

Efecto del plasma frío en la eliminación de microorganismos patógenos en la carne de cerdo

Effect of cold plasma on the elimination of pathogenic microorganisms in pork

Recibido: 26 de junio de 2024 | Revisado: 07 de agosto de 2024 | Aceptado: 18 de noviembre de 2024

Fredy Aníbal Alvarado Zambrano¹

Abstract

The objective was to evaluate the effect of cold plasma on pork obtained from the food market of the city of Huaraz and exposed to different levels of time and temperature of the cold plasma, for the elimination of pathogenic microorganisms, physicochemical and organoleptic. A sample of 5 kilos of pork from the Huaraz market was used, applying the Completely Randomized Block Design (DBCA) with a factorial arrangement of 3 x 2, (exposure to cold plasma equal 5, 10 and 15 minutes and plasma temperature of 25, 30 degrees Celsius); the analysis and statistical treatment of the data was through ANOVA. The results did not show any statistically significant difference between the times and temperatures of exposure, eliminating pathogenic microorganisms and maintaining the physicochemical components unchanged and the sensory attributes of smell, color, general appearance and texture. It is concluded that the use of cold plasma as an emerging technology has a significant effect on the elimination of microorganisms in pork, without representing a biological hazard and ensuring its safety for human consumption.

Keywords: Cold plasma, microorganism elimination, physical, chemical and organoleptic changes, pork quality.

Resumen

El objetivo fue evaluar el efecto del plasma frío en la carne de cerdo obtenido del mercado de abastos de la ciudad de Huaraz y expuesto a diferentes niveles de tiempo y temperatura del plasma frío para la eliminación de microorganismos patógenos y evaluación de los cambios fisicoquímicos y organolépticos. Se utilizó una muestra de 5 kilos de una carne de cerdo del mercado de Huaraz, aplicándose el Diseño Bloque Completamente Aleatorio (DBCA) con arreglo factorial de 3 x 2, (exposición al plasma frío igual 5, 10 y 15 minutos y la temperatura del plasma de 25 y 30 grados centígrados); el análisis y tratamiento estadístico de los datos fue mediante el ANOVA. Los resultados no mostraron diferencia significativa estadísticamente entre los tiempos y temperaturas de exposición, eliminándose los microorganismos patógenos y manteniéndose inalterados los componentes fisicoquímicos y los atributos sensoriales de olor, color, apariencia general y textura. Se concluye que el uso del plasma frío como una tecnología emergente tiene un efecto significativo en la eliminación de microorganismos en la carne de cerdo, sin representar un peligro biológico y asegurando su inocuidad para el consumo humano.

Palabras Clave: Plasma frío, eliminación de microorganismo, cambios físico químicos y organolépticos, calidad de carne de cerdo.

Este artículo es de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International



¹ Escuela Universitaria de Posgrado – UNFV. Lima, Perú
Correo: falvaradoz@unasam.edu.pe
<https://orcid.org/0000-0002-7213-656X>

<https://doi.org/10.62428/rcvp2024321895>

Introducción

La inocuidad forma parte del concepto de calidad de un alimento, junto con otros atributos sensoriales y nutricionales. Sin embargo, a diferencia de lo que puede ser un atributo sensorial (color de la carne, textura, etc.), la inocuidad es un atributo oculto (no se puede detectar a través de los sentidos) e implícito (ninguna persona desea consumir un alimento que le haga daño a la salud). En los alimentos pueden existir peligros biológicos, químicos y físicos capaces de causar daño a la salud del consumidor. En este caso el alimento actúa como vehículo, desencadenando las llamadas Enfermedades de Trasmisión Alimentaria (ETA), las que se definen cuando dos o más personas sufren una enfermedad similar después de ingerir un mismo alimento, al que los análisis epidemiológicos señalan como el origen de la enfermedad, lo que luego es confirmado por el laboratorio.

Almeida et al. (2015) reporta 3 232 brotes de ETA con 230 141 individuos afectados y 317 fallecidos. Solo el 12% de los brotes estuvieron asociados a las carnes rojas. La carne presenta ciertas características intrínsecas, tales como pH próximo a la neutralidad, elevada actividad del agua, y alto contenido de nutrientes, que predisponen la presencia y crecimiento de peligros biológicos, como por ejemplo bacterias patógenas, que tienen la capacidad de producir enfermedades en los seres humanos. La carne contaminada con patógenos tiene una apariencia organoléptica totalmente normal y la presencia de peligros microbiológicos pasa desapercibida por el ojo y olfato humano. A nivel internacional, *Escherichia coli* O157:H7 y *Listeria monocytogenes*, asociados a hamburguesas y carnes listas para consumir, respectivamente, han sido dos de los patógenos que mayor atención han recibido por parte de la investigación debido a la alta probabilidad de causar problemas en la salud de los consumidores. La contaminación de la carne con patógenos se caracteriza por ser baja, impredecible y distribuida heterogéneamente dentro del producto o lote, por lo que el procedimiento de toma de muestras y análisis no asegura la inocuidad del producto y brinda una idea de falsa seguridad. Dentro de este enfoque tradicional, tanto los productores como los consumidores, históricamente no han cumplido con un rol preponderante en el aseguramiento de la inocuidad de carnes. A nivel internacional, a partir de la década del 80 y hasta el presente, ha sido común escuchar sobre brotes de enfermedades en personas asociados al consumo de alimentos contaminados durante la producción primaria, fundamentalmente a través de las heces de los animales, el agua o el alimento. Por ejemplo, la Encefalopatía Espongiforme Bovina (EEB) o mal de las vacas locas asociado al suministro de proteína de rumiantes a ganado vacuno en Europa, y recientes problemas de contaminación de hortalizas

frescas (lechuga, tomate) con patógenos (*Salmonella* sp, *E. coli* O157:H7) en Estados Unidos, han llevado a la necesidad de reconsiderar el enfoque tradicional de inocuidad de alimentos.

Borgoño (2019) indica que a partir del año 2005 se reporta un incremento de brotes de ETA en el país, el número de brotes superó en un 30 % al año en mención; situación que se debería hacer fortalecimiento de la vigilancia a nivel nacional. Los departamentos de Lima, Cusco y Cajamarca notificaron el mayor número de brotes de ETA en el país, acumulando el 41,9 % del total nacional. En el periodo 2018-2019, del 07 al 13 de abril 2019 comprendido como semana epidemiológica 15 (SE15), los brotes de ETA fueron distribuidos en 19 departamentos, 49 provincias y 63 distritos a nivel nacional. Hasta la SE15-2019, fueron notificados 22 brotes de ETA en el país, con un incremento de 12 brotes, 615 personas afectadas, 201 hospitalizados y 02 defunciones, con respecto al mismo periodo del año anterior. Hasta la SE15-2019, el 22,7 % (5/22) de los brotes fueron ocasionados por *Salmonella con Escherichia coli*; mientras que, durante el mismo periodo del año anterior, el 20 % (2/10) de los brotes fueron causados por sustancias químicas. En la mayor proporción de los brotes notificados en estos periodos, no se determinó el agente causal, recomendando fortalecer la vigilancia, prevención y control de las ETA, con participación de entidades intra e interinstitucionales a nivel nacional, actualizar los documentos técnicos normativos para la vigilancia, prevención y control de las ETA, con participación de entidades del sector salud involucradas a nivel nacional, promover la comunicación de brotes de ETA en la población, difundiendo medidas de prevención y control en establecimientos de salud, instituciones educativas y medios de comunicación a nivel nacional. Indica que hasta la SE 15-2019 fueron notificados 22 brotes de ETA en 12 departamentos a nivel nacional, donde, un total de 729 personas resultaron afectadas, 214 fueron hospitalizados y 03 fallecieron a consecuencia de este daño. La mayor proporción de brotes fue reportada en los departamentos de Lambayeque (18,2 %) y Tumbes (13,6%) con 137 afectados, 87 hospitalizados y 01 defunción. En este periodo, el departamento del Cusco notificó el mayor número de personas afectadas (269, 36,9%) que fueron identificadas en un (01) solo brote, mientras que Lambayeque reportó el mayor número de hospitalizados (85, 39,7%) en relación al total. Asimismo, los departamentos de Junín (01), Huánuco (01) y Lambayeque (01) notificaron el total de las defunciones, con tasas de letalidad del 25,0%, 5,3% y 1,0 %, respectivamente. Hasta la SE15-2019, se observó un incremento en la notificación de las ETA, con 12 brotes, 615 personas afectadas, 201 hospitalizados y 02 defunciones más, con respecto al mismo período del año anterior. En relación al agente causal, considerando hasta la SE15-2019, el 22,7% (5/22) de los brotes fueron ocasionados por *Salmonella* sp con *Escherichia coli*, el

9,1% (2/22) por *Salmonella* sp y el 9,1% (2/22) aún se encuentran en investigación. Asimismo, en el 59,1 % (13/22) del total de brotes notificados no se determinó el agente causal. Por otro lado, durante el mismo período del año anterior, el 20% (2/10) de los brotes fueron causados por sustancias químicas y solo un 10% (1/10) por *Salmonella*; sin determinarse en un 70% (7/10) de los brotes notificados el agente causal.

Van et al. (2020) evaluaron la eficiencia del uso de la tecnología de plasma frío para tratar el agua subterránea con el propósito de suministrar agua doméstica. Los resultados experimentales mostraron que el plasma frío era un método efectivo para eliminar *E. coli* sp. en agua. Después del tratamiento con plasma frío, la concentración de *E. coli* sp. disminuyó significativamente. Además, el plasma frío redujo en gran medida los niveles de hierro y arsénico. Sin embargo, el rendimiento de eliminar el arsénico por plasma frío aumentó con la presencia de iones ferrosos y férricos. El cloruro, el índice de permanganato, la conductividad eléctrica y el pH de las muestras de agua subterránea se modificaron ligeramente después del tratamiento con plasma frío. Una de las desventajas del plasma frío es que aumenta significativamente la concentración de nitrato.

Volkov et al. (2019) en la investigación que realizaron sobre tratamiento de semillas y plantas por plasma a presión atmosférica fría generada eléctricamente puede acelerar la germinación de las semillas y las tasas de crecimiento de la radícula. El plasma genera especies reactivas de oxígeno y nitrógeno, fotones UV y campos electromagnéticos de alta frecuencia que pueden penetrar en las capas de semillas y modificar sus propiedades superficiales. Los datos del microscopio de fuerza atómica muestran que el helio frío o el plasma de argón inducen una fuerte corrugación de las capas de semillas de calabaza, producen poros y defectos en la superficie. Estas deformaciones estructurales y poración mejoran la absorción de agua por las semillas durante el proceso de embebido, aceleran la germinación de las semillas y aumentan el crecimiento de las semillas. Li et al. (2019), sostienen que el plasma frío no térmico es un método novedoso para mantener la seguridad e inducir la acumulación fenólica en la fruta de pitahaya (*Hylocereus undatus*) recién cortada y se investigaron los posibles mecanismos. Los resultados mostraron que el tratamiento con plasma frío (60 kV durante 5 minutos) inhibió significativamente el crecimiento del recuento de bacterias aerobias totales, aumentó la acumulación fenólica inducida por el corte y mejoró la actividad antioxidante en la fruta de pitahaya recién cortada. Además, el tratamiento con plasma frío promovió el consumo de azúcares principales, mejoró el nivel de energía, aceleró la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) en el almacenamiento anterior, aumentó la expresión génica y la actividad de enzimas cruciales en la vía fenilpropanoide. Dong et al. (2020), indica

sobre la sinterización instantánea utilizando un enfoque sin contacto. El proceso se basa en la barrera dieléctrica de descarga de plasma frío atmosférico que permite la sinterización instantánea sin precalentamiento externo. El penacho de plasma frío distribuido uniformemente contribuyó a la densificación homogénea de las muestras de circonia, en cambio la descarga del arco resultó en material sinterizado y agrietado. La densidad final y el tamaño de grano podrían controlarse ajustando la corriente y el tiempo de descarga. Se sinterizó un disco de 7 mm de diámetro hasta el 99% en 30 segundos pasando una corriente de 15 mA (0,39 mA / mm²). La técnica propuesta es escalable industrialmente y ofrece un reemplazo confiable a los electrodos de platino.

Sen, et al. (2019) evaluaron los efectos de desinfección con la presión atmosférica fría (AP, 3000L / h de aire, 25kHz, 655W-1.7min) y plasmas de baja presión (LP, aire-100W-30min) e irradiación gamma (GMI, 10 se investigaron los tratamientos con kGy-10min) en diferentes concentraciones de aflatoxina B1 pura (AFB1) y AFB1 + B2 (TotAF), así como las mismas toxinas añadidas a la avellana. Ambos plasmas redujeron el 72-73% de AFB1 (3ppb) añadidos a las avellanas, mientras que GMI redujo el 47% de AFB1. Las reducciones de TotAF (6 ppb) en la avellana después de ambos plasmas fueron del 70 al 71 %, que también fue mayor que la del GMI (15,5%). Sin embargo, las reducciones en AFB1 puro a 1-50 ppb y TotAF a 1,03-51,5ppb después de GMI (97-100 %) fueron mayores que las de los plasmas AP (55-75 %) y LP (69-90 %). El plasma AP tiene el potencial de ser una alternativa a los métodos de desintoxicación convencionales porque es efectivo en las aflatoxinas en los alimentos y mantiene los atributos sensoriales de los alimentos evaluados por un panel sensorial. Hou et al. (2019), se centran en los efectos del plasma frío, una novedosa tecnología no térmica, en la calidad del jugo de arándano, como la inactivación de Bacillus, antocianinas, fenólicos, vitamina C, actividad antioxidante y cambio de color. La concentración de oxígeno (0, 05% y 1%) de gas ionizado se confirmó en primer lugar como los principales factores para el tratamiento con el plasma frío además del tiempo de tratamiento (2, 4 y 6 minutos). El incremento del tiempo de tratamiento y la concentración de oxígeno promovió significativamente una tendencia creciente de muerte para Bacillus sp. En comparación con el tratamiento térmico, el contenido de compuestos fenólicos aumentó significativamente con el tratamiento de plasma frío, y también el tratamiento de plasma frío podría mantener mejor el color original del jugo de arándano. En términos de antocianina y vitamina C, se sugirió un tiempo de exposición relativamente menor del plasma frío. Illera et al. (2019) indican que el tratamiento directo con plasma frío se ha investigado como una tecnología alternativa no térmica como un medio para mantener y mejorar la calidad del jugo fresco de manzana turbia. Las variables de proceso estudiadas incluyeron el tipo de descarga de plasma, el voltaje de entrada y el tiempo de tratamiento

en la inactivación del polifenol oxidasa (PPO). El mejor tratamiento fue el plasma con descarga de chispas a 10,5 kV durante 5 minutos, con una inactivación casi total de PPO, aunque también se registró una buena inactivación de PPO utilizando tiempos de tratamiento más cortos. La actividad residual (AR) de PPO fue de 16 y 27,6% después de 5 y 4 minutos de tratamiento, respectivamente. Esta inactivación de PPO se mantuvo durante las pruebas de almacenamiento, pero disminuyó con las muestras tratadas durante un tiempo más corto. El tratamiento con plasma mejoró los parámetros clave de calidad del jugo dorado de manzana turbia, con la retención de los parámetros críticos de calidad durante las pruebas de almacenamiento prolongado. El color fue el cambio más notable, que se mejoró con la retención de un color más verde.

Considerando lo manifestado, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto del plasma frío en la carne de cerdo obtenido del mercado de abastos de la ciudad de Huaraz y expuesto a diferentes niveles de tiempo y temperatura para la eliminación de microorganismos patógenos, fisicoquímicos y organolépticos.

Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en el departamento Ancash, específicamente en la provincia y distrito Huaraz, en las instalaciones de la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo: Laboratorios de análisis de alimentos, investigación, análisis sensorial y laboratorio de calidad ambiental (LCA).

Se utilizó una muestra de carne de cerdo proveniente del mercado de abastos de la ciudad de Huaraz, la muestra total fue de 5 kilogramos, que fueron distribuidos en pequeñas muestra de acuerdo al diseño experimental (Tabla 1, Figura 1) para evaluar frente al tiempo de exposición del plasma frío (5, 10 y 15 minutos) y a una temperatura de plasma (25, 30 grados centígrados), hasta la eliminación de microorganismos patógenos como coliformes totales, salmonella y aerobios viables, evaluándose en esas condiciones al pH, % de ácido láctico, humedad, color, olor, apariencia general y textura.

Tabla 1

Tratamientos de la investigación

Factor A	Factor B	
Tiempo (minutos)	B1: Temperatura 25°	B2: Temperatura 30°
T1: Cinco minutos	r111, r112, ..., r11n	r211, r212, ..., r21n
T2: Cinco minutos	r121, r122, ..., r12n	r221, r222, ..., r22n
T3: Diez minutos	r131, r132, ..., r13n	r231, r232, ..., r23n
T4: Diez minutos	r141, r142, ..., r14n	r241, r242, ..., r24n
T5: Quince minutos	r151, r152, ..., r15n	r251, r252, ..., r25n
T6: Quince minutos	r161, r162, ..., r16n	r261, r262, ..., r26n

Nota. El factor A está formado por 3 niveles y el factor B por dos niveles. A= Tiempo de exposición al plasma frío (5, 10 y 15 minutos). B= Temperatura del gas plasma (25, 30 grados centígrados).

Para la evaluación de la eliminación de microorganismos patógenos, cambios fisicoquímicos y los atributos organolépticos en carne de cerdo, se utilizó el Diseño Bloque Completamente Aleatorio (DBCA).

En tanto que para la clasificación de tratamientos se utilizó la prueba de Tukey a un nivel de significación de ($\alpha=0,05$). La escala hedónica para la evaluación sensorial esta manifestada en la Tabla 2.

Tabla 2
Escala hedónica para la evaluación sensorial de aceptabilidad

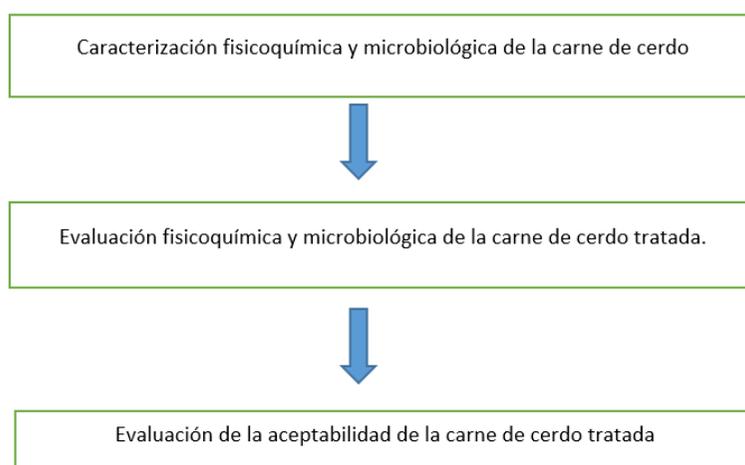
Valor	ACEPTABILIDAD			
	Olor	Color	Apariencia General	Textura
7	Me gusta mucho el olor	Exactamente igual al color característico	Exactamente igual a la apariencia normal	Exactamente igual a la textura característica
6	Me gusta el olor	Muy buena similitud con el color característico	Muy buena similitud con la apariencia característica	Muy buena similitud con la textura característica
5	Me gusta un poco el olor	Buena similitud con el color característico	Buena similitud con la apariencia general	Buena similitud con la textura característica
4	No me gusta ni me disgusta el olor	Presenta algunas características del color	Presenta algunas características de la apariencia normal	Presenta algunas características de apariencia
3	Me disgusta un poco el olor	Se aleja del color característico	Se aleja de la apariencia normal color característico	Se aleja de la textura característica
2	Me disgusta el olor	Lejos del color característico	Lejos de la apariencia normal	Lejos de la textura característica
1	Me disgusta mucho el olor	Muy lejos del color característico	Muy lejos de la apariencia normal	Muy lejos de la textura característica

Nota. La tabla muestra los atributos de cada muestra sometida a la evaluación. Construida a partir de la tabla de Sotomayor (2008).

Los datos resultados de la evaluación sensorial fueron analizados estadísticamente a través de la prueba no paramétrica de Friedman a un nivel de significación

$\alpha = 5\%$ y su correspondiente prueba de clasificación de tratamientos (Sotomayor, 2008).

Figura 1
Etapas experimentales consideradas en la investigación



Nota. La figura muestra las etapas de diseño experimental del plasma frío.

Caracterización fisicoquímica y microbiológica de la carne

Comprendieron dos tipos de caracterizaciones: la fisicoquímica y la microbiológica. Para las mediciones biométricas, se tomaron al azar de carne de cerdo de 5 gramos de peso aproximadamente, en corte tipo filete de aproximadamente de dos por dos centímetros y un centímetro de espesor (4 cm³). Este procedimiento se realizó con la finalidad de caracterizar la materia prima en cuanto a, peso y color, y a su vez cuantificar la carga microbiana en el proceso de aplicación del plasma frío sobre su superficie. En lo que respecta a la

caracterización fisicoquímica, se consideró el pH, % ácido láctico, proteína y humedad.

Evaluación fisicoquímica y microbiológica de la carne de cerdo tratada

Se evaluó el comportamiento del pH, % ácido láctico, proteína, humedad y la carga microbiana como la Salmonella, aerobios viables y coliformes totales, durante cinco, diez y quince minutos de tratamiento con plasma frío.

Evaluación de la aceptabilidad de carne de cerdo

tratado

La degradación del pH, % ácido láctico, proteína, humedad y la carga microbiana durante 1 día a temperatura ambiente, están de alguna forma relacionados entre sí y a su vez con la pérdida sensorial de la aceptabilidad. Es por esta razón que también se evaluó el efecto de los tratamientos de estudio, en la variación de la aceptabilidad durante: cinco, diez y quince minutos de tratamiento con plasma frío. La evaluación sensorial se realizó mediante panelistas semientrenados y utilizando una escala hedónica de 7 puntos.

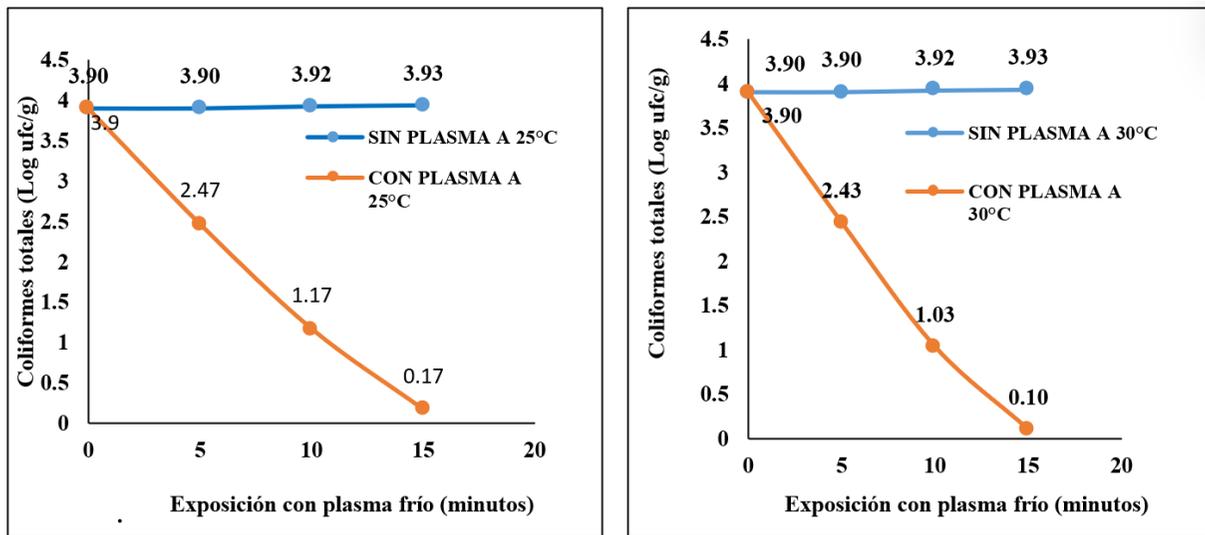
Resultados

Efecto del tiempo de acción del plasma frío sobre la eliminación de microorganismos patógenos

El análisis de varianza no mostró diferencias significativas en la eliminación de microorganismos patógenos (coliformes totales, salmonella y aerobios viables) entre las temperaturas de 25 y 30 grados centígrados y 5, 10 y 15 minutos de exposición. Sin embargo, se observó que a los 15 minutos de exposición se logró la destrucción de estos microorganismos patógenos, como se muestra en la Figura 2, 3 y 4.

Figura 2

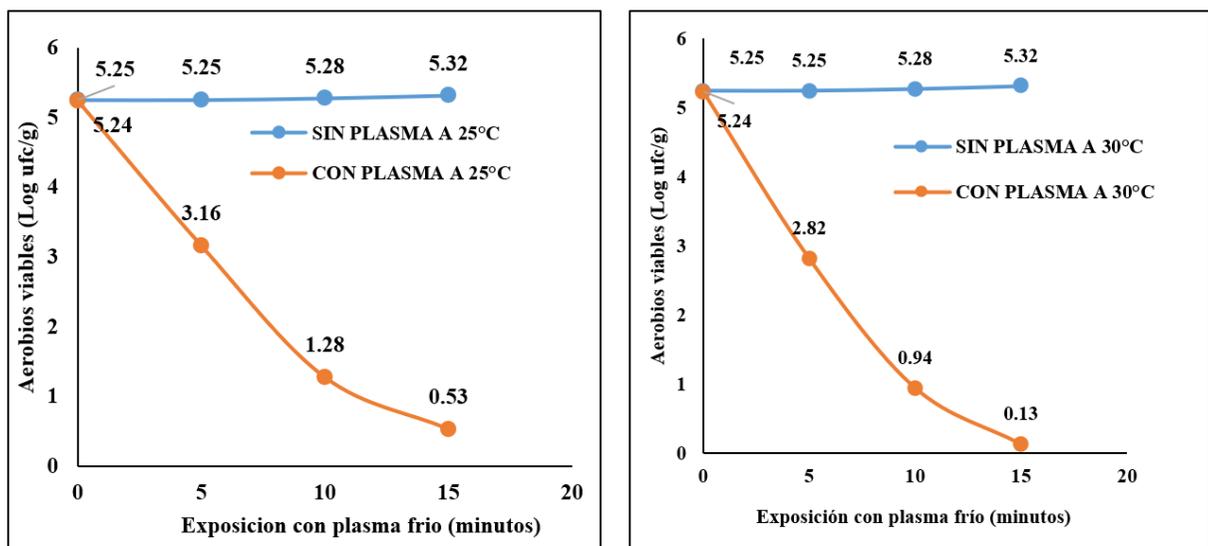
Gráficas de destrucción de coliformes totales



Nota. En la Figura 2 se muestra la tendencia de la destrucción de coliformes totales en función al tiempo de exposición al plasma a 25 °C y 30 °C, tomados a partir de datos del experimento.

Figura 3

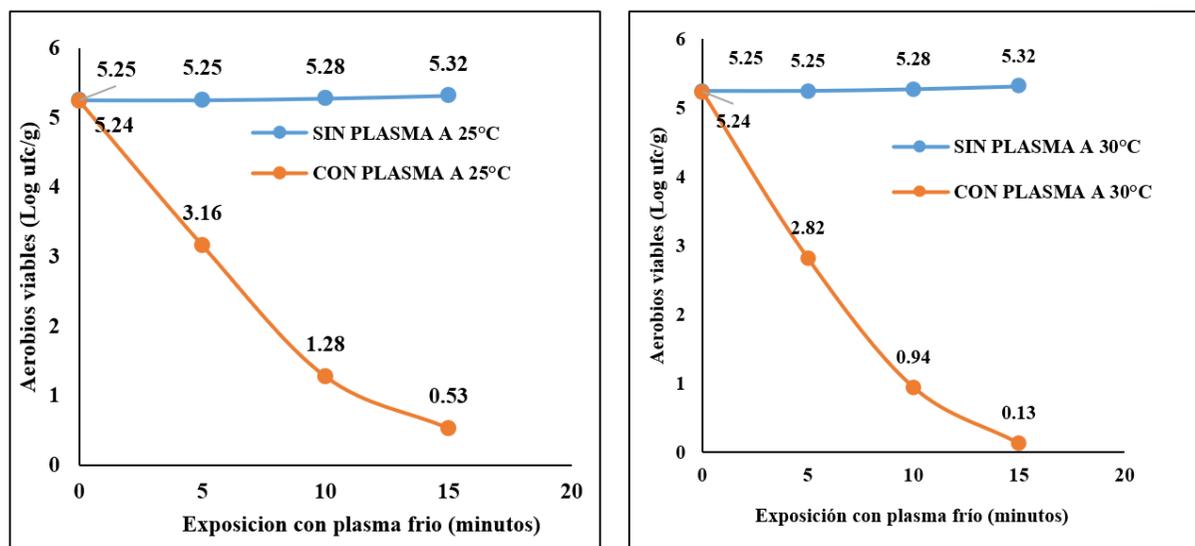
Curva de destrucción de aerobios viables en función al tiempo de exposición de plasma frío a 25 °C y 30 °C



Nota. En la Figura 3, se muestra la evolución de la destrucción de los aerobios viables en función al tiempo de exposición al plasma a 25°C. y 30 °C, tomados a partir de datos del experimento.

Figura 3

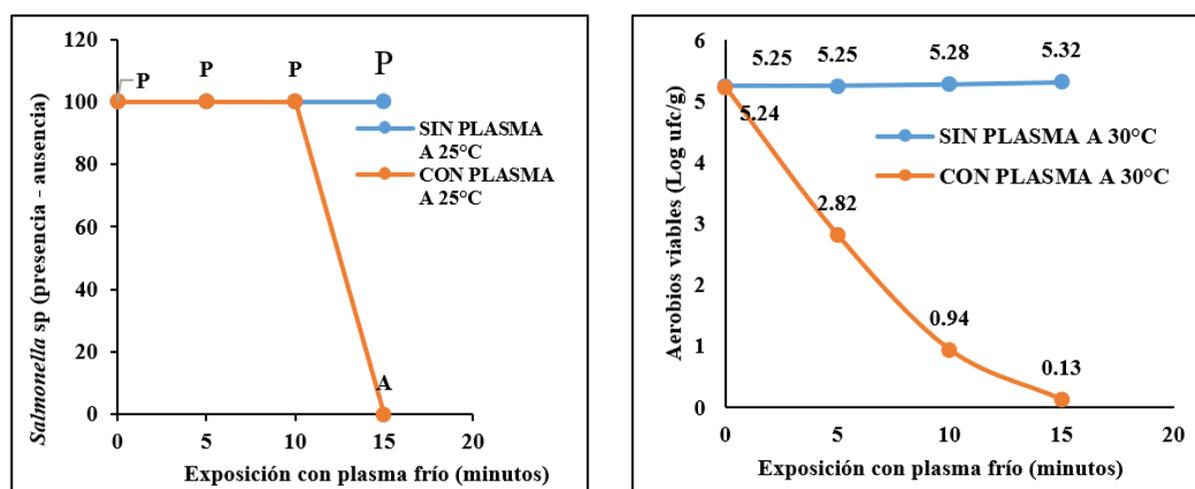
Curva de destrucción de aerobios viables en función al tiempo de exposición de plasma frío a 25 °C y 30 °C



Nota. En la Figura 3, se muestra la evolución de la destrucción de los aerobios viables en función al tiempo de exposición al plasma a 25°C. y 30 °C, tomados a partir de datos del experimento.

Figura 4

Curva de destrucción de la salmonella sp en función al tiempo de exposición de plasma frío a 25 °C y 30 °C



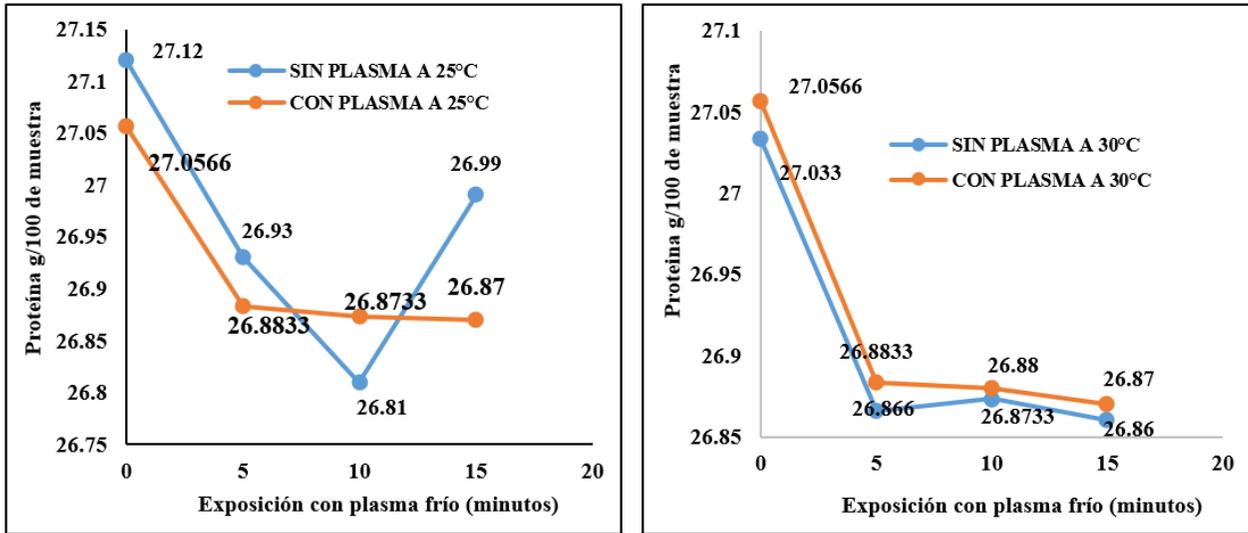
Nota. En la Figura 4 se presenta la tendencia de reducción de *Salmonella* sp en función del tiempo de exposición al plasma, tanto a 25 °C como a 30 °C, basada en los datos recogidos durante el experimento.

En la Figura 2, 3 y 4 se muestra la tendencia a 25 y 30 °C de coliformes totales, aerobios viables y salmonella, determinada experimentalmente, a 0, 5,10 y 15 minutos de exposición de plasma frío, observándose otra curva de comparación sin exposición al plasma frío que sigue una tendencia al crecimiento microbiano diferente expuesta a ambas temperaturas. Para los tiempos según el ANVA para una $p < 0,05$ no es significativo, lo que indica que en los tiempos los resultados de destrucción de coliformes totales son iguales estadísticamente, a una temperatura de exposición de 25 o 30 grados centígrados.

Efecto de tiempo de acción de plasma frío sobre cambios fisicoquímicos

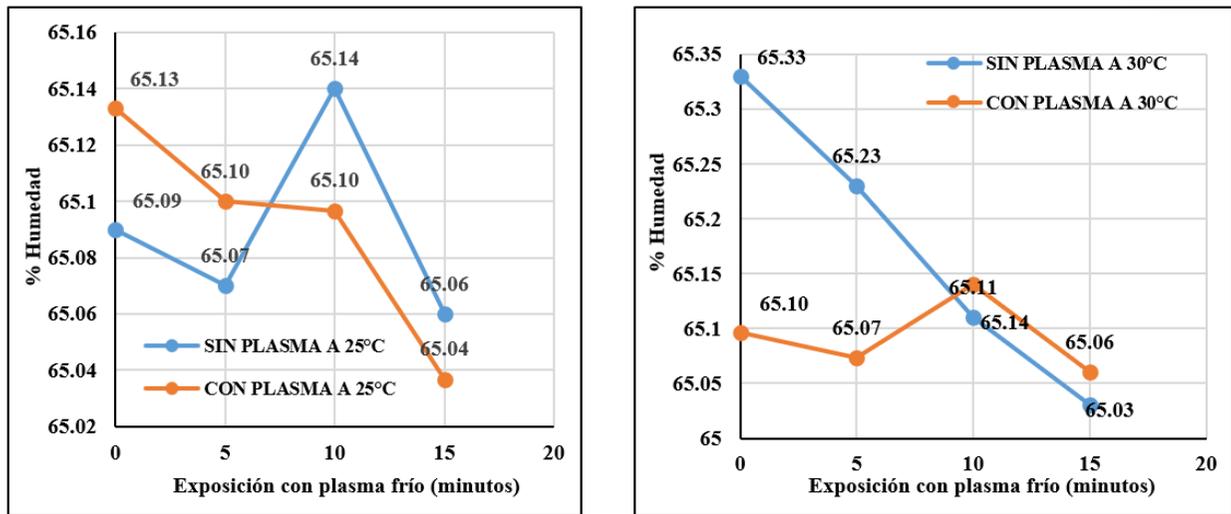
El análisis de varianza realizado para evaluar los cambios fisicoquímicos a temperaturas de 25 y 30 grados centígrados, con diferentes tiempos de exposición, indica estadísticamente que no se observaron diferencias significativas. Esto sugiere que la aplicación del plasma sobre la carne de cerdo no afecta los parámetros fisicoquímicos como el pH, el porcentaje de ácido láctico, la proteína y la humedad, en las Figuras 5, 6, 7 y 8 se aprecian la variación a 25 y 30 °C, la variación de estos parámetros, cuando son sometidos al plasma.

Figura 5
Gráfica de variación de la proteína g/100 de carne de cerdo



Nota. La Figura 5 exhibe la relación entre el tiempo de exposición al plasma frío a 25 °C y 30 °C y la variación en el contenido de proteína (g/100 g de la carne de cerdo), utilizando datos recopilados en el experimento a distintos intervalos de tiempo.

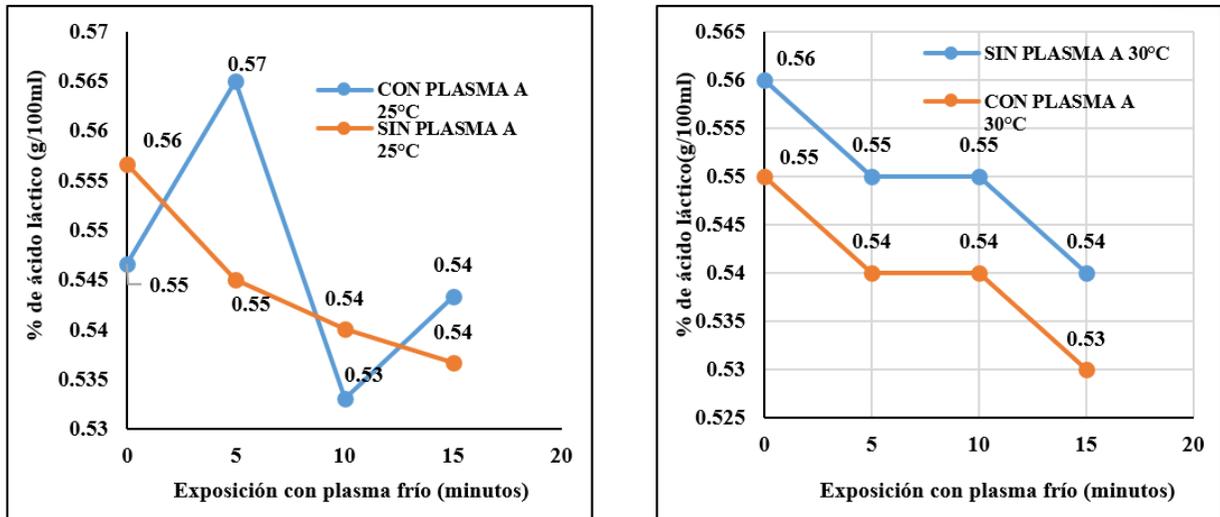
Figura 6
Gráfica de variación de la humedad de la carne de cerdo en función al tiempo de exposición al plasma frío a 25 °C



Nota. La Figura 6, exhibe la relación entre el tiempo de exposición al plasma frío a 25 °C y 30 °C y la variación en el contenido de proteína (g/100 g de la carne de cerdo), utilizando datos recopilados en el experimento a distintos intervalos de tiempo.

Figura 7

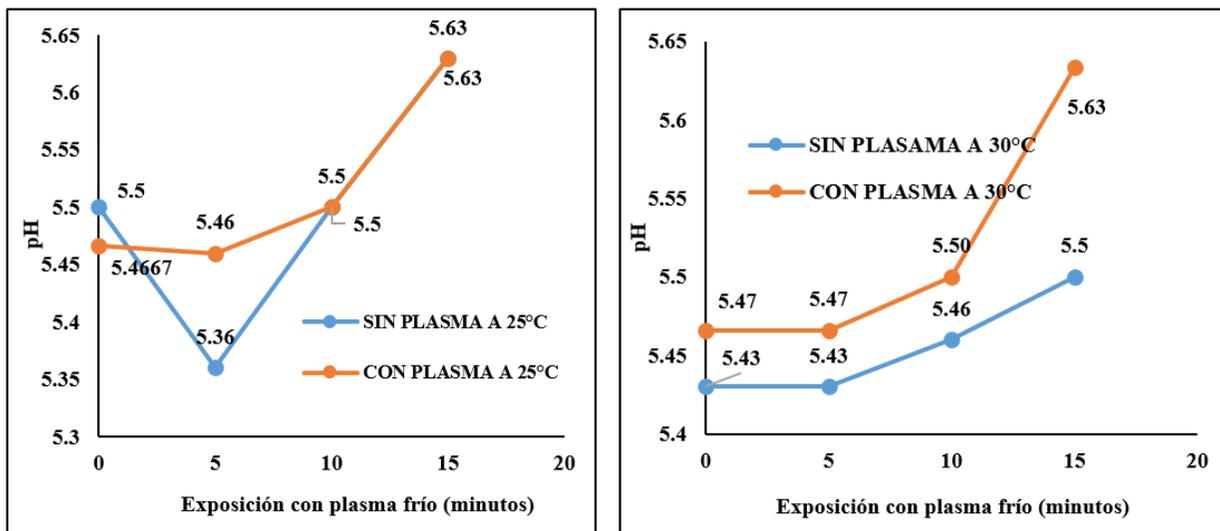
Gráfica de variación del % de ácido láctico (g/100ml de la carne de cerdo) en función al tiempo de exposición al plasma frío a 25 °C



Nota. La Figura 7 presenta la relación entre el tiempo de exposición al plasma frío a 25°C y 30°C y la variación del % de ácido láctico de la carne de cerdo, con base en datos recolectados en diferentes intervalos de tiempo durante el experimento.

Figura 8

Gráfica de variación del pH de la carne de cerdo en función al tiempo de exposición al plasma frío a 25 y 30 °C



Nota. La Figura 8 muestra la variación en pH de la carne de cerdo en función del tiempo de exposición al plasma frío a 25 °C y 30 °C, utilizando datos obtenidos en distintos intervalos de tiempo a lo largo del experimento.

Efecto del tiempo de exposición al plasma frío a la temperatura de 25 y 30 grados centígrados sobre los atributos sensoriales

Los resultados estadísticos de la Prueba

de Friedman para olor, color, apariencia y textura, señalan que no existen diferencias significativas y que la aplicación de plasma frío no afecta los atributos evaluados.

Tabla 3

Promedios de la evaluación sensorial del atributo olor y clasificación de acuerdo a la Prueba de Friedman a $\alpha=0,05$

Tratamientos	Rangos	Medias	Clasificación
Sin plasma (carne normal)	1,97	4,40	a
Con plasma 25 °C, 15 minutos	2,07	4,47	a
Con plasma 30 °C, 15 minutos	1,97	4,40	a

Nota. En la Tabla 3 se muestra en cada columna las medias con igual letra son significativamente iguales de acuerdo a la prueba de Friedman ($p<0,05$).

La Tabla 3, reporta que la carne de cerdo tratado con plasma frío por 15 minutos a 25 y 30 grados centígrados son iguales estadísticamente para el atributo

olor y a la vez igual a la carne de cerdo sin tratamiento del plasma frío.

Tabla 4

Promedios de la evaluación sensorial del atributo textura y clasificación de acuerdo a la Prueba de Friedman a $\alpha=0,05$

Tratamientos	Rangos	Medias	Clasificación
Sin plasma (carne normal)	2,10	4,60	a
Con plasma 25 °C, 15 minutos	2,00	4,53	a
Con plasma 30 °C, 15 minutos	1,90	4,47	a

Nota. En la tabla 4 se muestra en cada columna las medias con igual letra son significativamente iguales de acuerdo a la prueba de Friedman ($p<0,05$).

En cada columna las medias con igual letra son significativamente iguales de acuerdo a la prueba de Friedman ($p<0,05$).

tratado con plasma frío por 15 minutos a 25 y 30 grados centígrados es igual estadísticamente para el atributo textura, y a la vez igual a la carne de cerdo sin tratamiento del plasma frío.

La Tabla 4, reporta que la carne de cerdo

Tabla 5

Promedios de la evaluación sensorial del atributo color y clasificación de acuerdo a la Prueba de Friedman a $\alpha=0,05$

Tratamientos	Rangos	Medias	Clasificación
Sin plasma (carne normal)	1,83	4,20	a
Con plasma 25 °C, 15 minutos	1,93	4,27	a
Con plasma 30 °C, 15 minutos	2,23	4,47	a

Nota. En la tabla 5 se muestra en cada columna las medias con igual letra son significativamente iguales de acuerdo a la prueba de Friedman ($p<0,05$).

La Tabla 5, indica que, estadísticamente la carne de cerdo tratado con plasma frío por 15 minutos a 25 y 30 °C, no presentan diferencias significativas para

el atributo color, y a la vez es igual a la carne de cerdo sin tratamiento del plasma frío.

Tabla 6

Promedios de la evaluación sensorial del atributo apariencia y clasificación de acuerdo a la Prueba de Friedman a $\alpha=0,05$

Tratamientos	Rangos	Medias	Clasificación
Sin plasma (carne normal)	1,90	4,33	a
Con plasma 25 °C, 15 minutos	2,10	4,47	a
Con plasma 30 °C, 15 minutos	2,00	4,40	a

Nota. En la tabla 6 se muestra en cada columna las medias con igual letra son significativamente iguales de acuerdo a la prueba de Friedman ($p<0,05$).

La Tabla 6 muestra que, estadísticamente, la apariencia de la carne de cerdo tratada con plasma frío durante 15 minutos a 25 y 30 grados centígrados no difiere significativamente entre sí y tampoco de la carne de cerdo sin tratamiento con plasma frío.

Discusión

Efecto del tiempo de acción del plasma frío, sobre la eliminación de microorganismos patógenos, cambios fisicoquímicos y organolépticos en carne de cerdo

El plasma frío se utiliza en diversas áreas de la industria debido a su capacidad de inhibir microorganismos. La carne de cerdo es un alimento recomendable debido a su aporte en proteínas, la aplicación del plasma frío en la carne de cerdo utilizada como materia prima, se demostró que los componentes de la carne están acorde a los parámetros establecidos en la literatura, sin embargo cuando existe carga microbiana como coliformes totales, se obtuvo 3,9 Log UFC/g, 5,24 Log ufc/g de Aerobios viables y presencia de Salmonella, según los criterios microbiológicos, estos valores están dentro del rango aceptado, a excepción de la presencia de Salmonella. Los diferentes tratamientos aplicados a la carne de cerdo, mostraron diferencias significativas en la reducción microbiana, por ejemplo, a 25 °C, los coliformes totales se redujeron de 3.9 Log ufc/g hasta 0,16 Log ufc/g, mientras que a 30 °C se redujo hasta 0,1 Log ufc/g, en el caso de aerobios viables, a 25 °C se redujo de 5,24 Log ufc/g hasta 0,53 Log ufc/g y a 30 °C se redujo hasta 0,12 Log ufc/g, para ambos casos, la reducción microbiana fue proporcional al tiempo. Sin embargo, para la Salmonella, a 25 °C el efecto inhibitorio se observó a partir de los 10 minutos, inhibiéndose completamente a los 15 minutos de tratamiento con plasma frío, de manera similar ocurrió con el tratamiento a 30 °C observándose una reducción a partir de los 5 minutos inhibiendo la total de células a los 10 minutos de tratamiento. Los tratamientos con plasma frío son efectivos para reducir enterobacterias como Salmonella incluso shigatoxinas (Thomas-Popo et al., 2019). Roh et al. (2020) redujeron la Salmonella en carne de pollo en formas de cubo, un total de 3,7 Log ufc/cubo, sin embargo la efectividad del plasma para reducir la carga microbiana está en función del tipo de gas utilizado, Hertwig et al.(2017) lograron inactivar Salmonella enteritidis PT30 con Aire > 5.0 log10, con O2 4.8 Log10 y N2 2.0 log10 luego de 15 minutos de tratamiento, estos efectos estaría relacionados con los diferentes radicales libres que generan los diferentes gases que son utilizados para generar plasma frío. Incluso los tratamientos con plasma frío en alimentos tiene un efecto no significativo en las características sensoriales de alimentos (Chen et al., 2021). Los daños provocados por el plasma frío para la inhibición de bacterias es la oxidación de la pared celular a causa de los radicales libres, electrones cargados positivamente, luz UV, así como por la electroporación y daño al ADN

en microorganismos (Solís-Pacheco et al., 2017).

Cálculo del tiempo de exposición al plasma frío a la temperatura de 25 grados centígrados para los cambios fisicoquímicos

Debido a los diferentes efectos no significativos que el plasma provoca en alimentos, se considera como una tecnología adecuada para la aplicación en alimentos (Solís-Pacheco et al., 2013). Las características fisicoquímicas en la carne de cerdo al inicio comparado con la carne antes de ser sometidos a tratamiento con plasma frío, sufrieron algunos cambios, por ejemplo, en cuanto al contenido de proteínas, humedad y pH no hubo diferencia estadística, sin embargo, en cuanto a la acidez si hubo diferencia estadística, ya que la acidez se incrementó de $0,55 \pm 0,005$ hasta $1,67 \pm 0,005$ % de ácido láctico, esta variación posiblemente sea a causa del tiempo de almacenamiento de la carne previo a los tratamientos con plasma frío. Luego de ser sometidos al tratamiento con plasma frío, en cuanto al contenido de proteínas, se observó diferencias estadísticas de acuerdo a los diferentes tiempos de tratamientos, por ejemplo a 25 °C al ser sometido con plasma frío el contenido proteico descendió desde 27,12%, hasta 26,81% a los 10 min de tratamiento, luego a los 15 min se obtuvo 26,99% de proteína, mientras que a 30 °C el contenido proteico disminuyó de 27,07% hasta 26,86% luego de 15 minutos de tratamiento: En cuanto a la humedad, a 25 °C no se vio afectado por el tratamiento con plasma, reportando valores de 65,09% hasta 65,03% a los 15 minutos de tratamiento, pero a 30 °C si hubo una disminución de humedad desde 65,33% hasta 65,03%, en cuanto a la acidez a 25 °C no hubo diferencia significativa, ya que mantuvo en 0,54% de ácido láctico, pero a 30 °C mostró variación desde 0,56 hasta 0,54%, en cuanto al pH a 25 °C no hubo diferencia estadística reportando en promedio 5,5, de manera similar se observó a 30n°C de tratamiento con promedio de pH de 5,5. Las características sensoriales en alimentos son no significativos, indica Ganesan et al., (2021).

Conclusiones

Se ha determinado que tanto el tiempo como la temperatura del plasma frío influyen en la eliminación de microorganismos patógenos y en los cambios fisicoquímicos y organolépticos de la carne de cerdo. Se evaluó cómo diferentes niveles de tiempo y temperatura del plasma frío afectan estos aspectos. Los resultados indican que la temperatura de 25 °C y un tiempo de 15 minutos tienen un efecto significativo y pronunciado. Los datos obtenidos demuestran que la aplicación del plasma frío no afecta significativamente los cambios fisicoquímicos como el contenido de proteína, humedad, porcentaje de ácido láctico y pH, así como atributos sensoriales como el color, olor, apariencia general y textura. Las Figuras 6, 7 y 8 muestran las curvas de destrucción microbiana en la carne de cerdo, construidas

a partir de datos de diferentes tiempos de exposición al plasma frío a 30 °C. Los resultados confirman que la temperatura de 25 °C y un tiempo de 15 minutos son los más efectivos en la destrucción de microorganismos patógenos.

Recomendaciones

Es necesario investigar la aplicación de diferentes tiempos y temperaturas del plasma frío en carne de cerdo en diversos empaques, contenidos y pesos para la inactivación de microorganismos. También se debe estudiar el tiempo de vida útil de la carne de cerdo bajo diferentes condiciones de almacenamiento al aplicar el plasma frío. Es importante aplicar distintos tiempos y temperaturas del plasma frío para prevenir el pardeamiento de Maillard. Además, se deben abordar investigaciones en diversos tipos de carnes, considerando la carga microbiana y los posibles cambios fisicoquímicos para comparar los resultados. Continuar con estudios sobre la aplicación de esta tecnología en alimentos líquidos, teniendo en cuenta el tiempo, la temperatura y el medio sustrato. Es crucial ajustar las condiciones de tiempo y temperatura para obtener mediciones más precisas mediante la reducción de la escala de aplicación. Finalmente, se sugiere implementar esta tecnología en programas sociales relacionados con la inocuidad alimentaria.

Referencias

- Almeida, F., Souza, R., Cullen, P., Frias, J., Bourke, P., Fernandes, F., & Rodrigues, S. (2015). *Effects of atmospheric cold plasma and ozone on prebiotic orange juice*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. https://www.researchgate.net/publication/282974174_Effects_of_atmospheric_cold_plasma_and_ozone_on_prebiotic_orange_juice
- Borgoño, N. (2019). Reporte de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) en el Perú. *Boletín Epidemiológico del Perú*, (15), 381-383. <https://www.dge.gob.pe/portal/docs/vigilancia/boletines/2019/15.pdf>
- Chen, Z., Garcia, G., Arumugaswami, V., & Wirz, R. (2020). Cols plasma for SARS-CoV-2 inactivation. *Physics of fluids*, 2-6. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33244211/>
- Dong, J., Wang, Z., Zhao, X., Biesuz, M., Saunder, T., Zhang, Z., Grasso, S. (2020). Contactless flash sintering based on cold plasm. *Scripta Materialia*, (175), 20-23. https://www.researchgate.net/publication/336150471_Contactless_flash_sintering_based_on_cold_plasma
- Ganesan, A. (2021). Application of cold plasma on food matrices: A review on current and future prospects. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1). https://www.researchgate.net/publication/347042415_Application_of_cold_plasma_on_food_matrices_A_review_on_current_and_future_prospects
- Hertwig, C., Reineke, K., Rauh, C., & Schlüter, O. (2017). Factors involved in Bacillus spore's resistance to cold atmospheric pressure plasma. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 43 (2), 173-181. https://www.researchgate.net/publication/319009942_Factors_involved_in_Bacillus_spore's_resistance_to_cold_atmospheric_pressure_plasma
- Hou, Y., Gan, Z., Shao, T., Zhang, X., He, M., & Sun, A. (2019). Effect of cold plasma on blueberry juice quality. *Food Chemistry*, 8(290), 79-86. https://www.researchgate.net/publication/332253525_Effect_of_cold_plasma_on_blueberry_juice_quality
- Illera, A., Sanz, M., Ng, S., Lu, P., Jones, J., Carey, E., & Bourke, P. (2019). Effect of cold plasma on polyphenol oxidase inactivation in cloudy apple juice and on the quality parameters of the juice during storage. *Food Chemistry*, X, 9, 201-2015. https://www.researchgate.net/publication/335036932_Effect_of_Cold_plasma_on_Polyphenol_oxidase_inactivation_in_cloudy_apple_juice_and_on_the_quality_parameters_of_the_juice_during_storage/fulltext/5d7d185d299b1d5a97ed9bc/Effect-of-Cold-plasma-on-Polyphenol-oxidase-inactivation-in-cloudy-apple-juice-and-on-the-quality-parameters-of-the-juice-during-storage.pdf
- Roh, S., Oh, Y., Lee, S., Kang, J., & SC, M. (2020). Inactivation of Escherichia coli O157:H7, Salmonella, Listeria monocytogenes, and Tulane virus in processed chicken breast via atmospheric in-package cold plasma treatment. *LWT - Food Science and Technology*, 127(1). https://www.researchgate.net/publication/340745759_Inactivation_of_Escherichia_coli_O157H7_Salmonella_Listeria_monocytogenes_and_Tulane_virus_in_processed_chicken_breast_via_atmospheric_in-package_cold_plasma_treatment
- Sen, Y., Ulusoy, O., & Mutlu, M. (2019). Detoxification of hazelnuts by different cold plasmas and gamma irradiation treatments. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, (54), 252-259. https://www.academia.edu/40131337/Detoxification_of_hazelnuts_by_different_cold_plasmas_and

gamma_irradiation_treatments

- Solis-Pacheco, J., Aguilar-Uscanga, B., Villanueva-Tiburcio, J., Macías-Rodríguez, M., Viveros-Paredes, J., González-Reynoso, O., & Peña-Eguiluz, R. (2017). Effect and mechanism of action of non-thermal plasma in the survival of *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal article: Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 7(2), 137-142. https://www.researchgate.net/publication/320418718_Effect_and_mechanism_of_action_of_non-thermal_plasma_in_the_survival_of_Escherichia_coli_Staphylococcus_aureus_and_Saccharomyces_cerevisiae
- Sotomayor, R. (2008). *Métodos Estadísticos para la Investigación I*. Universidad Agraria La Molina. <https://www.studocu.com/pe/course/universidad-nacional-agraria-la-molina/metodos-estadisticos-para-la-investigacion-i/4455346>
- Thomas-Popo, E., Mendonça, A., Misra, N., Little, A., Wan, Z., Moutiq, R., Keener, K. (2019). Inactivation of Shiga-toxin-producing *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* and natural microflora on tempered wheat grains by atmospheric cold plasma. *Food Control*, 104, 231-239. https://www.researchgate.net/publication/332681384_Inactivation_of_Shiga-toxin-producing_Escherichia_coli_Salmonella_enterica_and_Natural_Microflora_on_Tempered_Wheat_Grains_by_Atmospheric_Cold_Plasma
- Van, N., Minh, Danh, H., Vinh, L., & Hoang, L. (2020). An investigation on treatment of groundwater with cold plasma for domestic water supply. *Groundwater for Sustainable Development*, (10), 22-24. https://www.researchgate.net/publication/337429185_An_Investigation_on_Treatment_of_Groundwater_with_Cold_Plasma_for_Domestic_Water_Supply
- Volkov, A., Hairston, J., Patel, D., Gott, R., & Xu, K. (2019). *Cold plasma poration and corrugation of pumpkin seed coats*. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31004911/>