

“Diseño del Sistema de Esterilización Experimental en la Obtención de Licor de Cacao”

Banner Guerrero Albán¹, José Rodríguez Webster²

¹Ingeniero en Alimentos 2006

²Director de Tesis. Ingeniero Químico, Universidad de Guayaquil, 1975, Diplomado 2002
Profesor de ESPOL desde 2003.

RESUMEN

En la obtención de licor de cacao, es necesario realizar una esterilización para reducir la carga microbiana, en este proceso el producto es expuesto a altas temperaturas (112°C) por prolongado tiempo (15 horas), afectando las características naturales del cacao con que fue procesado.

En esta investigación se estableció las condiciones actuales del proceso industrial para la obtención de licor de cacao, características organolépticas y determinación de la carga microbiana. Se realizó cálculos para obtener la conductividad térmica, mediante la composición química del licor, determinamos las propiedades reológicas y caracterizamos el fluido, estableciendo su modelo matemático, para conocer estas propiedades se usó un viscosímetro rotacional.

Una vez conocida estas propiedades, se diseñó y construyó un esterilizador experimental, realizando un escalado inverso de las características del esterilizador industrial y efectuamos un estudio de transferencia de calor. Al momento de realizar las pruebas experimentales con el esterilizador construido, aplicamos un lavado al cacao antes de procesarlo a licor de esta manera se logró determinar que es posible la reducción de la carga microbiana y los parámetros de proceso, tiempo y temperatura.

Por último realizamos un estudio estadístico mediante el análisis sensorial, utilizando la Escala Hedónica o grado de satisfacción para comparar las características organolépticas del licor antes y después de la esterilización propuesta.

BRIEF

For Obtaining the cocoa liquor is necessary to make a sterilization to reduce the bacteria quantity, in this process the product is exposed under high temperature (112°C) for long period of time (15 hours), affecting the natural characteristics of cacao under which it was processed.

In this recherche the real conditions of this industrial process were established for obtaining the cocoa liquor, organoleptics characteristics and determination of bacteria quantity. To obtain the thermal conductivity calculus were done, through the chemical composition of the liquor, it was determined the reologic proprieties and the fluid was distinguished, establishing its mathematical model, to know these proprieties a rotary viscous meter was used.

Once these proprieties were known, an experimental sterilizer was designer and built, making a reverse escalation of the characteristic of the industrial sterilizer and a study of heat transference was effected. At the time of making the experimental test with the built sterilizer, a washing of the cacao beans was applied before processing the liquor thus it was determined that it's possible to reduce the bacteria quantity and the process parameter, time and temperature.

Finally, we made a statistical study through the sensorial analysis, using the Hedónica scale or satisfaction grade to compare the organoleptics characteristic of liquor before and propose sterilization.

INTRODUCCION

En la industria de derivados de cacao, la obtención de licor requiere una previa esterilización, para llevar acabo esta etapa, se usa un Equipo de esterilización con agitación mecánica, cuyo proceso dura 15 horas a 112°C, la exposición del producto a estas condiciones de trabajo estaba afectando las características organolépticas.

El objetivo de este trabajo es el de analizar el proceso de obtención de licor de cacao para reducir la carga microbiana en un menor tiempo y temperatura, a fin de obtenerlo dentro de parámetros de las normas de calidad y mantener las características organolépticas del producto.

Para lograr este objetivo, se requerirá aumentar una etapa de lavado al proceso con el fin de lavar la fruta para reducir la carga microbiana y se diseñara un esterilizador experimental. Para esto fue necesario realizar un escalado hacia abajo del esterilizador industrial, dicho equipo fue construido para realizar las respectivas pruebas experimentales a nivel de laboratorio y comprobar la reducción de la carga microbiana por efecto de la etapa de lavado. De esta manera se va a reducir a 13 horas y 110 °C los parámetros de esterilización, finalmente validamos el proceso propuesto mediante pruebas microbiológicas y análisis sensorial.

CONTENIDO

Determinación de la carga microbiana en cada etapa del proceso

Realizamos un análisis microbiológico en cada etapa del proceso para conocer con que cantidad de colonias entra al inicio del proceso de obtención del licor y a cuanto se reduce en la etapa final. Presentando los resultados en la siguiente tabla:

TABLA I
UFC / gr. En cada Etapa

Etapa	UFC /gr.
Recepción	304000
Limpiadora	304000
Tostado	121000
Descascarillado	65000
Molienda	51000
Esterilización	4000

Características Organolépticas del licor de cacao

La prueba fue realizada por un grupo de veinte jueces semientrenados. Se presentaron dos muestras de licor: identificados con los números 156 y 407, la primera se la obtuvo del proceso y la segunda es una muestra estándar. Los resultados obtenidos del análisis sensorial, se los tabula en forma numérica para realizar el estudio estadístico, utilizando la tabla T. Si existe una diferencia significativa, siempre mayor, entre:

$$\frac{\bar{d}}{S/\sqrt{n}} > T$$

Se concluye que existe una preferencia significativa; reemplazando valores tenemos que:

$$8.18 > 1.729$$

Por lo tanto, decimos que existe una preferencia significativa entre las muestras.

DISEÑO DEL ESTERILIZADOR EXPERIMENTAL.

Para realizar el diseño y construcción del equipo de esterilización experimental se tuvo que determinar las características y propiedades reológicas del licor de cacao, luego se realizó un escalado hacia abajo del equipo industrial manteniendo las condiciones de trabajo y se realizó un estudio de transferencia de calor.

Calculo de la Conductividad Térmica para el Licor de Cacao

Para conocer la conductividad del licor de cacao, se debe de conocer su composición química y aplicar la ecuación de Choisy y Oikos:

$$K = \sum(\kappa_i \chi_{vi})$$

Donde: κ_i = Conductividad Térmica del componente puro.

χ_{vi} = Fracción de Volumen de cada componente.

Obteniendo:

$$K = 0.4319 \text{ w /m } ^\circ\text{C} = 0.371 \text{ Kcal. / m hr } ^\circ\text{C}$$

Caracterización Reológica del Licor de Cacao

Para determinar la reología del licor de cacao se usó un viscosímetro rotacional, realizando lecturas a 110°C.

Con los valores obtenidos calculamos el esfuerzo cortante y el gradiente de velocidad, construyendo el gráfico τ en función de $\left(-\frac{\partial v}{\partial y}\right)$, obteniendo así la curva de flujo del fluido.

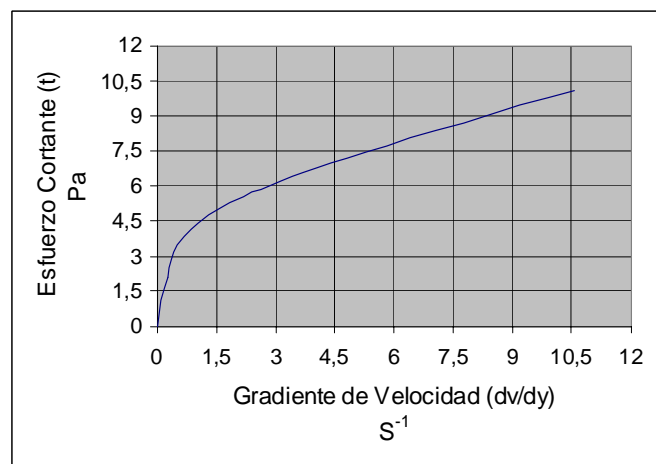


Figura 1

De esta curva obtenemos el valor del índice de consistencia K con $\left(-\frac{\partial v}{\partial y}\right) = 1$, esto es $K = 3.868 \text{ Pa} \cdot \text{s}$; y el índice de flujo $m = 0.3959$. Una vez que se ha caracterizado el licor de cacao como un fluido, pseudoplástico, obtendremos su modelo matemático usando la ecuación de Ostwald de Waele:

$$\tau = 3.868 \left(-\frac{\partial v}{\partial y}\right)^{0.3959}$$

Escalado del Esterilizador Experimental

Se desea realizar un escalado hacia abajo del equipo industrial para realizar pruebas experimentales y comprobar si la etapa de lavado adicionada al proceso da resultados favorables.

Semejanza Geométrica

La semejanza geométrica es importante en este tipo de problemas, se debe conocer la razón de reducción de escala R , que esta dada por la expresión:

$$R = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{1/3}$$

1. El volumen del esterilizador industrial V_2 es de 6480 lts. y realizando una reducción de 1000 veces (R), despejamos V_1 de la relación $R = V_2 / V_1$ para obtener el volumen del esterilizador experimental:

$$V_1 = 6.480 \text{ lts.}$$

2. Conociendo los dos volúmenes aplicamos la ecuación de relación de escala R .

$$R = 10$$

3. Obteniendo R , aplicamos a todas las dimensiones del esterilizador experimental, mediante la siguiente relación: $D_{T2} = R D_{T1}$

Despejando D_{T1} nos queda:

$$D_{T1} = 0.17 \text{ m}$$

Semejanza Cinemática

Luego de haber obtenido una regla para la reducción de escala determinaremos la rapidez del agitador N_1 , cuya revolución se usara en la construcción del esterilizador. Para esto se aplicara la siguiente expresión:

$$N_2 = N_1 \left(\frac{1}{R} \right)^{2/3}$$

Despejando de esta ecuación N_1 y reemplazando los valores, obtendremos:

$$N_1 = 32 \text{ RPM}$$

Conociendo los volúmenes de cada esterilizador y la potencia del industrial (P_2).

Obtenemos la potencia para el modelo experimental con la siguiente expresión:

$$\frac{P_1}{V_1} = \frac{P_2}{V_2}$$

$$P_1 = 0.005 \text{ HP}$$

TABLA II
DIMENSIONES Y MEDIDAS DEL ESTERILIZADOR INDUSTRIAL vs.
EXPERIMENTAL

Dimensiones	Esterilizador Industrial	Esterilizador Experimental
D_{T2}	1.7 m	0.17 m
D_{a2}	1.5 m	0.15 m
H_2	2.59 m	0.259 m
W_2	0.10 m	0.01 m
C_2	0.10 m	0.01 m
J_2	0.10 m	0.01 m
N_2	7 RPM	32 RPM
P_2	5 HP	0.11 HP

Transferencia de Calor

Para el estudio de transferencia de calor debemos conocer el calor específico del licor y el área de transferencia del esterilizador experimental:

$$C_p = 1(\text{H}_2\text{O}) + 0.4 (\text{Fracción grasa}) + 0.2 (\text{fracción no grasa})$$

$$C_p = 0.328 \text{ Kcal. / Kg. } ^\circ\text{C}$$

Una vez encontrado el C_p del producto podemos encontrar la cantidad de calor que requiere el licor, esto es:

$$Q_{\text{producto}} = m C_p (t_f - t_i) m^{\lambda}$$

$$Q_{\text{producto}} = 93.436 \text{ Kcal.}$$

Como el medio calefactor es aceite térmico, consideramos que el proceso es no isotérmico y para el estado no estacionario es dada la siguiente expresión:

$$\ln \frac{T_1 - t_1}{T_1 - t_2} = \frac{WC}{MCp} \left(\frac{K_1 - 1}{K_1} \right) \theta \quad K_1 = e^{U_D A / WC}$$

Despejando K_1 nos queda:

$$K_1 = 1.0227$$

U_D , coeficiente global sucio, queda:

$$U_D = \frac{\ln K_1 \times W \times C}{A}$$

$$U_D = 1.1557 \text{ KJ} / \text{m}^2 \text{ min } ^\circ\text{C} = 0.2760 \text{ Kcal} / \text{m}^2 \text{ min } ^\circ\text{C}$$

Una vez que el esterilizador ha alcanzado la temperatura de 110°C , esta se mantiene constante por 12 min., por este motivo se considera en esta parte un estado estacionario y calculamos la cantidad de calor mediante la siguiente ecuación:

$$Q = U_D A \Delta t_B$$

$$Q = 0.533 \text{ Kcal.} / \text{min.}$$

El estado estacionario dura 12 min. Por lo tanto la cantidad de calor queda:

$$Q = 6.398 \text{ Kcal.}$$

La cantidad de calor total es:

$$Q_{\text{Total}} = Q_{\text{estado estacionario}} + Q_{\text{estado no estacionario}} + Q_{\text{perdido}}$$

$$93.456 \text{ Kcal.} + 6.398 \text{ Kcal.} + 18.69$$

$$Q_{\text{Total}} = 118.5456 \text{ Kcal.}$$

Coefficientes convectivos.

Conocida la cantidad de calor total, procederemos a encontrar los coeficientes convectivos, aplicando la ecuación del número de Nusselt:

$$Nu = a Re^b Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^n$$

$$\text{Prandtl (Pr) es: } Pr = \frac{C_p \times \mu}{K}$$

Conociendo los valores de calor específico, conductividad térmica y la viscosidad por lectura directa a 110 °C, que es 17cp o 61.2 Kg. / m hr °C. Calculamos el número de Prandtl (Pr)

$$Pr = 54.106$$

μ_w , es la viscosidad por lectura directa del licor en la pared del esterilizador, esto es 14 cp a 115 °C. Por lo tanto encontramos el número Nusselt

$$Nu = 269.799$$

Aplicando la siguiente expresión encontramos el coeficiente conectivo externo del esterilizador industrial:

$$h_o = 58.879 \frac{Kcal}{m^2 hr^\circ C}$$

El coeficiente global limpio U_C esta dada por:

$$U_C = \frac{h_o \cdot h_i}{h_o + h_i}$$

Despejando el coeficiente conectivo interno nos queda:

$$h_i = 24.098 \frac{Kcal}{m^2 hr^\circ C}$$

Calculando mediante la siguiente expresión el coeficiente conectivo interno del esterilizador experimental, nos queda que:

$$Q_{Total} = h_i A \Delta t$$

$$h_i = 71.58 \frac{Kcal}{m^2 hr^\circ C}$$

Una vez obtenida la cantidad de calor requerido por el licor, y la suministrada por el medio calefactor, concluimos que la eficiencia del equipo es:

$$\varepsilon = \frac{Q_{Pr\ oducto}}{Q_{Total}} \times 100$$

$$\varepsilon = \frac{93.43 Kcal}{118.54 Kcal} \times 100$$

$$\varepsilon = 79\%$$



Figura 2

VALIDACIÓN EXPERIMENTAL

Con el lavado aplicado, se obtuvo resultados positivos, logrando reducir una cantidad considerable de aerobios totales.

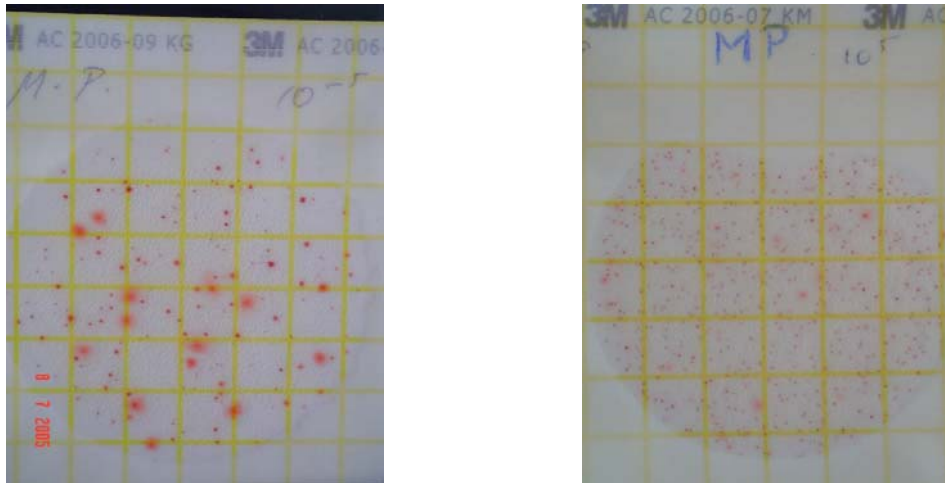


Figura 3

La esterilización experimental con la aplicación del lavado de la materia prima, reduce la temperatura a 110 °C y 52 min., obteniendo una carga microbiana de 2000 ufc/gr., logrando obtener licor de cacao dentro de los parámetros establecidos.

TABLA III
UFC / gr. En cada Etapa

Etapa	UFC /gr. (Proceso Real)	UFC /gr. (Proceso Propuesto)
Recepción	304000	304000
Lavado	-----	236000
Secado	280000	210000
Limpiadora	280000	210000
Tostado	121000	102000
Descascarillado	65000	54000
Molienda	51000	42000
Esterilización	4000	2000

Características Organolépticas del licor de cacao

Por ultimo, para evaluar si hubo algún cambio en las características Organolépticas del licor de cacao, se realizó un nuevo análisis sensorial, utilizando la Escala Hedónica.

Si existe una diferencia significativa, siempre mayor, entre:

$$\frac{\bar{d}}{S/\sqrt{n}} > T$$

Se concluye que existe una preferencia significativa; reemplazando valores tenemos que:

$$1.813 > 1.729$$

Por lo tanto, decimos que existe igual, una preferencia por la muestra estándar, pero como podemos ver, el valor no es significativamente mayor. Analizando los comentarios emitidos por los jueces de la muestra obtenida por la esterilización propuesta, Concluimos que se mejoro las características Organolépticas del licor.

CONCLUSIONES

La aplicación de una etapa de lavado de las pepas de cacao en la recepción de la materia prima, redució la carga microbiana de 304000 ufc / gr. A 236000 ufc / gr., con lo cual nos permitió reducir tiempo y temperatura en la etapa de esterilización del licor de cacao, manteniendo la calidad de sus características organolépticas.

Para realizar el diseño y construcción del equipo de esterilización experimental determinamos: la conductividad térmica del licor de cacao, obteniendo una recta la cual esta en función de la temperatura y utilizamos un viscosímetro rotacional para determinar que el licor de cacao es un fluido pseudoplástico, cuyo modelo matemático corresponde a la ecuación de Ostwald de Waele.

Se obtuvo una eficiencia del esterilizador experimental del 79 % y las pérdidas generadas por el sistema representan el 21 %

Realizamos un estudio estadístico mediante un análisis sensorial, que se fundamenta por la diferencia significativa entre la desviación Standard y la tabla T, entre dos muestras, una Standard y otra obtenida con los nuevos parámetros de esterilización; obteniendo $1.813 > 1.729$, la cual nos indica que no existe una diferencia marcada entre estas dos muestras, por lo tanto logramos mejorar nuestro producto en sus características Organolépticas.

REFERENCIAS

- 1 GEANKOPLIS C.J., Proceso de Transporte y Operaciones Unitarias, (3er Edición, México, Editorial Continental S.A., 1998), pp. 161 – 170
- 2 MC. CABE WARREN L., SMITH JULIAN C., HARRIOTT PETER, Operaciones Básicas de Ingeniería Química, (4ta Edición, Madrid - España, Mc. Graw Hill., 2001), pp. 260- 264
- 3 ROSALBA V. JULIO, Hidrodinámica y Separaciones Mecánicas, (Editorial Pueblo y Educación, Habana - Cuba, 1988), pp. 175 - 182