

Estudio de la relación tiempo y temperatura del PCCB1, con la eliminación de microorganismos patógenos en el concentrado de frutas.

**Línea de concentrado**

Validar que la pasteurización llevada a cabo en la línea de concentradoes eficaz para el objetivo pretendido.

**Elaborado por:**

## Introducción

En todo proceso productivo donde se involucren alimentos, en concreto jugos o concentrados de frutas, se debe tener especial cuidado con el tratamiento de dicho producto, con el fin de mantener controlados los peligros biológicos que se encuentran estrechamente ligados a este, tales como, lo son las bacterias Escherichiacoli (E. coli) que viven en los intestinos de las personas y de los animales sanos, la mayoría de las variedades de Escherichiacoli son inofensivas o causan diarrea breve en términos relativos. Sin embargo, algunas cepas particularmente peligrosas, como la Escherichiacoli O157:H7, pueden causar cólicos abdominales intensos, diarrea con sangre y vómitos, por su parte, la bacteria Salmonella typhimurium, es una bacteria que puede desencadenar la salmonelosis, una infección que afecta generalmente la zona intestinal y de vez en cuando la circulación sanguínea, siendo esta la más común de las intoxicaciones alimentarias. Entendiendo esto, se hace de vital importancia la eliminación de estas bacterias mediante tratamientos térmicos o químicos, siendo la pasteurización el tratamiento más usado, ampliamente aceptado y recomendado por los entes internacionales tales como la FAO.

En el presente estudio se pretende probar que el proceso de pasteurización-evaporación utilizado cumple con el objetivo pretendido, para esto se evalúan:

1. Procesos y equipos asociados.
2. Estándares establecidos para la producción de jugos de frutas.
3. Resultados de estudios previos de interés.
4. Estudio de correlación entre la cantidad de microorganismos en el producto terminado, la temperatura de exposición diaria y el tiempo de exposición al tratamiento térmico.

Lo que servirá como basamento teórico-matemático para probar definitivamente el cumplimiento de las **normas** dentro del proceso productivo y poder determinar si existe algún riesgo biológico no controlado dentro del mismo, el estudio es de tipo experimental, dado que se realizan mediciones reales en campo para la obtención de resultados con ayuda de instrumentos propios del proceso.

## Basamento teórico

Para una mayor comprensión del estudio, así como una guía de hacia donde se pretende llegar con esta investigación se hace necesario contextualizar el mismo haciendo uso de conceptos y teorías importantes que ayudaran en la realización y a la generación de conclusiones luego del estudio matemático que se pretende llevar a cabo.

### Proceso de Pasteurización

Es un tratamiento térmico aplicado en líquidos (generalmente alimentos) con la intención de reducir la presencia de agentes patógenos que puedan contener, en este proceso la gran mayoría de los agentes bacterianos mueren debido a las altas temperaturas, uno de los motivos de su aplicación es el control de microorganismos de los alimentos líquidos, alterando lo menos posible su estructura física, sus componentes químicos y sus propiedades organolépticas, es importante resaltar que a diferencia de la esterilización, la pasteurización no destruye completamente las esporas de los microorganismos, ni elimina todas las células de microorganismos termofílicos, es por ello que en la pasteurización, el objetivo primordial no es la eliminación completa de los agentes patógenos sino la disminución sustancial de sus poblaciones, reduciéndolas a niveles que no causen intoxicaciones alimentarias a los humanos. En Venezuela de frutas se aplica el proceso de pasteurización el cual cuenta con una estación de pre-calentamiento para el producto por medio de un intercambiador de calor donde el producto se expone brevemente a temperaturas de entre 70°C y 73°C, facilitando la pasteurización que es de tipo HTCT, así como, optimizando los tiempos productivos.

### Evaporación

En Venezuela de Frutas se cuenta con un proceso conjunto de pasteurización y evaporación continua dentro del evaporador, el cual presenta 5 etapas y 6 efectos, el tipo de evaporador implementado es de película descendente, que según el fabricante posee las siguientes características:

- Flexible en operación, permitiendo el funcionamiento continuo o por lotes.
- Muy adecuado para efectos múltiples.
- La simplicidad de la construcción permite el uso económico de materiales resistentes a la corrosión.

- Maneja líquidos que aumentan la viscosidad a concentraciones más altas porque el líquido fluye como una película delgada por la superficie de los tubos de calentamiento.
- Vaporiza materiales viscosos más fácilmente que una evaporación de circulación natural a medida que se produce la vaporización a partir de una película delgada.
- Se puede usar de forma ventajosa con la recompresión térmica.
- Bajos requerimientos de energía.
- Bajo volumen de retención.
- Se puede configurar como una película descendente a contracorriente para la aplicación de eliminación.

Entre las aplicaciones del evaporador de película descendente se encuentran:

- Líquidos demasiado viscosos para la circulación natural.
- Líquidos donde el tiempo de retención debe ser minimizado.
- Líquidos sensibles al calor o cuando el exceso de temperatura es crítico.
- Líquidos que requieren una diferencia de temperatura limitada.

Ejemplos de aplicación del evaporador de película descendente para el procesamiento industrial:

- Soda caustica
- Soluciones de pectina
- Sorbitol
- Jugos de frutas
- Productos farmacéuticos
- Agua de remojo de maíz
- Sacarosa

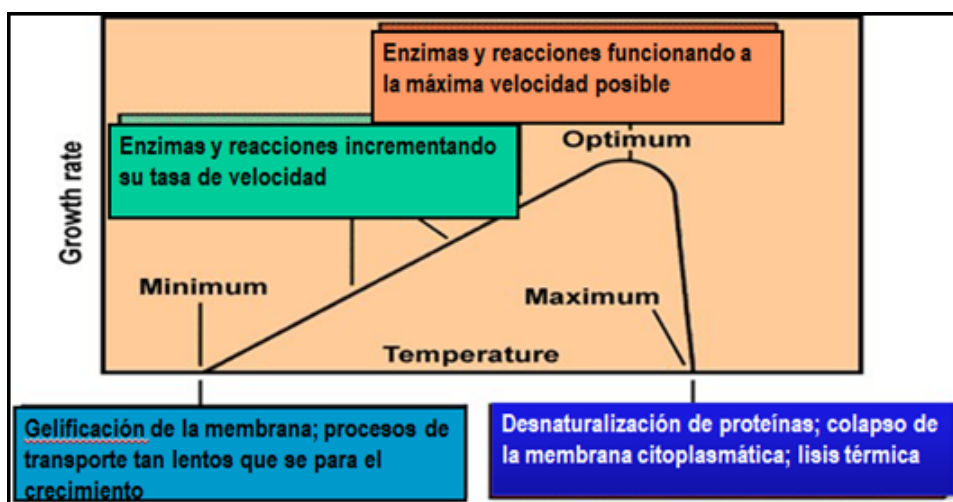
Lo que le convierte en el equipo recomendado para el proceso productivo efectuado en EMPRESA C.A.

## **Influencia de la temperatura en el crecimiento microbiano**

### **Fundamento**

El crecimiento de los microorganismos se encuentra influenciado por varios factores. Entre ellos los más importantes son la aireación y la temperatura. En cuanto a este último, la Temperatura, los microorganismos tienen un margen de temperaturas en el cual pueden crecer. Este margen viene delimitado por la temperatura máxima de crecimiento, a partir de la cual no pueden vivir e incluso mueren; la temperatura mínima por debajo de

la cual no pueden crecer aunque generalmente no mueren; y la temperatura óptima a la cual ofrecen el mejor crecimiento.



Grafica 1.

Atendiendo a este margen de temperatura de crecimiento, los microorganismos se clasifican en:

- Hipertermófilos: Su temperatura óptima se encuentra por encima de los 80°C. Muchos de ellos son arqueas.
- Termófilos: Su temperatura óptima se encuentra entre 45-70°C. Suelen ser microorganismos de vida libre
- Mesófilos: Su temperatura óptima se encuentra entre los 25-45°C. Incluye microorganismos patógenos y comensales del hombre y animales de sangre caliente y algunos de vida libre.
- Psicótrofos: La temperatura óptima de los microorganismos de este grupo está por debajo de los 25 - 30°C incluye microorganismos de vida libre.

Tipo de microorganismo	Temperatura mínima (°C)	Temperatura Óptima (°C)	Temperatura máxima (°C)
Mesófilo	5 - 15	30 - 45	35 - 47
Psicrófilo	-5 + 5	12 - 15	15 - 20
Psicrótrofo	-5 + 5	25 - 30	30 - 35
Termófilo	40 - 45	55 - 75	60 - 90

Tabla 1.

Los métodos que se emplean para obtener una temperatura constante para el cultivo in vitro de los microorganismos son:

1. La estufa de cultivo.- En ella pueden haber oscilaciones de 1 a 3°C.

2. El baño termostatzado.- Permite un mantenimiento más estable de la temperatura. En él las oscilaciones suelen ser inferiores a 1°C.

Información extraída de la investigación de laboratorio de microbiología publicada por GOUH.uh.es

### Niveles aceptables de microorganismos patógenos en jugos y concentrados de frutas.

La FDA en su “Guía para la industria: los peligros y controles de HACCP jugos orientación. Primera edición; orientación final” publicada en el año 2004 en la sección C. Medidas de control de los peligros biológicos establece, que el requisito mínimo para que un producto sea biológicamente seguro para el consumo se debe cumplir que durante el proceso se reduzcan un mínimo de 5-log de la población total de microorganismos patógenos presentes en el producto presentando la siguiente tabla:

Initial number of pertinent microorganism bacteria per gram of food	Log reduction	Decrease in pertinent microorganism bacteria levels	Percent of change	Final number of bacteria per gram of food
100,000 ( $10^5$ )	1	10-fold	90 %	10,000 ( $10^4$ )
100,000 ( $10^5$ )	2	10x10 = 100 fold	99 %	1,000 ( $10^3$ )
100,000 ( $10^5$ )	3	10x10x10=1000 fold	99.9 %	100 ( $10^2$ )
100,000 ( $10^5$ )	4	10x10x10x10=10,000 fold	99.99 %	10 ( $10^1$ )

Initial number of pertinent microorganism bacteria per gram of food	Log reduction	Decrease in pertinent microorganism bacteria levels	Percent of change	Final number of bacteria per gram of food
100,000 ( $10^5$ )	5	$10 \times 10 \times 10 \times 10 \times 10 = 100,000$ fold	99.999 %	1 ( $10^0$ )

**Tabla 2.**

Para efectos referenciales se toma la tabla de tolerancias máximas y mínimas de microorganismos patógenos en jugos de frutas establecida en la resolución 7992 de 1991, por la cual se reglamenta parcialmente el Título V de la Ley 09 de 1979 en lo relacionado con la elaboración, Conservación y comercialización de Jugos. Concentrados, Néctares, Pulpas, Pulpas Azucaradas y Refrescos de frutas, y aplicada por el ministerio de salud en Colombia, en esta se describe cómo deben ser los resultados para un producto de buena calidad, aceptable calidad y no apto para el consumo, el **Artículo 3. De las convenciones en materia de requisitos microbiológicos.**

Para efectos de Identificación de los índices microbiológicos permisibles para los diferentes productos objeto de

Esta reglamentación, se adoptan las siguientes convenciones.

n = Numero de muestras a examinar

m = Índice máximo permisible para Identificar nivel de buena calidad

M = Índice máximo permisible para identificar nivel aceptable de calidad

c = Número máximo de muestras permisibles con resultado entre m y M

< = Léase menor de

> = Léase mayor de

## **CAPITULO II DE LOS JUGOS Y PULPAS DE FRUTAS**

### **Artículo 5**

### c. Microbiológicas

Las características microbiológicas de los Jugos, pulpas de frutas pasteurizados son las siguientes:

N	M	Mc		
Recuento de microorganismos mesofilos/g	3	20.000	3.000	1
NMP coliformes totales/g	3	9	–	0
NMP coliformes fecales	3	<3	–	0
Recuento esporas clostridium sulfito reductor/gi	3	<10	–	0
Recuento de hongos y levaduras/g	3	100	200	1

Tabla 3.

### Estudios previos

Entre los estudios previos que sustentan esta investigación se toman el realizado por *Tony Laguna y Osmay Márquez* (2019) titulado “Estudio de la relación tiempo y temperatura del PCCB1 en la línea de concentrado”, en EMPRESA, Barquisimeto, Venezuela, que tiene como propósito validar que la medida de control en la pasteurización realizada en el evaporador es eficaz y cumple con el objetivo pretendido, de donde se toman algunas medidas de interés obtenidas dentro de la línea de concentrado de frutas.

También, se toma como referencia el estudio realizado por *Karen Melissa Colcha Aguas* (2017) "Diseño de un Evaporador para la Concentración de Jugos de Frutas", de donde se toman algunos conceptos teóricos que serán de utilidad para este estudio.

Por su parte, se toma como referencia teórica del comportamiento de la *Salmonella* el estudio realizado por Avelino Álvarez Ordoñez (2009) en la Universidad de León, Guayaquil, Ecuador, titulado “Estudio de los factores que determinan la respuesta de adaptación ácida y de protección cruzada frente al calor de *Salmonella* Typhimurium y *Salmonella* Senftenberg: mecanismos implicados” estudio que proporciona ayuda para el entendimiento del comportamiento microbiano de la bacteria que puede encontrarse en los alimentos tales como los jugos de frutas.

Así mismo, se toma como referencia teórica del comportamiento microbiano el estudio realizado por el departamento de microbiología de la facultad de ciencias de la salud de la universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela. (2003) en el que se realizaron prácticas de laboratorio para evaluar la supervivencia de *E. Coli* 157 H7 en jugo de naranja sin pasteurizar, para el estudio se hizo uso de un aislado de *E. Coli* 7 H7 inoculado en jugos de naranja de expendio comercial sin pasteurizar, las muestras fueron preparadas ajustándose sus pH a tres niveles: 3,0; 3,5 y



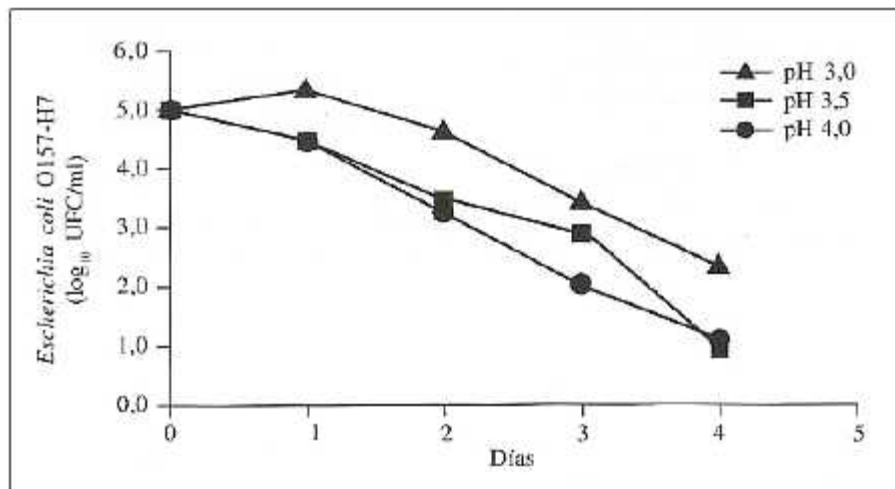
4,0. Un inóculo del aislado de  $10^5$  UFC/ml fue preparado e inoculado en las muestras a los distintos pH, siendo almacenadas a 5 y 10°C. El número de células viables se determinó por recuento en placa, durante cuatro días consecutivos a la inoculación. En niveles no detectables del microorganismo por recuento en placa, se utilizó una técnica de pre-enriquecimiento y detección por ELISA. Los resultados revelan diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) en la supervivencia del microorganismo entre las temperaturas de almacenamiento utilizadas, obteniéndose recuentos mayores de células viables a 5°C. La supervivencia del microorganismo frente a los distintos tratamientos de pH, presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), tanto a 5 como a 10°C. A pH 3,0 y 3,5 la población se reduce en 4 ciclos logarítmicos, mientras que a pH 4,0 la reducción fue de 2,5 ciclos, tanto a 5 como a 10°C. Los datos indican que la supervivencia del microorganismo fue observada hasta por 8 días post-inóculo, y en los primeros 4 días los niveles de células viables se encuentran en el orden de  $10^2$  a  $10^4$  UFC/ml de jugo.

De este estudio se obtienen los siguientes resultados:

- Supervivencia del aislado de *Escherichia Coli* O157 en las muestras de jugos almacenadas a 5 °C. La supervivencia del microorganismo en las unidades experimentales almacenadas a 5°C, luego de aplicados los distintos tratamientos de pH (3,0; 3,5 y 4,0), presentó diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). En la figura 1 se observa el comportamiento del aislado en las unidades almacenadas a 5°C. A pH 3,0, la reducción a los 2 días post-inóculo fue de 5,0 log<sub>10</sub> UFC/ml a 3,2 log<sub>10</sub> UFC/ml, aproximadamente 1,7 ciclos logarítmicos, mientras que al cuarto día la población se redujo de 5,0 log<sub>10</sub> UFC/ml a menos de 10 log<sub>10</sub> UFC/ml. Similar comportamiento se observó en los patrones de supervivencia, al aplicar el tratamiento con pH 3,5, siendo la declinación en el número de células viables de alrededor de 1,5 ciclos logarítmicos al segundo día post-inóculo y de 4 ciclos logarítmicos al cuarto día. Al aplicar el tratamiento de pH 4,0, las células sobrevivientes recuperadas por recuento en placa de AMS fue significativamente superior ( $p < 0,05$ ) en relación con los otros tratamientos (pH 3,0 y 3,5). En los dos primeros días post-inóculo la reducción fue de 5,0 log<sub>10</sub> UFC/ml a 4,8 UFC/ml, lo que representa una disminución de células viables de menos de 0,5 ciclos logarítmicos, mientras que al cuarto día el número de células

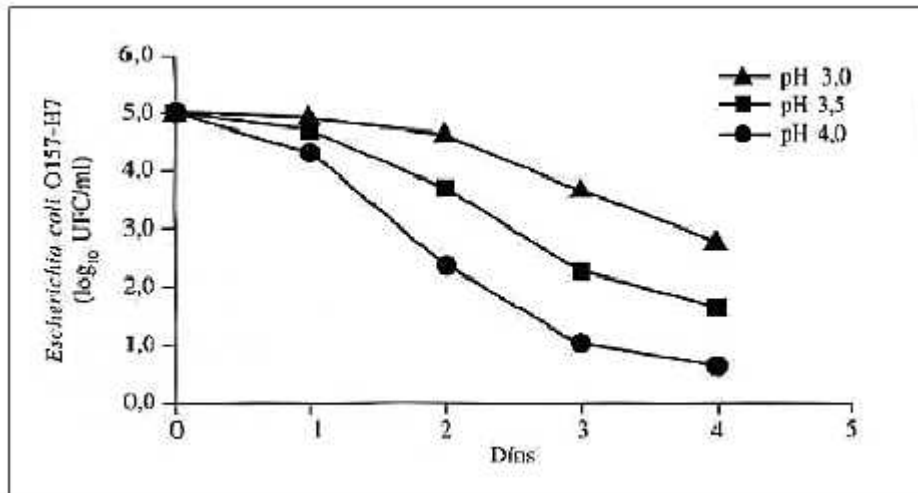
recuperadas fue de 2,5 log<sub>10</sub> UFC/ml, estimándose la reducción de la población en aproximadamente 2,5 ciclos logarítmicos.

- Figura 1. Supervivencia de *Escherichia Coli* O157-H7 en jugos de naranja no pasteurizados almacenados a 5°C.



- Supervivencia del aislado de *Escherichia Coli* O157 en las muestras de jugos almacenadas a 10°C. La supervivencia del microorganismo en las unidades almacenadas a 10°C fue significativamente menor que en las almacenadas a 5°C ( $p < 0,05$ ); no obstante, el comportamiento del aislado frente a los distintos tratamientos de pH aplicados a esta temperatura arrojó diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). Tal y como se aprecia en la figura 2, a pH 3,0 existe una disminución en el número de células viables desde 5,0 log<sub>10</sub> UFC/ml hasta 3,8 log<sub>10</sub>UFC/ml hacia el segundo día post-inóculo, mientras que, a pH 3,5, en el mismo período de tiempo, el decremento en la población viable fue de 5,0 log<sub>10</sub> UFC/ml a 2,1 log<sub>10</sub> UFC/ml, aproximadamente 2,0 ciclos logarítmicos. Para el cuarto día, los niveles de *E. Coli* sobrevivientes, a pH 3,0, fueron de 1,7 log<sub>10</sub> UFC/ml, y para pH 3,5 la disminución fue mayor de 4,0 ciclos logarítmicos, con una población viable que se ubicó en menos de 1,0 UFC/ml. Los decrementos en la población del aislado a pH 4,0, fueron significativamente menores ( $p < 0,05$ ), si se comparan con los valores obtenidos con los pH descritos con anterioridad (figura 2). Se aprecia que al segundo día post-inoculación, el recuento de células viables está en el orden de 4,8 log<sub>10</sub> UFC/ml (0,3 ciclos logarítmicos), y hacia el cuarto día este valor se ubicó en 2,8 log<sub>10</sub> UFC/ml (1,5 ciclos logarítmicos).

- Figura 2. Supervivencia de *Escherichia Coli* O157-H7 en jugos de naranja no pasteurizados almacenados a 10°C.



- Supervivencia del aislado en niveles no detectados por recuento en placa de AMS. A partir del quinto día no se logró la detección de células viables por recuento en placa sobre AMS; sin embargo, entre el día 6 y 8 post-inóculo el aislamiento fue posible, al aplicar una fase de preenriquecimiento y posterior determinación de células viables por ensayo inmunoenzimático (ELISA). Esto permitió comprobar la supervivencia del microorganismo hasta por 8 días post-inóculo.

## Conclusiones

- Aunque la concentración de ácidos orgánicos y el bajo pH de los jugos de frutas pueden ser antagonistas de un amplio número de bacterias patógenas, estos factores por sí solos no aseguran la inocuidad de este tipo de productos. De hecho, los procesos de elaboración de jugos comercialmente expendidos, se basan en algún mecanismo que permite la eliminación de microorganismos patógenos, siendo el más común la pasteurización, la cual permite la obtención de un producto relativamente confiable
- Los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que la supervivencia del aislado de *Escherichia Coli* O157:H7 en las muestras de jugos es posible, y depende significativamente del pH de las mismas.

- aun con variaciones en el número de células viables recuperadas para cada tratamiento de pH, quedó demostrado que en todas las unidades experimentales evaluadas hubo recuperación del microorganismo hasta por 8 días posteriores a la inoculación. Tal y como se aprecia en las figuras 1 y 2, a los dos días post-inoculación el recuento del microorganismo, tanto a 5 como a 10°C, para los pH 3,0 y 3,5, oscilan entre 10<sup>3</sup> y 10<sup>4</sup> UFC/ml, con un decremento para el cuarto día que se ubica en aproximadamente 10 UFC/ml.
- A pH 4,0 la supervivencia fue significativamente mayor, obteniéndose recuentos al segundo día de 10<sup>4</sup> UFC/ml y al cuarto día de 10<sup>2</sup> UFC/ml. Esto permite inferir que la supervivencia del microorganismo en este tipo de producto es posible y va a depender del inóculo inicial, del pH del producto, el tiempo, temperatura de almacenamiento y la flora microbiana preexistente.
- Si se analiza el número de células viables presentes en las unidades experimentales, considerando los dos primeros días posteriores a la inoculación, en los distintos tratamientos de pH, los valores obtenidos se encuentran en niveles considerados como dosis altamente infectantes, según lo reportado por ciertos autores(8,16). Aun con una disminución considerable en el número de microorganismos viables hacia el cuarto día, a pH 3,0 y 3,5, y de menor cuantificación a pH 4,0, los niveles de inóculo presentes (figuras 1 y 2) siguen siendo de riesgo, por cuanto para otros microorganismos tolerantes a la acidez, como *Shigella flexneri* y *Listeria monocytogenes*, se reportan dosis infectantes que oscilan entre 10 y 500 células, y probablemente para *Escherichia Coli* O157:H7 estas dosis sean parecidas
- existe un porcentaje de células viables, aún después de 8 días de inoculación, que probablemente muestren señales de estrés y que, por lo tanto, no son recuperables por los métodos de recuento en placa utilizados, y que para su recuperación se hace necesario un preenriquecimiento previo que permita un aumento en la población y así lograr su aislamiento e identificación.
- se reporta la presencia de células viables pero no cultivables de *E. Coli* O157 cuando son sometidas a condiciones de estrés extremas, tales como: calentamiento, congelamiento y acidez, lo que provoca en las células un estado de latencia más no de disminución de su virulencia, por lo que al conseguir condiciones favorables para su reproducción éstas pueden representar un peligro real, sobre todo si esta reactivación es a nivel intestinal

## Recomendaciones

- la utilización de métodos de preenriquecimiento previo con medios poco selectivos, a fin de otorgar la posibilidad de recuperación de las células lesionadas y que se encuentren en bajo número, para luego aplicar algún método que permita la identificación del patógeno
- Los resultados obtenidos en la presente investigación y en otros estudios ya mencionados sugieren que para lograr la inocuidad de este tipo de productos es necesario aplicar algún tratamiento que garantice la disminución o, preferentemente, la eliminación de este patógeno.
- Sin lugar a dudas, el tratamiento más adecuado resulta ser la pasteurización.

Con base en lo antes expuesto, se procede a la realización de una prueba de hipótesis de tipo correlación lineal múltiple para establecer la correlación entre la disminución de las bacterias patógenas (*E. Coli* O157 H7 y *Salmonella*), la temperatura y el tiempo de exposición al tratamiento térmico (pasteurización), a su vez se estandarizarán las medidas de control (temperatura y tiempo) usadas durante el proceso productivo para la correcta implementación de la pasteurización en la línea de concentrado de frutas de la empresa EMPRESA, tomando como datos mediciones aleatorias recolectadas por el departamento de calidad al proceso de pasteurizado-evaporado, así como algunos datos expuestos en el estudio realizado por Tony Laguna y Osmar Márquez (2019). En la prueba se desea comparar el estándar establecido por la FAO para las variables tiempo y temperatura con el resultado obtenido en la realidad durante el proceso, logrando de este modo comprobar matemáticamente si el proceso cumple con los estándares establecidos por la FAO y con apoyo en el histórico de las pruebas realizadas a la operación del evaporador llegar a las conclusiones pertinentes.

## Presentación de cálculos del estudio

Se desea hallar la correlación entre el porcentaje de microorganismos patógenos presentes en el producto final con la temperatura de exposición diaria y el tiempo de exposición al tratamiento térmico para lo que se definen las siguientes variables

Y: Porcentaje de microorganismos presentes en el producto final

X<sub>1</sub>: Temperatura de exposición diaria

X<sub>2</sub>: Tiempo de exposición al tratamiento térmico

Siendo la ecuación de mínimos cuadrados correspondiente para este modelo

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1 + \hat{\beta}_2 X_2$$

Sin embargo, se observa en el estudio realizado por Tony Laguna y Osmay (2019) que el tiempo para el proceso productivo de jugos y concentrados de fruta en EMPRESA NO es una variable aleatoria, por el contrario esta es una variable controlada que dependerá de la programación de la válvula de entrada del caudal de la maquina y que se mantendrá constante una vez comenzado el proceso por lo que su utilización para este modelo generaría un error en el estudio dada la naturaleza subjetiva de la misma, en consideración a esto se descartara su estudio estadístico para este caso, es importante resaltar que con base en el marco teórico antes expuesto es evidente que a mayor tiempo de exposición al tratamiento térmico mayor será la cantidad de microorganismos eliminados siempre que se empleen las temperaturas adecuadas lo que prueba su correlación de forma implícita, a continuación se muestran las tablas expuestas en el estudio antes mencionado para los tiempos en cada etapa de la pasteurización-evaporación.

Tiempo en las etapas según caudal por segundo			
ETAPA DEL PROCESO	4 vueltas	5 vueltas	6 vueltas
Precalentador 1	79,9160042	71,9964002	64,7967602
Precalentador 2	10,1493325	9,14354282	8,22918854
Precalentador 3	10,1493325	9,14354282	8,22918854
Precalentador 4	15,2239988	13,7153142	12,3437828
Primera etapa	17,7613319	16,0011999	14,4010799
Segunda etapa	70	56,8	44,8
Tercera etapa	82	68,8	56,8

Cuarta etapa	190,8	177,6	165,6
Quinta etapa	317,4	304,2	292,2

Tabla 4.

Tablas detallada de tiempos y temperatura de exposición por etapas.

A 4 vueltas

<b>Etapas del proceso</b>	<b>Tiempo en la etapa</b>	<b>Tiempo 1</b>	<b>Temperatura</b>
tanque de jugo		0 Seg	25,0 °C
Precalentador 1	80 Seg	79,92 Seg	65,0 °C
Precalentador 2	10 Seg	90,07 Seg	70,5 °C
Precalentador 3	10 Seg	100,21 Seg	73,0 °C
Precalentador 4	15 Seg	115,44 Seg	92,0 °C
Calandria de Etapa Primera etapa	18 Seg	133,20 Seg	98,0 °C
Calandria de Etapa Segunda etapa	70 Seg	203,20 Seg	87,0 °C
Calandria de Etapa Tercera etapa	82 Seg	285,20 Seg	85,0 °C
Calandria de Cuarta etapa	191 Seg	476,00 Seg	79,0 °C

Calandria de Etapa Quinta etapa	317 Seg	793,40 Seg	56,0 °C
---------------------------------	---------	------------	---------

Tabla 5

### A 5 vueltas

Etapa del proceso	Tiempo en el equipo	Tiempo 2	Temperatura
tanque de jugo		0 Seg	25,0 °C
Precalentador 1	72 Seg	72,00 Seg	65,0 °C
Precalentador 2	9 Seg	81,14 Seg	70,5 °C
Precalentador 3	9 Seg	90,28 Seg	73,0 °C
Precalentador 4	14 Seg	104,00 Seg	92,0 °C
Calandria de Etapa Primera etapa	16 Seg	120,00 Seg	98,0 °C
Calandria de Etapa Segunda etapa	57 Seg	176,80 Seg	87,0 °C
Calandria de Etapa Tercera etapa	69 Seg	245,60 Seg	85,0 °C
Calandria de Cuarta etapa	178 Seg	423,20 Seg	79,0 °C
Calandria de Etapa Quinta etapa	304 Seg	727,40 Seg	56,0 °C

Tabla 6

### A 6 vueltas

Etapa del proceso	Tiempo en el equipo	Tiempo 3	Temperatura
tanque de jugo		0 Seg	25,0 °C
Precalentador 1	65 Seg	64,80 Seg	65,0 °C
Precalentador 2	8 Seg	73,03 Seg	70,5 °C
Precalentador 3	8 Seg	81,26 Seg	73,0 °C
Precalentador 4	12 Seg	93,60 Seg	92,0 °C
Calandria de Etapa Primera etapa	14 Seg	108,00 Seg	98,0 °C
Calandria de Etapa Segunda etapa	45 Seg	152,80 Seg	87,0 °C
Calandria de Etapa Tercera etapa	57 Seg	209,60 Seg	85,0 °C
Calandria de Cuarta etapa	166 Seg	375,20 Seg	79,0 °C



Calandria de Etapa Quinta etapa	292 Seg	667,40 Seg	56,0 °C
---------------------------------	---------	------------	---------

Tabla 7

Lo que lleva a considerar un estudio de tipo correlación lineal simple en el que determinaremos matemáticamente la correlación entre el porcentaje de microorganismos presentes en el producto terminado y la temperatura de exposición diaria,

Tomando:

Y: Porcentaje de microorganismos presentes en el producto final.

X<sub>1</sub>: Temperatura de exposición diaria en la pasteurización.

Siendo la temperatura de exposición diaria la obtenida al promediar las mediciones hechas por el departamento de calidad durante 9 procesos productivos distintos, lo que nos establece un tamaño de muestra n=9 la cual sigue una distribución de tipo t s-tudent para el estudio de medias.

La ecuación de mínimos cuadrados correspondiente para este modelo

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 X_1$$

La que sigue el comportamiento de una recta donde  $\hat{\beta}_0$  es el corte con el eje Y y  $\hat{\beta}_1$  la pendiente de la recta, a continuación se presenta la tabla de datos correspondientes:

Tabla de valores, cantidad de microorganismos y temperatura.

X	Y	Y <sup>2</sup>	X <sup>2</sup>	Xi-Xmedia	Yi-Ymedia
90	0	8100	0	-0,9	-0,06666667
90	0	8100	0	-0,9	-0,06666667
90	0	8100	0	-0,9	-0,06666667
90,2	0,2	8136,04	0,04	-0,7	0,13333333
90,2	0,1	8136,04	0,01	-0,7	0,03333333
90,2	0,3	8136,04	0,09	-0,7	0,23333333
92,5	0	8556,25	0	1,6	-0,06666667
92,5	0	8556,25	0	1,6	-0,06666667
92,5	0	8556,25	0	1,6	-0,06666667
$\bar{X} 90,9$	$\bar{y} 0,06666667$			-4,2633E-14	-1,1102E-16

Tabla 8.

Con los datos expresados en la tabla 8 se procede al cálculo de  $\hat{\beta}_0$  y  $\hat{\beta}_1$  respectivamente obteniendo como resultado:

$$\hat{\beta}_0 = -0,0363$$

$$\hat{\beta}_1 = 3,3636$$

Por tanto la recta de mínimos cuadrados a graficar en este caso será:

$$y = -0,0363X_1 + 3,3636$$

Obteniendo la siguiente gráfica:

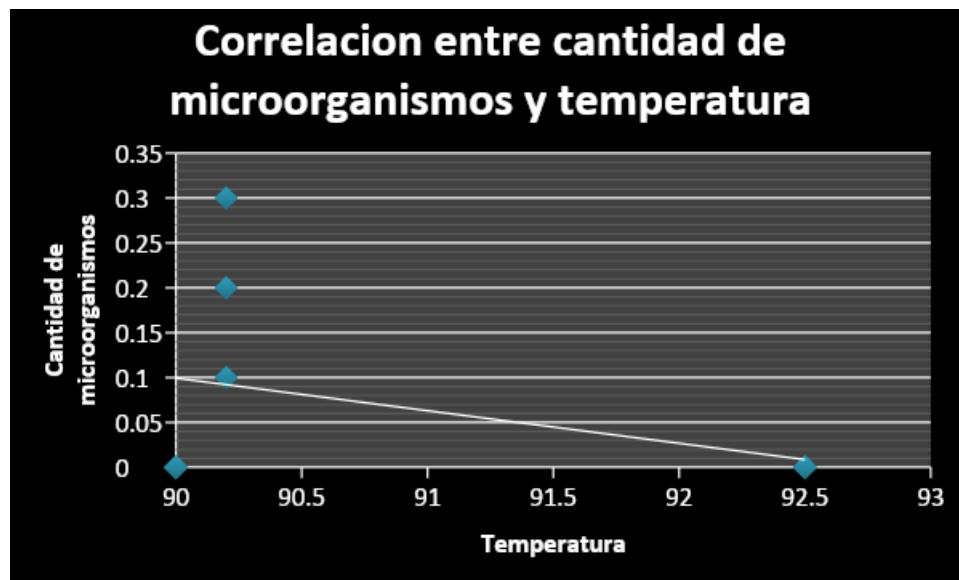


Gráfico 2.

Siendo el coeficiente de correlación entre las variables

$$R = -0,3903$$

De lo antes expuesto se observa un coeficiente de correlación negativo lo que demuestra que **existe una moderada** correlación entre las variables cantidad de microorganismos presentes en el producto terminado y la variable temperatura de exposición diaria, la cual es inversamente proporcional, es decir que al aumentar la temperatura la cantidad de microorganismos encontrados en el producto terminado será menor.

Ahora bien, para hacer de este un estudio completo, se genera la necesidad de probar que efectivamente el proceso de pasteurización de la empresa Venezolana de frutas C.A. se encuentra dentro de los estándares establecidos por la FAO para el tipo de proceso productivo manejado por EMPRESA(pasteurización a temperaturas mayores o igual a 72°C por 15seg para la eliminación de agentes patógenos en jugos de frutas), sabiendo que los agentes patógenos a eliminar o reducir por medio del tratamiento térmico son Salmonella SP y E. Coli O157 H7, bacterias que según diversos estudios realizados a lo largo de los años mueren al exponerse a temperaturas mayores o iguales a 72°C durante al menos 3 minutos, haciendo evidente que las variables a controlar y mantener dentro del estándar son Temperatura y tiempo, por ello para la temperatura se corre la siguiente prueba de hipótesis

$H_0$ : La media de temperatura del proceso de pasteurización es mayor o igual a 72°C

$H_a$ : La media de temperatura del proceso de pasteurización es menor a 72°C

Es decir,

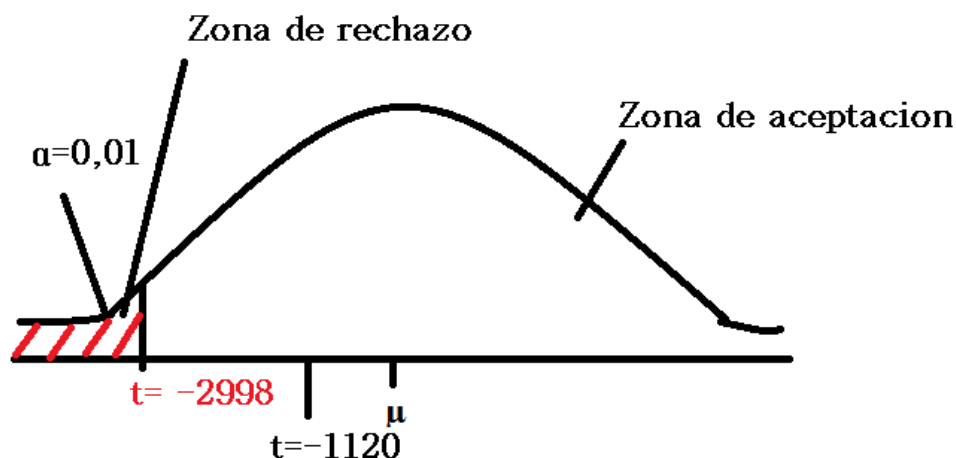
$H_0: \mu \geq 72^\circ\text{C}$

$H_a: \mu < 72^\circ\text{C}$

Para esta prueba utilizaremos las mismas medidas de temperatura expuestas anteriormente, siendo  $n=9$ , usaremos un nivel de significancia de  $\alpha=0,01$ , el estadístico de prueba adecuado para este estudio es:

$t = \frac{r\sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$  con  $V=n-2 = 7$  gl lo que se traduce en un estadístico de prueba de  $t = -2998$ , al correr la prueba con los datos existentes se obtiene

que el  $t$  real se ubica en  $t = -1120$  como se muestra en la gráfica:



**Grafica 3.**

En consecuencia se observa que el estadístico cae en zona de aceptación, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula con un nivel de confianza del 99%, es decir que las temperaturas utilizadas durante los procesos productivos en específico en la etapa de pasteurización se ubican por encima de los  $72^{\circ}$  en la línea de concentrados de Venezolana de frutas C.A., ubicando las temperaturas inequívocamente dentro del estándar establecido por la FAO para esta variable, por otro lado, se tiene una segunda variable de interés que fue mencionada al principio que es la variable tiempo y que actualmente se encuentra controlada y sujeta a la decisión del supervisor de producción quien ha establecido un sistema sencillo y eficaz para su control como lo es cantidad de vueltas a la válvula reguladora de fluido (jugo crudo) que ingresara al equipo como se muestra en la tabla 4, de esta forma se decidirá según el estudio realizado por Tony Laguna y Osmar Márquez (2019) si se adecuara la válvula de ingreso de fluido a la maquina evaporadora en 4, 5 o 6 vueltas, sin embargo, para cumplir a cabalidad con los estándares establecidos por la FAO se recomienda utilizar 4 o 5 vueltas que es la programación para la cual el fluido pasara 15seg o más expuesto al tratamiento térmico, además, en base al estudio hecho por Tony Laguna y Osmar Marquez (2019) mencionado en esta investigación se deja en claro que a menor cantidad de vueltas mayor es el tiempo de exposición al tratamiento térmico y en consecuencia será

más eficaz la pasteurización aplicada junto a las temperaturas ya establecidas.

## Conclusiones

- Existe una correlación moderada entre las variables cantidad de microorganismos presentes en el producto final y la variable temperatura de exposición diaria, la cual es inversamente proporcional, es decir a mayor temperatura menor cantidad de microorganismos en el producto final.
- El tiempo está estrechamente relacionado a la desaparición de microorganismos, a mayor tiempo de exposición a altas temperaturas menor cantidad de microorganismos en el producto terminado.
- El tiempo para el proceso de pasteurización-evaporación de EMPRESA se encuentra controlado, estandarizado y oscila para el proceso de pasteurización entre 16seg y 18seg según sea el nivel de apertura que se escoja para la válvula de entrada.
- El tiempo total de exposición del fluido temperaturas mayores a 72°C oscila entre 5,71min y 6,43mindependiendo del ajuste de la válvula escogido siendo estos tiempos mucho mayores que los 3min recomendados para matar los microorganismos patógenos presentes en los jugos de frutas.
- La temperatura de pasteurización se encuentra por encima de los 72°C con un 99% de confiabilidad.
- El tiempo de exposición a altas temperaturas está dentro del estándar establecido por la FAO siendo mayor a 3min en todo proceso productivo.
- Tanto la pasteurización como el evaporador funcionan en óptimas condiciones y logran el objetivo deseado al generar un producto inocuo, esto con base en el estudio estadístico realizado, además del histórico de evaluaciones microbiológicas realizadas al producto final en las que no se ha reportado presencia de microorganismos fuera de los niveles aceptables en ningún momento.
- El proceso de fabricación de jugos es adecuado, eficaz e inocuo dado que el producto final se encuentra siempre dentro de los niveles de microorganismos aceptables para el consumo del mismo.

## Recomendaciones

- Continuar trabajando en las condiciones actuales para garantizar un producto inocuo y de calidad
- Mantener el estándar de vueltas entre 4 y 5 vueltas para todos los procesos productivos
- Mantener el seguimiento continuo de las temperaturas para garantizar que estas se mantengan por encima de 72°C durante el proceso depasteurización, siendo optima la implementada hasta ahora para el proceso que se ubica en 90,9°C en promedio.

## Bibliografía

U.S Food And Drugs Administration.

<https://wayback.archive-it.org/7993/20180124150623/https://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/ucm072557.htm>

GOUHM.UMH.es

<https://sites.google.com/a/goumh.umh.es/practicas-de-microbiologia/indice/influencia-del-medio-ambiente/temperatura>

Código Sanitario Nacional.PDF

[http://copaso.upbbga.edu.co/legislacion/ley\\_9\\_1979.Codigo%20Sanitario%20Nacional.pdf](http://copaso.upbbga.edu.co/legislacion/ley_9_1979.Codigo%20Sanitario%20Nacional.pdf)

Resolución 7992 de 1991

<https://rosdary.files.wordpress.com/2008/03/resolucion-7992-de-1991.pdf>

Mayo Clinic

<https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/salmonella/symptoms-causes/syc-20355329>

Buflovak.pKHebeler process solutions llc

<http://www.buflovak.es/productos/soluciones-de-evaporaci%C3%B3n-destilaci%C3%B3n-y-separaci%C3%B3n/evaporador-de-pel%C3%ADcula-ascendente-descendente/>