debe ser menor para las muestras tratadas. Esto pudiera deberse a que la muestra tenga una menor conductividad térmica o una mayor capacidad calorífica que el control.



**Figura 4.** Promedio del comportamiento de °Brix.

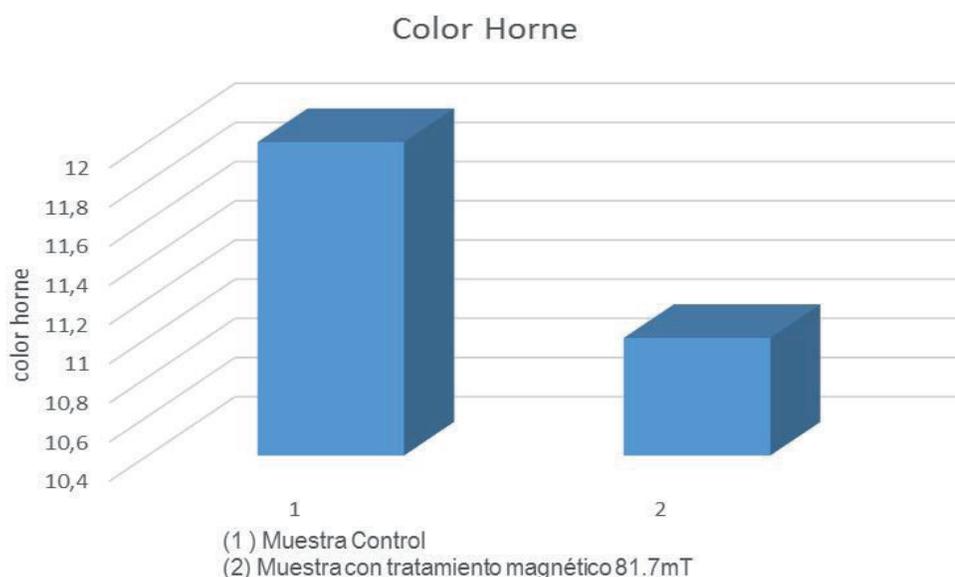
Esto se puede explicar porque la energía interna de los líquidos se determina no solo por la energía cinética de los movimientos térmicos de sus partículas, sino también por la energía potencial de su interacción. La experiencia muestra, que la capacidad calorífica depende de la temperatura y esta dependencia es diferente para los distintos líquidos. En la mayoría de estos la capacidad calorífica aumenta con el aumento de la temperatura, ya que el campo magnético estático externo, al igual que lo hace la temperatura, al deshidratar las moléculas de sacarosa, aumenta la intensidad de la interacción entre ellas, su acción debe conducir a un aumento de la capacidad calorífica de las soluciones tratadas. Esto se puede deducir de los resultados del estudio de la influencia del campo

magnético sobre la cinética de la cristalización de la sacarosa, por el método de enfriamiento (9, 10), donde se demuestra que un campo magnético es capaz de debilitar los enlaces por puentes de hidrógeno (11, 12). Del comportamiento del °Brix se puede inferir que la capacidad calorífica de las muestras tratadas magnéticamente pudiera ser mayor que la de las muestras no tratadas.

Este resultado a nivel industrial tiene gran significación, ya que lograr el valor de concentración deseado, en menos tiempo, redundaría en un ahorro de energía.

## Color

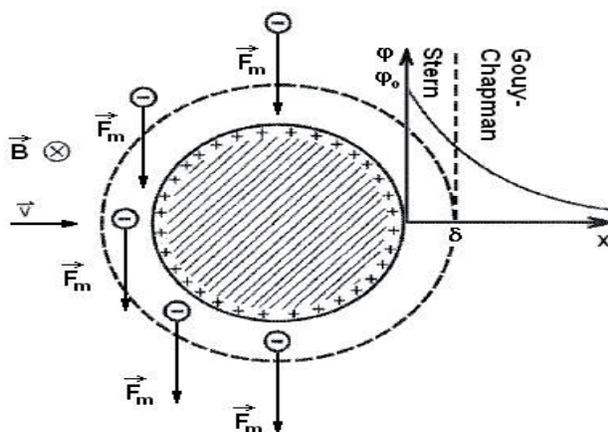
Al analizar los valores del color medidos, se observa una disminución de estos en las muestras tratadas magnéticamente, con respecto a los controles, y según la experiencia y resultados obtenidos en la investigación sobre la influencia del campo magnético en la sedimentación (13), se concluye que un campo magnético estático con inducción 170.6 mT favorece el proceso de sedimentación y clarificación de una solución azucarada, de ahí que se pueda plantear que para los valores de color obtenidos corresponden absorbancias de 1.167 (control) y 1.071 (muestra), lo que nos indica que sí existe diferencia en el color, figura 5.



**Figura 5.** Valor de Color Horne.

La explicación de este fenómeno se debe a que las partículas coloidales son las causantes de la turbiedad del sirope, para eliminar estas partículas se recurre a los procesos de coagulación, que es un proceso de desestabilización química de las partículas coloidales que se producen al neutralizar las fuerzas que las mantienen separadas, facilitando su aglomeración, para lo cual deben ser anuladas las cargas eléctricas sobre la superficie del coloide; es decir, que ocurra una compresión de la doble capa y permita que las partículas coloidales se aglomeren formando flóculos, se infiere que esto sea lo que esté provocando el campo magnético tal y como se plantea en (14), donde refieren que la fuerza de Lorentz pudiera provocar la condensación de la capa de Stern (Capa comprimida) a costa de la capa de Gouy-Chapman (Capa difusa).

La neutralización de la superficie cargada de la partícula dispersada puede ser valorada sobre la base de la teoría de la doble capa eléctrica. Al finalizar el tratamiento magnético pudiera haber una tendencia a que los contraiones en exceso, en la capa de Stern, se distribuyan uniformemente. Este proceso pudiera durar desde horas hasta días y conducir a la heterocoagulación de las partículas. La homogenización de la capa de Stern, finalizado el tratamiento magnético, intensificaría la agregación de la fase sólida por homocoagulación (figura 6).



**Figura 6.** Efecto de la componente magnética de la fuerza de Lorentz sobre la capa de Stern (Capa comprimida) en el tratamiento magnético.

### Del análisis microbiológico

Los coliformes, levaduras y hongos filamentosos se mantuvieron en normas (<10 UFC/mL), excepto dos muestras y un control que estuvieron fuera de parámetros, seguramente debido a alguna contaminación en la manipulación o esterilización de los recipientes, el caso es que no se observó ni inhibición ni estimulación de ninguno de estos parámetros tanto en los controles como en las muestras tratadas magnéticamente. Los valores de inducción de campo magnético que inhiben o estimulan el crecimiento de microorganismos son indistintos en dependencia de cual se trate (15), evidentemente el valor seleccionado en esta investigación (81.7 mT) y el tiempo de exposición de la muestra (30 min), no fueron suficientes para producir algún efecto, siempre resaltando el hecho de que el Laboratorio Provincial de Higiene, Epidemiología y Microbiología (LPHEM) no emite los valores de coliformes, hongo filamentosos y levaduras por debajo del límite permisible, por lo que no fue posible determinar si este valor de campo magnético (81.7 mT) propició una inhibición de los microorganismos, de manera que sería necesario continuar con esta investigación solicitando al LPHEM los valores en UFC/mL de coliformes, hongo filamentosos y levaduras de los controles y las muestras tratadas magnéticamente aunque estén por debajo del límite permisible, lo que nos permitiría conocer definitivamente si hubo una inhibición de los mismos por acción del campo magnético.

### CONCLUSIONES

Se analizó el comportamiento de los parámetros físico - químicos del sirope de piña y se determinó que entre los controles y las muestras tratadas magnéticamente, de cada uno de los parámetros medidos, no existía diferencias estadísticamente significativas, sin embargo, en cuanto al color, el °Brix y pH, el campo magnético estático tuvo una ligera influencia, lo que desde el punto de vista industrial es relevante, ya que este campo provocó la disminución de la turbidez, lo que pudiera deberse a un aumento de la capacidad calórica.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Raventos, M. Industria alimentaria, tecnologías emergentes Ediciones UPC – España. 2005.
2. NC 903:2012. Elaboración del sirope.
3. NC 424: 2006. Código refractométrico.
4. NC ISO 1842: 2001. Determinación de pH.
5. NC-ISO 4832 2010. Análisis microbiológico.
6. NC 1004: 2014. Análisis microbiológico.

7. NC 585:2017. Siembra microbiológica.
8. Mijeeva, I. M.; Mijeev, M. A. Fundamentos de termotransferencia, ENPES, Unidad administrativa Santiago, Noviembre de 1988.
9. Ribeaux, G.; Ares, O.; Falcón, F.; Girasole, M. Verificación mediante la AFM de la influencia del campo magnético en la cinética de la cristalización de soluciones azucaradas. Revista Cubana de Química. Vol. XVIII, No. 1, 2006.
10. Ribeaux, G.; Ares, O.; Fernández, A.; Falcón, F. Influencia del Campo Magnético Estático en la nucleación y cristalización de la sacarosa, Bol. Soc. Quím. Méx., 2(2), ISSN 1870-1809. 2008.
11. Cefalas, A.C.; Kobe, S.; Drazic, G.; Sarantopoulou, E.; Kollia, Z.; Strazisar, J.; *et al.* Nanocrystallization of  $\text{CaCO}_3$  at solid/liquid interfaces in magnetic field: A quantum approach, Applied Surface Science, 254, 2008.
12. Danielewicz-Ferchmin, I.; Ferchmin, A.R. Water at ions, biomolecules and charged surfaces, Phys. Chem. Liquids 42, 2004.
13. Cabrera Y. Influencia del campo magnético en la sedimentación y clarificación del jugo alcalizado. Tesis de Grado. Universidad de Oriente. 2014.
14. Lipus, L.C.; *et al.* Dispersion Destabilization in Magnetic Water Treatment. Journal of Colloid and Interface Science 236, 2001.
15. Berlot, M.; Rehar, T.; Fefer, D.; Berovic, M. The influence of treatment of *Saccharomyces cerevisiae* inoculum with a magnetic field on subsequent grape must fermentation, Chem. Biochem. Eng. Q., 27 (4): 423-429. 2013.