



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTILÁN

**Evaluación de la rehidratación de carne
de cerdo con tratamientos de
ultrasonido y sales de fosfato**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

P R E S E N T A:

OSCAR ALBERTO VÁZQUEZ BERÚMEN

Asesores:

Dra. Rosalía Meléndez Pérez

M. en C. Jonathan Coria Hernández

Cuautilán Izcalli, Estado de México. 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis**

Evaluación de la rehidratación de carne de cerdo con tratamientos de ultrasonido y sales de fosfato.

Que presenta el pasante: **Oscar Alberto Vázquez Berúmen**
Con número de cuenta: **413110194** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería en Alimentos**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 30 de Enero de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.Q.I. José Oscar German Ibarra	
VOCAL	Dra. Rosalía Meléndez Pérez	
SECRETARIO	Dr. José Luis Arjona Román	
1er. SUPLENTE	M. en C. E. Ana María Sabina De la Cruz Javier	
2do. SUPLENTE	Dra. María Guadalupe López Palacios	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

Dedicatoria

Con todo el cariño en mi pecho agradezco y dedico este esfuerzo a mis padres por ser los principales motores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas.

A mi papá Ramón gracias por siempre desear y anhelar lo mejor para mi vida, gracias por cada consejo y por cada una de tus palabras que me han guiado desde niño y ahora en mi vida adulta, te lo eh dicho un par de veces, pero eres mi mayor ejemplo de cómo ser un buen hombre, que con defectos y aciertos siempre has estado ahí para nosotros, toda mi vida me eh esforzado para seguir siempre mejorando, así como tú.

A mi mami Elba primeramente gracias por regalarme la vida, por estar pendiente de mí y de mis hermanas, por siempre darme el amor más sincero e incondicional que puede existir en el mundo, muchas gracias por ser mi fortaleza en los momentos más oscuros de mi vida y por ser mi guía moral cuando mi aun juventud e inexperiencia nublan mis decisiones. Gracias por siempre tener ánimos aun cuando estas cansada, para escucharnos o apapacharnos y muchas gracias por ser así como eres tú, la mejor mamá que la vida me pudo dar.

A Dios por la vida de mis padres, también porque cada día bendice mi vida con la hermosa oportunidad de estar y disfrutar al lado de las personas que sé que más me aman, y a las que yo sé que más amo en mi vida, gracias a Dios por permitirme amar a mis padres, gracias a mis padres por permitirme conocer de Dios y de su infinito amor.

Este trabajo es una forma de agradecerles todo el esfuerzo y sacrificios que han hecho para que podamos seguir creciendo como personas y profesionales. Los amo papás.

“soy el amo de mi destino, soy el capitán de mi alma” – W. E. Henley.

Agradecimientos

A Dios por permitirme tener salud para llegar hasta este momento y cerrar un ciclo tan importante y de tanto crecimiento en mi vida.

A mis hermanas Mayo y Ale, porque a pesar de todas las circunstancias siempre estamos juntos, ustedes han estado conmigo a lo largo de mi vida apoyándome y cuidándome y de corazón saben que las quiero mucho. A ti Roberto (Rober) que sabes que eres el hermano que yo escogí, gracias por siempre estar conmigo apoyando y enseñando nuevas cosas, nuevas formas de ver la vida y por siempre recibirme en tu casa y nunca escatimar en nada cuando nos reunimos, siempre estaré agradecido por todo lo vivido.

A mis abuelitos Reyna y Francisco, Concepción y Antonio que desde el cielo sé que están orgullosos de mí, gracias por todo el cariño que siempre me dieron a pesar de ser uno de los más traviosos de sus nietos.

A todos mis tíos de la familia Vázquez y la familia Berúmen, por siempre tener palabras de ánimo durante mi carrera por ofrecerme su apoyo incondicional y por siempre recibirme como un hijo más en sus casas. En especial a mi tía Martha "Mi segunda mamá", por no hacer distinción entre mis primos y yo y darme el amor incondicional de una mamá, por reprenderme cuando lo merecía y por inculcar en mi la responsabilidad de ser una buena persona, generosa y que ayuda al prójimo sin esperar nada a cambio.

A mis amigos durante la carrera y fuera de ella: Rodrigo (Rodri), Isamar (Doc), Alexander (Rey), Brenda, Daniela (Danny), Jesús (Chuchone), Leticia (Leti), en su compañía aprendí muchas cosas que siempre llevare conmigo y gracias también por todos los momentos vividos, porque sin ustedes tal vez no habría tenido la motivación de seguir adelante en el camino profesional, muchas gracias por que aun en los momentos más difíciles con ustedes nunca faltaban las bromas y risas que hicieron más llevaros nuestros 4 1/2 años de carrera. A mi amigo Fredy (Tedy), tu amistad desde la "prepa" la valoro mucho, con nuestra única y acida manera de decirnos las cosas las cuales siempre terminan en risas y comida.

A ti Kar por contagiarme de ese espíritu aventurero y siempre sonriente, soy otro gracias a ti.

A todas esas personas que estuvieron y hoy la vida nos lleva por caminos diferentes, gracias por siempre creer en mí, apoyarme e impulsarme con pensamientos, acciones y vibraciones, estaré siempre agradecido.

Agradecimientos

A la Dra. Rosalía Meléndez, no tengo más que palabras de agradecimiento para usted “Doctorcita” sin miedo a equivocarme puedo decir que mi vida tiene un antes y un después de haber coincidido con usted, gracias por las pláticas fuera de clases, por los consejos, regaños y sobre todo por impulsarme a salir de ese mal momento que por el que pasaba, siempre le estaré agradecido.

Dr. José Luis Arjona Sin duda fui afortunado de comenzar a entender la ingeniería con usted, toda la experiencia que nos transmitió y su forma de explicarnos y hablarnos sin duda hace la diferencia “aquí” afuera, muchas gracias.

A la Dra. Marta Rosas, le agradezco por escucharme y por saber explicar las cosas de una manera tan simple que ningún problema eran tan difícil para no resolverlo, gracias por siempre mostrarme el lado humano de cada situación y por esa habilidad tan suya de siempre ver el lado positivo a todo.

Dr. Jonathan Coria, Gracias por el apoyo y los consejos que me regalaste, contigo me di cuenta que aún hay gente buena y especial que ayuda a los demás para que salgan adelante.

A todos mis profesores durante la carrera, sin duda alguna me llevo una parte muy especial de ellos conmigo, ya sea en palabras, ideas o acciones.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por permitirme el orgullo de pertenecer a esta maravillosa institución y dejar una huella en ella.

Agradezco a DGAPA-UNAM por el apoyo financiero a los proyectos PAPIIT IT 201417, IT 20314 y PIAPI 1820.

A MI HONORABLE JURADO

I.Q.I. José Oscar German Ibarra

Dra. Rosalía Meléndez Pérez

Dr. José Luis Arjona Román

M. en C. E. Ana María Sabina De la Cruz Javier

Dra. María Guadalupe López Palacios



CONTENIDO

RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO I ANTECEDENTES	
1.1 REHIDRATACIÓN	6
1.1.1 CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES DE LOS ALIMENTOS DURANTE LA REHIDRATACIÓN	6
1.1.2 FACTORES EXTRÍNSECOS QUE INFLUYEN EN LA REHIDRATACIÓN	7
1.2 TRANSFERENCIA DE MASA DURANTE LA REHIDRATACIÓN	7
1.3 SECADO	8
1.3.1 DESVENTAJAS DEL SECADO POR AIRE CALIENTE	12
1.4 ULTRASONIDO (US)	12
1.4.1 EFECTOS DEL ULTRASONIDO EN LA CARNE	13
1.5 SALES REHIDRATANTES	14
1.5.1 USOS Y PROPIEDADES DE LOS FOSFATOS	15
1.6 CARNE DE CERDO	15
1.6.1 COMPOSICIÓN QUÍMICA	16
1.6.2 PROPIEDADES DE LA CARNE	19
CAPÍTULO 2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	
2.1 OBJETIVOS	22
2.2 ACTIVIDADES PRELIMINARES	23
2.2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	23
2.3 CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA (CRA)	24
2.4 DESHIDRATACIÓN DE CARNE	24
2.5 ACTIVIDAD DE AGUA (a_w)	25
2.6 DETERMINACIÓN DE TIEMPO DE SONICACIÓN	25
2.7 REHIDRATACIÓN DE MUESTRAS	26
2.8 GANANCIA DE PESO	26
CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y ANÁLISIS	
3.1 ACTIVIDADES PRELIMINARES	29
3.2 DESHIDRATACIÓN PARCIAL DE CARNE DE CERDO	30
3.3 REHIDRATACIÓN DE CARNE	33
3.4 CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA (CRA)	36
3.5 ACTIVIDAD DE AGUA (a_w)	37
3.6 % DE HUMEDAD	38
CONCLUSIONES	41
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de diferentes tipos de carne	16
Tabla 2. Velocidad de Rehidratación de los diferentes tratamientos (% Ganancia de peso/min)	34
Tabla 3. Promedios de CRA en los distintos tratamientos	36
Tabla 4. Promedios de a_w en los distintos tratamientos	37

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de las fases alimento-fluido entre las que se produce el transporte de agua durante la deshidratación debido a un gradiente de a_w	9
Figura 2. Transporte de la humedad, de la interfase hacia el aire	10
Figura 3a. Humedad libre en función del tiempo	10
Figura 3b. Velocidad de secado en función de la Humedad libre	11
Figura 4. Fenómeno de cavitación	13
Figura 5. Estructura morfológica de la fibra muscular esquelética	17
Figura 6. Estructura de la Miosina	18
Figura 7. Contenedores para identificación de las muestras durante la rehidratación	23
Figura 8. Deshidratador de alimentos por convección natural	25
Figura 9. Proceso de deshidratación de carne de cerdo	25
Figura 10. Proceso de rehidratación de carne de cerdo	26
Figura 11. Velocidad de secado en función de humedad	31
Figura 12. Cinética promedio de secado de carne de cerdo	32
Figura 13. Balance de materia de secado de carne de cerdo	32
Figura 14. Ganancia de peso de agua durante rehidratación	33
Figura 15. Promedios de porcentaje de Humedad en los distintos tratamientos	39



Resumen

Los alimentos previamente deshidratados siempre han sido utilizados para consumo en épocas de escasez o para aumentar la conservación de los mismos, no obstante, hoy en día están siendo utilizados para la formulación de otros tipos de alimentos, ya sea como ingredientes de alimentos funcionales, alimentos reintegrados, snacks, etc., sin embargo, gran parte de los alimentos deshidratados deben ser rehidratados en soluciones específicas como agua y salmueras entre otras, antes de ser consumidos. Actualmente el auge en la implementación del Us dentro de la industria alimentaria, así como diversas sales con efectos de retención de agua han contribuido a que diferentes procesos, entre ellos la rehidratación de los alimentos se dé de una manera más eficiente, aumentando las características sensoriales de dichos alimentos, así como la reducción en tiempos y/o gastos energéticos a la hora del proceso.

Por eso mismo el objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de la aplicación de Us y solución salina a base de pirofosfato tetrasódico ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) y cloruro de sodio (NaCl) en la rehidratación de carne de cerdo previamente deshidratada. Se seleccionó la temperatura de deshidratación y rehidratación que provocará menos daño en la carne y que al mismo tiempo permitiera observar los efectos que estos dos tratamientos conferían en la misma.

Con la temperatura de rehidratación seleccionada, se trabajó con 5 tiempos de proceso y la aplicación o no de Us, así como las sales rehidratantes, esto con el fin de determinar cuál de las combinaciones de rehidratación trabajadas resultaba con una mayor captación de agua. Además, se determinó el efecto de los mismos en la capacidad de retención de agua, la actividad acuosa y su porcentaje de humedad.

Se deshidrató la carne y se obtuvo una pérdida de peso del 66% y un contenido de humedad total del 33% que sirvió como base para evaluar los efectos de los tratamientos de rehidratación, tras este proceso se determinó que los tratamientos que mejores resultados ofrecieron fueron en los que se utilizó Us-sales de fosfato y únicamente sales de fosfato respectivamente, teniendo valores en el parámetro de ganancia de peso del orden de 1.07% y 2.93% respectivamente, siendo evidente que las muestras en las que se implementaron estos tratamientos favoreció en mayor medida los distintos parámetros evaluados.

Se concluye que rehidratar las muestras con el empleo de Us-sales de fosfato durante un tiempo de 15 min, ofrece los mejores resultados de proceso por los beneficios obtenidos en los diferentes parámetros tanto físicos como fisicoquímicos evaluados.



Introducción

En la actualidad, la FAO (2017) considera a la carne como uno de los productos alimenticios con mayor aporte nutrimental, esto debido a la calidad de sus proteínas, ya que contienen todos los aminoácidos esenciales que el ser humano necesita para su nutrición.

La carne de cerdo es la más producida a nivel mundial con un porcentaje de producción del 40%, en México este producto se genera alrededor del 37.6%, teniendo un crecimiento anual del 2.2% y en el consumo del 3.9% en la última década (FIRA, 2017). Debido a esto la obtención de la misma comienza a ser insuficiente, teniendo que importar anualmente grandes cantidades de carne, lo que vuelve necesario contar con métodos y tecnologías de conservación que puedan mantener sus propiedades nutrimentales y así ofrecer un producto de buena calidad sin alteraciones drásticas.

Entre los métodos de conservación más utilizados, se encuentra la deshidratación por aire caliente; sin embargo, este método tiene un efecto destructivo en la estructura de los alimentos, debido a trastornos y lesiones en las células como consecuencia del estiramiento y contracción de las mismas, lo que provoca la pérdida del agua intracelular y subsecuentemente la deformación del alimento muchas veces irreversible. Un aspecto importante en el secado de los alimentos, es la capacidad de éstos para rehidratarse total o parcialmente, es por ello que surge el interés de emplear nuevas tecnologías, así como técnicas que permitan mejorar las condiciones de proceso.

El Us ha tenido un gran impacto dentro de la industria alimenticia ya que con el empleo de esta tecnología limpia se han observado mejoras en el procesamiento de los alimentos, comparado con métodos tradicionales. Prueba de ello, son los trabajos de Jayasooriya *et al.*, (2004), quien ha propuesto que la aplicación del Us puede resultar en la mejora de las propiedades físicas de los productos cárnicos, tales como *CRA*, la ternura, y otros parámetros de calidad.

Así mismo, los compuestos más utilizados para la rehidratación en carne son los fosfatos y el NaCl, debido a sus características de aumentar la capacidad de captación de agua, y aunado al empleo de Us como tratamiento y/o pre-tratamiento podría dar como resultado un mayor grado de rehidratación además de conferirle a la carne rehidratada diferentes características de calidad. Debido a esto, resulta de gran interés el empleo de este método y sales de fosfato para determinar cuál es el efecto que tienen estos como tratamiento en la rehidratación de carne.



Capítulo I

Antecedentes



1.1 Rehidratación

Algunos alimentos deshidratados enteros, en trozos o pulverizados, deben ser rehidratados para su consumo o uso posterior en diferentes procesos; es por ello que el estudio de la transferencia de materia ocurrida durante el fenómeno de rehidratación es de suma importancia (Hogekamp & Schubert, 2003).

Adquiere relevancia considerar que la rehidratación no es el proceso inverso a la deshidratación, ya que ambos fenómenos tienen mecanismos diferentes de transferencia de materia y dependen de distintos factores. Las operaciones unitarias previas a la deshidratación, conocidas como pre-tratamientos que contribuyen a mantener la integridad de los tejidos, ayudan a evitar mayores pérdidas de sólidos solubles hacia el medio de rehidratación, debido a que durante el secado existen pérdidas por difusión de sólidos (vitaminas, azúcares, proteínas, minerales); adicionalmente, una cantidad importante de sólidos solubles puede migrar a la solución durante la rehidratación, afectando la calidad nutrimental del producto y su capacidad de inhibición de agua (Lewicki, 1998).

Anteriormente Morales (1988) reportó que la rehidratación puede considerarse como una escala en el daño ocurrido en el alimento durante el secado. En algunos casos la velocidad de rehidratación sirve como medida de la calidad del producto sometido a algunos de los procesos de secado, siendo los alimentos deshidratados en condiciones adecuadas, los que se deterioran menos y se rehidratan de forma tal que la apariencia del producto rehidratado es muy semejante a la del producto fresco.

Los alimentos deshidratados deben, en medida de lo posible, rehidratarse rápidamente y así mismo mostrar las mismas características estructurales y químicas en comparación con su presentación en fresco, como también sus propiedades nutricionales y sensoriales (Vega, 2013), dentro de los medios de rehidratación más utilizados se encuentran la inmersión en agua, como la más simple, en soluciones azucaradas (glucosa, sacarosa), leche, yogurt, jugos de frutas y verduras, entre otras, donde los periodos de inmersión, deben ser breves; no más de 15 min dependiendo del tratamiento, a fin de que estos medios de rehidratación ayuden a conseguir un producto de características similares al producto fresco (Rastogi, Nayak & Raghavarao, 2004).

1.1.1 Cambios en las propiedades de los alimentos durante la rehidratación

Dentro estos, los más importantes de un alimento que ha sido rehidratado están; los estructurales (densidad, porosidad, tamaño de poro), ópticas (color y apariencia), sensoriales (aroma, sabor y color) y nutrimentales (contenido de vitaminas, proteínas, carbohidratos, entre otras). La evaluación de todas o algunas de estas propiedades depende de los parámetros a considerar para un



mercado específico (Aguilera y Stanley, 2001). Estas características pueden mejorarse aplicando pre-tratamientos antes del proceso de secado, por ejemplo inmersión en soluciones azucaradas, salinas o ácidas, escaldado, deshidratación osmótica, microondas, entre otros (Androit y Le Quére, 2004), ya que ciertos azúcares presentan un comportamiento protector sobre la estructura celular durante la deshidratación y posterior rehidratación, al modificar las condiciones de transición de fase de los lípidos de la membrana, responsables de la ruptura de la bicapa lipídica (Lewicki, 1998).

1.1.2 Factores Extrínsecos que influyen en la rehidratación

Dentro de los muchos factores que influyen directamente en los mecanismos de transferencia de materia ocurridos durante el proceso de rehidratación de alimentos, están los factores propios del proceso de secado (método empleado, temperatura y velocidad de secado, etc.), así como las condiciones de rehidratación que se utilicen (Lewicki, 1998).

Los diferentes tipos de secado son la causa principal que puede afectar la rehidratación del producto deshidratado. También se pueden hacer combinaciones de los sistemas de secado; por ejemplo, el aire caliente con microondas, irradiación previa o al mismo tiempo. Igualmente se debe considerar el tipo de secado que menor daño cause a la estructura del alimento y sobre sus propiedades sensoriales y nutrimentales (San Juan *et al.*, 2001).

Por otra parte, se ha observado que altas temperaturas de secado implican un menor tiempo de rehidratación, pero los índices de calidad del producto final presentan cambios muy variables con respecto al producto fresco, como son la textura, el color, dejando de ver que la temperatura de secado es uno de los principales factores que influyen sobre la calidad del producto rehidratado (Lewicki, 1998).

1.2 Transferencia de Masa Durante la Rehidratación

La transferencia de masa, puede definirse como el transporte de un componente de una fase a otra; este fenómeno está gobernado por la tendencia del componente a dejar la fase, lo cual se denomina potencial químico (μ°), que es la capacidad de un componente para experimentar un cambio en el sistema (Gekas, 2001).

Matemáticamente, el potencial químico puede definirse en términos de la energía libre de Gibbs (G) teniendo como variables independientes a la temperatura, presión y cantidad de sustancia.

$$\mu^\circ = \left(\frac{\partial G}{\partial n} \right)_{T, P, n_{j \neq i}} \quad \text{Ec. 1.}$$



El sentido físico del potencial químico es la variación de la energía libre del sistema correspondiente a un cambio infinitesimal en el número de moles del constituyente i cuando la presión, temperatura y cantidad de sustancia se mantienen constantes, por lo que un sistema está en equilibrio cuando este es constante en todos sus puntos, cuando no es así, la diferencia de μ° actúa como fuerza impulsora para la transferencia de masa del componente i desde el punto de mayor μ° hacia el menor hasta que ambos se igualan (Paz, 2015).

En la transferencia de materia ocurrida durante el proceso de rehidratación, el agua (o solución rehidratante) es absorbida más rápidamente al inicio del proceso y luego disminuye gradualmente la absorción hasta que el contenido de humedad alcanza un equilibrio osmótico, esto quiere decir que todos los espacios inter e intracelulares queden saturados con agua y/o solución hidratante. De esta manera la absorción de agua por parte de los tejidos del alimento deshidratado aumenta sucesivamente el volumen del mismo, junto con una salida de los sólidos desde el interior de estos tejidos (Chávez, 2008).

En el proceso de la rehidratación existen tres procesos simultáneos:

- absorción de agua dentro del material deshidratado
- lixiviación de solutos
- el hinchamiento del material

Donde el cambio de volumen del producto deshidratado es proporcional a la cantidad de agua absorbida, aumentando o recuperando su tamaño y volumen inicial (Lewicki, 1998). Las variables operacionales del secado (temperatura, velocidad de aire, humedad relativa y tiempo) afectan significativamente la calidad final del producto rehidratado, por lo que es común utilizar índices numéricos para observar este efecto, entre estos indicadores destacan la capacidad de rehidratación y de retención de agua que tienen que ver con la estructura, el tejido y la capacidad de mantener el agua absorbida por el alimento (San Juan, Clemente & Mulet, 2001).

1.3 Secado

Generalmente, se entiende por secado a la operación mediante la cual se elimina total o parcialmente el agua de la sustancia que la contiene; esta definición puede ser aplicada a sólidos, líquidos o gases y tal como está expresada puede servir para describir varias operaciones unitarias como la evaporación, la adsorción, etc.

De estas técnicas, las más utilizadas en los alimentos son la evaporación superficial (secado por aire caliente, a vacío, solar y por microondas), la deshidratación osmótica (convencional o por vacío) y la liofilización.



En ocasiones estas técnicas se combinan para la obtención de un determinado producto (Deshidratación osmótica + secado por aire caliente), o bien constituyen operaciones previas o pre-tratamientos en un proceso (ejemplo: deshidratación osmótica como pre tratamiento para la elaboración de mermeladas) (Fito *et al.*, 2016).

La mayoría de los productos agroalimentarios son sólidos por lo que se define mejor el secado como la operación básica por la que el agua que contiene un sólido o una disolución (generalmente concentrada) se transfiere a la fase fluida que lo rodea debido a los gradientes de actividad de agua (a_w) entre ambas fases (fig. 1)

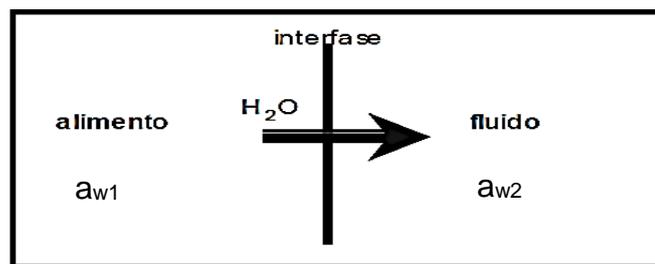


Figura. 1 Esquema de las fases alimento-fluido entre las que se produce el transporte de agua durante la deshidratación debido a un gradiente de a_w . (Fito *et al.*, 2016).

Aunque el contenido en humedad de un alimento puede ser un factor indicativo de ser propenso al deterioro, el primer objetivo del secado en cuanto a aumentar la estabilidad del producto se define en términos de depresión de a_w y no en términos de disminución del contenido en humedad, puesto que esta puede ser considerada una medida indirecta del agua que está disponible en un producto para participar en las reacciones de deterioro. Ajustando este parámetro puede alargarse la vida útil de un alimento sin necesidad de refrigeración durante el almacenamiento (Thorvaldsson & Skjöldebrand, 1995).

Ya que el secado es un proceso en el que se intercambian calor y masa, implica la transferencia de un líquido procedente de un sólido húmedo a una fase gaseosa no saturada; para ello el material húmedo se expone en la mayoría de los procesos a una corriente de aire con determinadas condiciones de temperatura, humedad y velocidad (Geankoplis, 2004).

En el secado de alimentos, una variable importante a considerar es la velocidad de secado, que se entiende como la pérdida de humedad del sólido húmedo por unidad de tiempo, y más exactamente por el cociente diferencial ($-\Delta X/\Delta \theta$) operando en condiciones constantes de secado, es decir con aire a las condiciones de temperatura, presión, humedad etc. (Clemente, 2003).

La velocidad de secado y la calidad del producto seco, dependen no solo de factores del medio en el que se secan (temperatura, humedad, etc.) si no también



influyen las características propias del alimento como son: CRA, su contenido de humedad, la forma de presentar el producto al secarlo y los cambios que sufrió este antes del secado, así como el efecto que tiene su geometría y el tamaño con el cual se procesará (Peralta & Bello, 1996).

La cinética del secado con aire caliente ocurre en 4 etapas:

1. Transferencia de calor desde el aire al sólido mediante convección.
2. Transferencia de calor de la superficie del sólido hacia el centro térmico para energizar la humedad, esto puede: evaporar el agua antes de ir a la interfase
3. Transporte de la humedad hacia la interfase sólido-gas mediante:
 - a. difusión
 - b. capilaridad
4. Transporte de la humedad de la interfase hacia el aire.

En la Figura 2 se puede observar un diagrama del transporte de la humedad de la interfase hacia el aire.

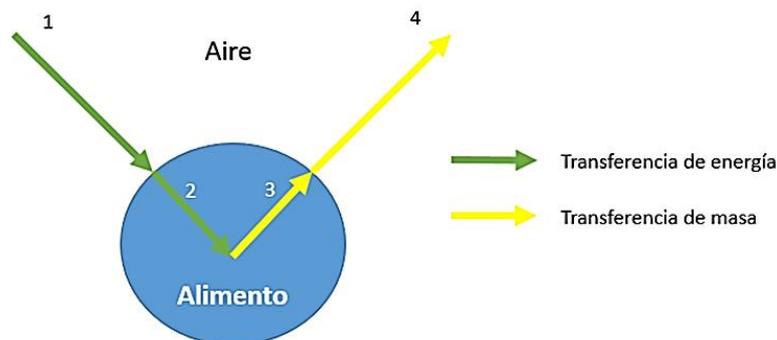


Figura. 2. Transporte de la humedad, de la interface hacia el aire (Geankoplis, 2004)

En la Figura 3a y 3b se muestran ejemplos de cinéticas de deshidratación y velocidad de secado, en la que se aprecian varias etapas de este proceso.

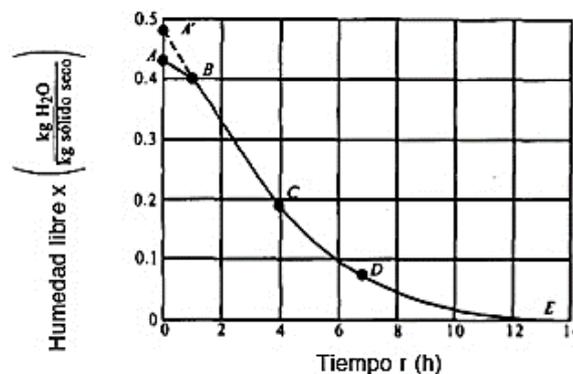


Figura. 3a. Humedad libre en función del tiempo.

(Geankoplis, 2004)

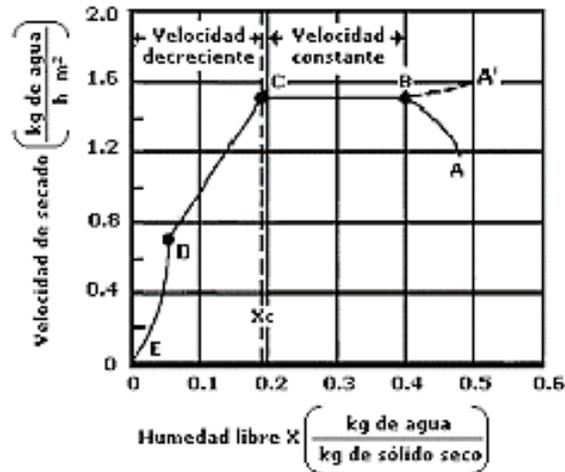


Figura. 3b. Velocidad de secado en función de la Humedad libre.

(Geankoplis, 2004)

Etapa A-B: Periodo de estabilización: el alimento se encuentra inicialmente en el punto [A] En la etapa inicial de secado [AB] el agua se calienta lentamente cuando el alimento y el secador se ajustan a las condiciones de temperatura del aire de secado, en el punto [B], la temperatura de la superficie del alimento alcanza su valor de equilibrio.

Etapa B-C: Periodo de velocidad de secado constante, ocurre cuando el alimento ya se encuentra en equilibrio térmico con el aire de secado; en esta etapa se presenta una salida de humedad a velocidad constante, llegando a finalizar cuando se alcanza un punto conocido como humedad crítica, donde se produce un cambio abrupto de velocidad. Este último punto es identificado como [C] donde no hay suficiente agua en la superficie para mantener la película continua, siendo este el punto crítico que marca un inicio del periodo decreciente.

Etapas C-D: Primer periodo de velocidad decreciente, en este último punto, la velocidad de secado disminuye conforme la humedad en el interior del producto disminuye. El periodo de velocidad decreciente es por lo general el periodo más largo en una operación de secado.

Etapas D-E: Segundo periodo de velocidad decreciente. En este periodo no presenta una tendencia lineal, lo que indica que el producto se aproxima a su contenido de humedad en equilibrio, depende de la temperatura, velocidad del aire y del espesor del alimento, es posible que la cantidad de humedad que se elimina durante este periodo de velocidad decreciente sea pequeña; sin embargo, los tiempos de secado pueden ser prolongados.

Durante el secado de alimentos en general y de carne en particular, el agua difunde desde el interior del producto hasta su superficie, pasando después al aire que lo rodea. Por lo tanto, el agua debe vencer dos resistencias: la del producto a que difunda en su interior hasta alcanzar su superficie y la del aire que rodea al producto a que el agua abandone la superficie del mismo. Es decir,



el proceso de transferencia de materia que tiene lugar durante el secado de carne está controlado por dos oposiciones: la interna y externa a la transferencia de materia. La resistencia global es la suma de ambas (Mulet *et al.*, 1987).

La estructura y las propiedades de la mayoría de los alimentos son en última instancia dependientes del tipo de secado, el efecto del proceso, variables y los elementos estructurales originales del material, ya que estos son particularmente difíciles de deshidratar con aire caliente porque experimentan severos cambios (contracción) y decoloración sin mencionar la pérdida de nutrientes valiosos (Aguilera, Charalt & Fito, 2003).

1.3.1 Desventajas del secado por aire caliente

El secado también puede provocar cambios indeseables en los alimentos, el tamaño y la forma pueden cambiar considerablemente, de manera que cuando se reconstituye el alimento, este no recupera su forma y tamaño originales. Las variaciones de color también pueden darse debido a la exposición durante el secado a altas temperaturas, modificaciones que perduran después de la reconstitución. Otro aspecto importante es la alteración en la textura debido al encogimiento celular provocado por la pérdida de agua y las altas temperaturas, así como al posible trastorno de estado lo puede limitar considerablemente la capacidad de los alimentos secos para absorber agua durante la rehidratación.

Los cambios en el sabor y aroma de los productos deshidratados se deben fundamentalmente a la pérdida de componentes volátiles durante el proceso, así como al desarrollo de sabores y aromas típicos de productos cocidos provocados por las altas temperaturas. Estos cambios son tanto mayores cuando más altas son las temperaturas utilizadas y/o cuanto mayor es el tiempo de secado, pudiendo minimizarse empleando métodos de secado que impliquen el uso de temperaturas moderadas o bajas (Fito *et al.*, 2016).

1.4 Ultrasonido (Us)

El ultrasonido, es una forma de energía de vibración sonora en un sólido o fluido a una frecuencia superior a la máxima audible del oído humano (16-18 kHz) (Leighton, 2007), es cada vez más popular en la industria de los alimentos, como pretratamiento o como medio alternativo de proceso. Los procesos están controlados normalmente con baja potencia y alta frecuencia, tal control resulta en un tratamiento no destructivo (Gallego *et al.*, 1999).

Las aplicaciones del Us pueden ser clasificadas en dos grupos: se encuentran las de baja potencia (<10 W), que implican el uso de frecuencias de 2 a 10 MHz, y las de alta potencia (>100 W), que son realizadas a frecuencias de 20 kHz a 100 kHz (Mc Clements, 1995). La eficiencia de estos tratamientos está condicionada por parámetros acústicos como frecuencia, intensidad, duración de tratamiento y temperatura (Jayasooriya *et al.*, 2004).



El efecto conservador del Us está asociado a los fenómenos complejos de cavitación gaseosa, que explican la generación y evolución de micro burbujas en un medio líquido. Como se muestra en la figura 4, la cavitación se produce en aquellas regiones de un líquido que se encuentran sometidas a presiones de alta amplitud que alternan rápidamente, durante la mitad negativa del ciclo de presión, el líquido se encuentra sometido a un esfuerzo tensional y durante la mitad positiva del ciclo experimenta una compresión (Leighton, 1998).

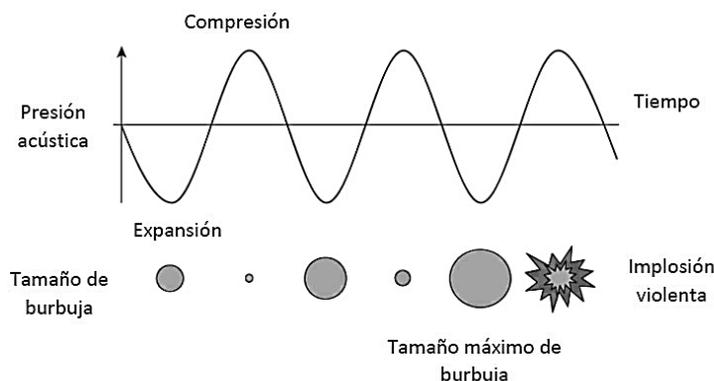


Figura. 4 Fenómeno de cavitación

(Soria & Villamiel, 2010)

El resultado es la formación ininterrumpida de *micro burbujas* cuyo tamaño aumenta miles de veces en la alternancia de los ciclos de presión, estas *micro burbujas* alcanzan un tamaño crítico implosionan o colapsan violentamente para volver al tamaño original (Herrero & Romero, 2006). Las implosiones asimétricas de la burbuja de cavitación cerca de una superficie sólida generan *micro jets* en la dirección de la superficie, gradientes de temperatura dentro del material (Mason & Lorimer, 2002), los fenómenos mecánicos, tales como movimientos alternativos de compresión-expansión de las partículas del medio denominado “efecto esponja” y generación de *micro canales* que reducen la capa límite de difusión (Muralidhara, Ensminger & Putnam, 2006). Estos efectos pueden aumentar la cinética de transporte de masa, pero también implican debilitar la estructura física del material ocasionando cambios estructurales y, en consecuencia, cambios en las propiedades texturales. (Cárcel *et al.*, 2007; Ozuna *et al.*, 2013).

1.4.1 Efectos del ultrasonido en la carne

El efecto de las ondas de Us en el comportamiento físico, bioquímico, y en las propiedades microbiológicas de la carne, han sido objeto de gran interés en los últimos años (Jayasooriya, *et al.*, 2004). Dentro de las aplicaciones del Us en la carne, se conoce que provoca cambios tanto en las propiedades físicas como en las químicas, lo cual proporciona una alternativa a los medios convencionales de procesamiento, ya sean químicos o térmicos, así como a los métodos de conservación.



La aplicación del Us es capaz de irrumpir en la célula, provocando que la oscilación periódica de la presión acústica cause ablandamiento de las membranas celulares de la carne (Reynolds *et al.*, 1978), así como interrupción del tejido, que resulta en la migración de proteínas, minerales y demás componentes y por consiguiente, en la aceleración de actividad enzimática, además de la degradación de macromoléculas de colágeno (Mc Clements, 1995).

Así mismo los investigadores Floros & Liang (1994), determinaron que la aplicación del Us provoca aumento de la permeabilidad de las fibras del músculo debido al efecto que ejerce en las miofibrillas por la cavitación, por otro lado, Haydock & Yeomans (2003) y Knorr *et al.*, (2004), hacen énfasis en que el uso de Us tiene un efecto en la transferencia de masa, por lo que es una herramienta que beneficia dichos procesos.

La influencia de diferentes variables de proceso, tales como la agitación, la concentración de solución, la relación muestra: solución y la temperatura, se pueden ver afectadas por la energía acústica, ya que el Us mejora tanto externa como internamente la transferencia de masa, esto es afirmado por Chemat, Zill y Muhammed (2011).

Esto fue confirmado por Ozuna *et al.*, (2013), al someter muestras de *Longissimus dorsi* con tratamiento de Us a 40 kHz y 37.5 W con soluciones salinas. Jayasooriya, *et al.*, (2004), por su parte, ha demostrado que la aplicación del Us puede resultar en la mejora de las propiedades físicas de los productos cárnicos, tales como CRA, la terneza y la cohesión. Sin embargo, algunos otros autores señalan que puede verse afectado por la intensidad y el tiempo de tratamiento (Reynolds *et al.*, 1978; Mulet *et al.*, 2003). Es por ello que surge el interés de emplear el Us como tratamientos para la rehidratación de carne y evaluarlo como mejor alternativa en el proceso de rehidratación.

1.5 Sales Rehidratantes

La búsqueda de mejores productos, rendimientos y la optimización de los procesos cárnicos es algo que en la actualidad resulta fundamental para lograr mantenerse en un mercado cada día más competitivo, en el cual los hábitos de consumo llevan a las empresas de la industria cárnica a desarrollar productos con mejores atributos sensoriales, considerando para ellos los mejores costos (Coria, 2011).

Los fosfatos son ingredientes diferentes a otros que se añaden convencionalmente a productos cárnicos, entre sus propiedades está el aumento en retención de agua y mejoramiento en la estabilidad de la emulsión. Sin embargo, existen detalles importantes a considerar (Knipe, 2004).



1.5.1 Usos y propiedades de los fosfatos

La acción de los fosfatos en carne se puede explicar de diferentes maneras. Primero, los fosfatos pueden afectar la capacidad de retener agua del músculo *post-rigor* al incrementar el pH del músculo, lo cual aumenta las cargas negativas netas en el mismo. Estas aumentan la repulsión electrostática entre fibras y finalmente aumenta la hidratación del mismo. La mayoría de los fosfatos aumentan el pH de la carne, sin embargo, la relación entre su efecto en el pH y la CRA varía con los diferentes tipos que hay.

El pirofosfato tetrasódico también sirve para disociar o separar el complejo acto-miosina en sus partes: actina y miosina, esto es muy ventajoso, ya que en si la miosina se disuelve fácilmente en los niveles de sal que se usan comúnmente en el procesamiento de productos cárnicos en comparación del complejo.

La sal (cloruro de sodio y cloruro de potasio) es muy importante para la funcionalidad de los fosfatos, a los niveles limitados a los que se añaden los fosfatos, la adición de sal tiene un mayor efecto en la fuerza iónica. Más específicamente, el ion cloruro juega un papel importante causando la repulsión electrostática de las proteínas del músculo, lo que permite que se ligue más agua o quede atrapada dentro de las fibras o células, reduciendo la pérdida de fluido durante el cocimiento (Knipe, 2004).

Sin embargo, es el efecto sinérgico de la sal cambiando con los fosfatos alcalinos lo que mejora los rendimientos y maximiza la solubilidad de la proteína miofibrilar. A los niveles utilizados de sal y fosfatos en la producción de cárnicos seccionados y formados, la concentración de sal aumenta lo suficiente la fuerza iónica como para separar los filamentos, pero no rompe los puentes cruzados, mientras que los fosfatos pueden separar la estructura de la acto-miosina, aunque no aumentan la fuerza iónica lo suficiente como para esparcir los filamentos (Coria, 2011).

Añadir electrolitos causará un aumento en la retención del agua por el enlace directo del agua con los aniones de fosfato y por la repulsión de los grupos de proteína debido al aumento y predominio de cargas negativas en tales grupos. Estos efectos de repulsión abren la estructura de la proteína, aumentan el número de sitios disponibles para enlazar agua, lo cual permite que se contenga más de esta en la carne (Knipe, 2004).

1.6 Carne de cerdo

La carne es el resultado de la transformación del tejido muscular tras el sacrificio del animal de abasto, gracias a ciertos procesos fisicoquímicos y bioquímicos. Estos cambios dan lugar a un producto con una serie de características sensoriales propias (Ros, Periago y Martínez, 1999).



Por carne de cerdo se entiende a la estructura compuesta por fibra muscular estriada, que representa alrededor de 40-50% del peso corporal total del animal, esta puede estar acompañada o no de tejido conectivo como grasa, hueso, fibras nerviosas, vasos linfáticos y sanguíneos de la especie *Suis*, considerada apta para el consumo humano (SAGARPA NOM-009-ZOO-1994).

1.6.1 Composición Química

La carne representa uno de los productos de origen animal con mayor aporte nutricional, ya que posee proteínas y aminoácidos, grasas y ácidos grasos, así como también carbohidratos, minerales, vitaminas y otros componentes bioactivos en pequeñas cantidades (FAO, 2017). En la Tabla 1 se aprecia la composición química de diversos tipos de carne de acuerdo a la especie de origen.

Tabla 1. Composición química de diferentes tipos de carne en %

Animal	Agua	Proteínas	Grasa	Cenizas	Aporte energético (kJ)
Cerdo	75.1	22.8	1.2	1.0	472
Vacuno	75.0	22.3	1.8	1.2	116
Pollo	75.0	22.8	0.9	1.2	105

Fuente: FAO (2017)

La importancia de la carne radica en sus nutrientes, dentro de los más destacados se puede mencionar los siguientes:

a) Proteínas

Cuando una proteína contiene todos los aminoácidos esenciales en cantidad suficiente, y en una proporción adecuada, se pueden llamar “completas” o “de buena calidad” y estas pueden encontrarse en la carne (Monge. 2005). Estas se encuentran presentes en la carne y son útiles, ya que por medio de ellas se sintetizan aminoácidos, que participan en múltiples funciones en el organismo (Badui, 2006).

En la carne, las proteínas principales son la actina y la miosina, que corresponden a las presentes en el aparato contráctil, también llamadas miofibrilares que son las principales dentro de la estructura en la carne por lo que el efecto que tiene su procesamiento a altas temperaturas influye principalmente en la textura final (Bruton *et al.*, 2006). Entre las llamadas sarcoplásmicas de la carne se encuentra la mioglobina, así como el colágeno que es el responsable de la solubilidad y la digestibilidad de la carne, el cual es parte del tejido conectivo (Rodríguez. 2008); cabe destacar que son susceptibles a cambios en la temperatura durante diversos procesos.



En la Figura 5 se muestra la posición de la actina, así como de la miosina, estas confieren a la miofibrilla el aspecto estriado, debido a sus filamentos paralelos y alternativamente espesos y delgados

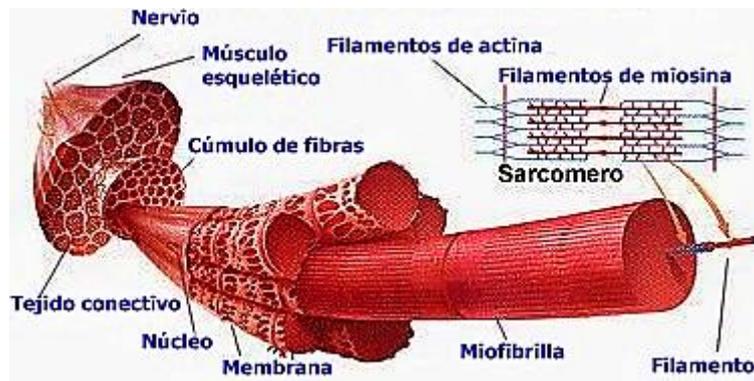


Figura. 5 Estructura morfológica de la fibra muscular esquelética.
(<https://es.slideshare.net/anatomiaipege/miologia>).

- **Miosina**

La miosina es la proteína más abundante en los músculos, forma el 60% del total de la proteína miofibrilar, y en comparación con la actina es la más lábil al calor, pues se ha observado que su desnaturalización generalmente ocurre en un intervalo de temperatura de 40 a 60 °C (Arrondo & Goñi, 1998). La desnaturalización de las proteínas implica un cambio de su estructura ya que se alteran las fuerzas de dispersión, los enlaces de hidrógeno y los enlaces iónicos (Acuña. 2006).

La miosina es una proteína con un peso molecular de 500 kDa, está formada por 6 subunidades; 4 cadenas delgadas y 2 cadenas gruesas enrolladas entre sí (Cheftel, Cheftel & Pierre, 1976). En la Figura 6 se observa la conformación α -hélice de la miosina lo cual le facilita su libre plegamiento, además de una zona con grupos sulfhídrico (-SH) que es la parte que actúa con la actina. Está conformada por la secuencia de aminoácidos Gly - Glu - Ser - Ala - Gly - Lys - Thr, que son aminoácidos con pH ácidos y básicos, lo que convierte a la miosina en una molécula muy cargada (teniendo un punto isoeléctrico de 5.4, presentando una afinidad por los iones, sobre todo calcio y magnesio (Nelson y Cox, 2010).

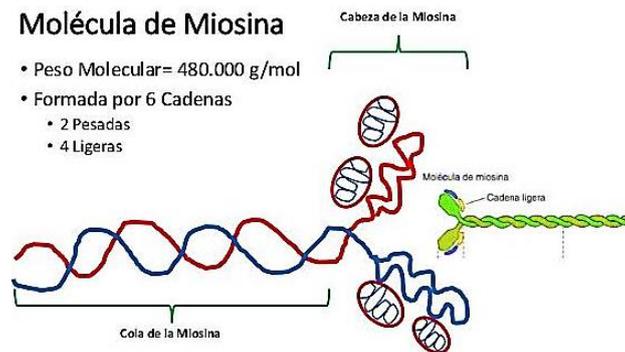


Figura 6. Estructura de la Miosina

(<https://es.slideshare.net/anatomiaipege/miologia>).

• Actina

La actina es la segunda proteína miofibrilar de importancia que presenta dos fracciones: la G (globular) y la F (fibrosa); la primera tiene un peso molecular de 46 kDa y consta de 450 aminoácidos aproximadamente; es esférica con un diámetro de 55 Å, presenta 30% de conformación de α -hélice y contiene una molécula de ATP; la actina F se produce por la polimerización de la fracción G en presencia de magnesio y se combina con la miosina para formar la actomiosina. (Badui, 2006). Su punto isoeléctrico es de aproximadamente 4.7 (Aberle & Forrest, 2001) y es menos lábil al calor; su desnaturalización comienza desde los 71 hasta los 83 °C (Cheftel, *et al.*, 1976).

b) Agua

Es el mayor constituyente de la carne, aproximadamente de 62 a 78% del tejido muscular (Badui, 2006), la mayoría contenida en el interior de las células, separadas por la membrana celular y sometida a cambios iónicos por procesos de osmosis. Se puede decir que la cantidad de grasa y proteínas influye en las propiedades físicas, ya que químicamente se encuentran enlazados formando una red que impide el libre movimiento del agua con otro componente (Dorado, 2011).

El agua en la carne se encuentra presente en dos formas, principalmente: de constitución, que se localiza en el interior de las proteínas y está fuertemente ligada a los grupos específicos o ubicados en regiones intersticiales, y agua de interfase, que está fuertemente retenida y cuya presión de vapor es menor que la del agua libre. El agua ligada representa del 4-5 % en el músculo, aquí las moléculas del agua (polares) reaccionan con proteínas por lo que es difícil de eliminar, ya que depende de la organización especial de las proteínas miofibrilares, es decir, de la disposición de los filamentos de actina y miosina; el agua libre se encuentra presente debido a sus enlaces débiles dadas las cargas en la proteínas, pueden generar puentes de hidrógenos, que pueden ser eliminados mediante diversos métodos (Pearce *et al.*, 2011).



c) Lípidos

Dentro de la carne el tejido adiposo se presenta como grasa subcutánea e intramuscular (Nollet y Toldra, 2009), en la grasa intramuscular se diferencia la grasa intracelular, que se encuentra situada dentro de las fibras musculares. Los lípidos contenidos en estos depósitos resultan ser de carácter neutros, formados por triacilglicéridos principalmente, demás también hay diacilglicéridos y monoacilglicéridos. Los triacilglicéridos son moléculas de glicerol unidas por enlaces ésteres a tres ácidos grasos; También se encuentran presentes colesterol y ésteres de colesterol (Girard, 1991).

d) Carbohidratos

La cantidad apenas llega al 1% en la carne siendo el más importante el glucógeno, el glucógeno es un polímero de α -D-glucosa con enlaces (α 1-4) y (α 1-6). Es la fuente de energía del músculo siendo parte del glucógeno consumido post mortem (Armeling, 2001).

1.6.2 Propiedades de la carne

Las proteínas funcionales de la carne desempeñan un papel importante en cuanto a la tecnología de alimentos, tanto en lo referente a los procesos de fabricación como por su incidencia en los atributos de calidad del producto final. Entre ellas merecen citarse las capacidades de hidratación y retención de agua, de emulsión de grasa, de gelificación, de formación de espuma, de cohesión, de viscosidad, etc. (Coria, 2011).

a) CRA

Es la habilidad de retener el agua durante la aplicación de fuerzas externas; de esta depende la interacción agua-proteína, por lo tanto, características como jugosidad y textura son afectadas, entre otras. La CRA es causada en primera instancia por una inmovilización de agua de los tejidos en el sistema miofibrilar (Hamm, 1986); específicamente, el agua es mantenida atrapada en el músculo o producto muscular por una acción capilar, que es generada por pequeños poros. Teniendo en cuenta, además, que las miofibrillas ocupan aproximadamente el 70% del volumen total de la masa molecular; significa que una notable parte del agua inmovilizada debe estar localizada entre los filamentos gruesos y delgados de las miofibrillas (Offer & Trinick, 1983); las proteínas tales como la miosina y actina son responsables de dicha capacidad (Morrisey, Mulvihill & Neill, 1987).

La causa más importante para ocasionar el aumento de la CRA durante la maduración, sería el incremento de pH durante el proceso. Así mismo un aumento en este parámetro se debe a cambios en la permeabilidad de las membranas, con una cierta difusión y redistribución iónica, que da como



resultado la sustitución de algunos iones divalentes y el debilitamiento de las fuerzas que aproximan las cadenas proteicas (Dolota, *et al.*, 2004). Algunos autores han destacado la importancia de aumentar la CRA, y han centrado sus estudios en ello, tales como Gerelt *et al.*, (2002). En deshidratación osmótica de *Longissimus dorsi* con cloruro de calcio, Graiver, *et al.*, (2006) con NaCl a diversas concentraciones y Siró, *et al.*, (2009) con el Us.

b) **Actividad de agua (a_w)**

La medición de la actividad acuosa es una propiedad de vital importancia en el control de alimentos. La a_w establece el grado de interacción del agua con los demás constituyentes y es una medida indirecta de la disponibilidad del agua para llevar a cabo diferentes reacciones a la que están sujetas las de deterioro. Un nivel alto o bajo ayuda a establecer las cualidades nutritivas, aromáticas, de textura y apariencia de productos alimenticios (Bolaños, Lutz & Herrera, 2003). El valor de esta para la carne es de aproximadamente 0.98 (Badui, 2006), sin embargo, este valor puede verse disminuido por distintos factores, como lo son; tratamientos térmicos, fuerzas capilares, así como a la interacción del agua con solutos disueltos, formación de puentes de hidrógenos con materiales hidrofílicos, etc.



Capítulo 2: Metodología **Experimental**



2.1 Objetivos

Objetivo General.

Evaluar el proceso de rehidratación de carne de cerdo (*Longissimus thoracis*), inmersa en una solución salina y con aplicación de Us, a través de los cambios en algunas propiedades físicas, fisicoquímicas y con el análisis de transferencia de masa en función a la ganancia de peso y porcentaje de humedad.

Objetivos Particulares.

Objetivo Particular 1

Evaluar el efecto del Us en la rehidratación de carne de cerdo con sales de fosfato, mediante la ganancia de peso y la capacidad de retención de agua para su comparación.

Objetivo Particular 2

Evaluar la transferencia de masa, mediante la ganancia de peso en la rehidratación de carne de cerdo con Us, para seleccionar el tratamiento que mejores resultados obtenga en función a ganancia de peso y CRA.

Hipótesis de trabajo:

El empleo de Us y de solución salina ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 + \text{NaCl}$) en la rehidratación de carne de cerdo, resultará en una mayor ganancia de peso y una mayor capacidad de retención de agua en las muestras con respecto a las que no tengan este tratamiento.



2.2 Actividades Preliminares

2.2.1 Caracterización de la materia prima

Para esta investigación se trabajó con carne de cerdo fresca de raza *Pietrain*, obtenida 48 horas después del sacrificio del animal, la carne provino de machos castrados de 6 meses de edad. El corte sobre el cual se realizó el estudio y la caracterización de las muestras fue en el musculo *Longissimus thoracis*, el cual fue proporcionado por un mismo proveedor durante toda la experimentación.

El pH de la carne de cerdo fue determinado mediante un Potenciómetro H199163 (Hanna Instruments); esta prueba se realizó durante los días de experimentación, con el fin de verificar las condiciones de calidad de la carne.

La humedad de la carne fresca, así como de la carne rehidratada se determinó mediante la técnica de secado en estufa como lo marca la norma NMX-F-544-1992, que consiste en someter una muestra de 2 g en una charola de aluminio durante 4 h a 100 °C; la humedad se determinó mediante la ecuación 2.

$$\%H = \frac{CM - CMS}{PM} \times 100 \quad \text{Ec. 2}$$

Donde

- CM = peso de la charola con muestra húmeda (g)
- CMS = Peso de la charola con muestra seca (g)
- PM = Peso de la muestra (g)

Para la estandarización de las muestras se cortaron 25 cubos de aproximadamente 1.5 cm de lado, que fueron pesados en balanza analítica Scout Pro SP 202 (Ohaus) para tener control sobre los pesos de las muestras.

Para propiciar condiciones de mínima variación durante el proceso de rehidratación, se optó por trabajar con un contenedor de 5 cubos de 2 cm que permitió el posicionamiento uniforme de las muestras, y así mismo para facilitar la identificación de las mismas al momento de seleccionarlas para realizar las pruebas propuestas.



Fig. 7. Contenedores para identificación de las muestras durante la rehidratación.



2.3 Capacidad de Retención de Agua (CRA)

Para esta prueba se utilizó el método de compresión descrito por Hamm (1986), en el cual se tomaron muestras de carne fresca, así como de carne rehidratada en las diferentes condiciones, y se pesaron para llevar un control; también se pesaron dos toallas absorbentes. Se ejerció una compresión con una prensa y un peso de 2 kg durante 1 minuto y posterior a esto se pesaron las toallas absorbentes, así como la muestra comprimida. Se determinó la CRA con la ecuación 3.

Para esta técnica se realizaron 3 réplicas tanto a muestras de carne fresca, como a muestras rehidratadas para para calcular un promedio y aplicar un análisis estadístico ANOVA de dos vías, esto para determinar cuáles fueron los cambios debidos al efecto del Us y a las sales rehidratantes en alimento.

$$CRA = \frac{(m1*\%H)-(m2-m3)}{(m1*\%H)} \times 100 \quad \text{Ec. 3}$$

En donde:

- ✓ m_1 = masa de la muestra (g)
- ✓ m_2 = masa de la toalla absorbente húmeda (g)
- ✓ m_3 = masa de la toalla absorbente (g)
- ✓ %H = contenido de humedad de la muestra (%)

2.4 Deshidratación de Carne

Para esta experimentación se planteó trabajar con carne deshidratada, mediante un secador de charolas de laboratorio marca Ronco de 7 niveles, el cual opera en un intervalo de 60-75 °C (ver Figura. 8); Se seleccionó el segundo nivel (15 cm de altura) para llevarlo a cabo el secado en las muestras de carne (cubos de 1.5 cm de lado), ya que es en este nivel en el que se alcanzan temperaturas de 60-65 °C. Para este proceso se marcaron las posiciones de las muestras, para su identificación, así como para permitir un secado uniforme y se dejó secar durante 3 horas (ver Figura. 9). Se colocaron 26 muestras en el nivel seleccionado para retirar una cada 7 minutos, para ser pesada y llevar un control del proceso mediante una cinética de secado. Las muestras deshidratadas durante 3 horas fueron puestas en un desecador durante 25 min, se almacenaron en un contenedor hermético y fueron puestas en refrigeración como método de conservación; para esta actividad se realizaron 3 réplicas. Estas muestras fueron utilizadas para determinar los tiempos de sonicación y para llevar a cabo la rehidratación.



Posterior a la deshidratación de la carne se realizó un balance de materia, para determinar cuál fue el peso total eliminado de la muestra, así como el contenido de humedad resultante en la misma



Figura. 8 Deshidratador de alimentos por convección natural

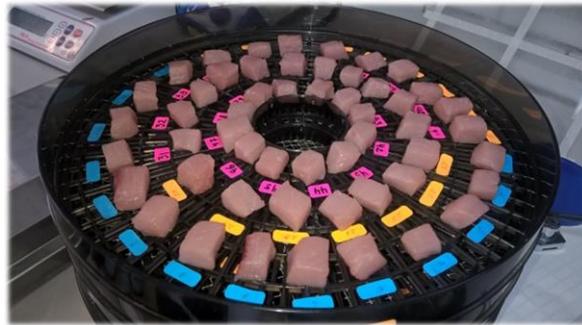


Figura. 9 Proceso de deshidratación de carne de cerdo

2.5 Actividad de Agua (a_w)

Para esta prueba se sometieron muestras de carne fresca, así como muestras de carne deshidratada y rehidratadas después de cada tiempo, en un higrómetro de espejo 4TE (Aqualab). Se realizaron 3 réplicas para cada condición experimental y se obtuvo promedio, desviación estándar y coeficiente de variación, se realizó un análisis estadístico de ANOVA de dos vías, esto con el fin de evaluar y comparar la actividad acuosa de las condiciones a las cuales fue sometida la carne y determinar cuál es el efecto en la carne de los tratamientos durante la rehidratación.

2.6 Determinación de tiempo de sonicación.

Una vez obtenidas muestras deshidratadas, estas fueron empleadas para determinar el tiempo de sonicación, para esto se utilizó un baño ultrasónico Cole-Palmer a 40 kHz y una temperatura de agua constante de 60 °C, evaluando visualmente los cambios en la muestra deshidratada debido al daño provocado por las ondas de US, así como determinando su ganancia de peso por medio de una balanza analítica; se aplicaron 5 tiempos de sonicación (5, 10, 15, 20, 25 min) por triplicado.

Se eligió el tiempo máximo en función al cambio de color y la destrucción de la estructura de la carne, así como también para delimitar un intervalo de tiempo en el cual el efecto del Us pudiera verse reflejado. Una vez establecidos los tiempos en los cuales se tomarían las muestras para realizar las pruebas propuestas, se llevó a cabo la rehidratación con las condiciones planteadas (Us-sales rehidratantes).



2.7 Rehidratación de muestras

Para llevar a cabo la rehidratación de las muestras parcialmente deshidratadas, se prepararon soluciones con sales de fosfato ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 + \text{NaCl}$) de acuerdo con las especificaciones y concentraciones referidas en la bibliografía para este tipo de sales (Knipe, 2004). Se utilizó una concentración de 0.075% de $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ y 1% de NaCl respectivamente, disolviéndolos en un vaso de precipitado con 500 mL de agua; una vez disueltos se transvasaron a un matraz aforado de 1000 mL con agua destilada, y se almacenaron en envases ámbar debidamente etiquetados.

Para la rehidratación de las muestras se trabajó con un baño ultrasónico Cole-Palmer con las condiciones de 40 kHz y una temperatura de soluciones rehidratantes constante de 60°C, variando entre una y una (agua destilada y solución salina). Se colocaron 5 muestras ubicadas en contenedores creados para esta actividad, introduciendo 5 contenedores en un recipiente de vidrio ubicado en el baño ultrasónico (ver Figura 10). Cada contenedor fue diferenciado para retirarlo de la rehidratación a cada tiempo propuesto (5, 10, 15, 20, 25 min), y así determinar cuál era el efecto resultante después de cada tiempo en las condiciones de proceso planteadas.

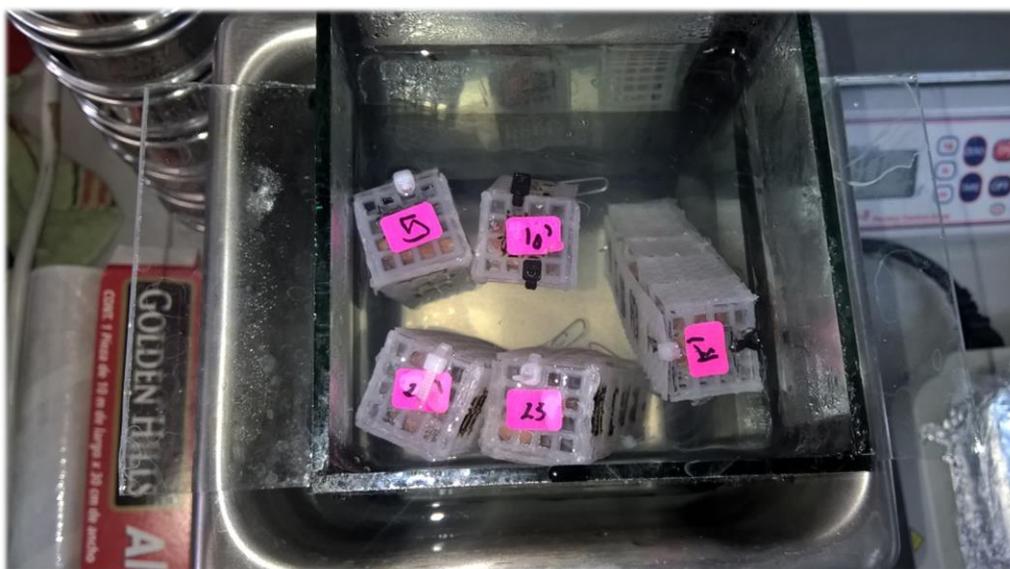


Figura. 10 Proceso de rehidratación de carne de cerdo.

2.8 Ganancia de peso

Después de cada tiempo de rehidratación, se secó el agua superficial de las muestras colocándolas en papel absorbente durante 1 minuto; posteriormente se registró el peso de cada muestra. Se almacenaron en cajas herméticas dejándolas reposar 20 min, posteriormente se calculó el porcentaje de ganancia de peso con la ecuación 4. Para esta prueba se realizaron 3 réplicas y se obtuvo promedio el cual se calculó la desviación estándar y coeficiente de variación, se



realizó un análisis estadístico ANOVA de dos vías para determinar la influencia en los diferentes tratamientos de rehidratación sobre la carne.

$$\%Gp = \frac{Pf * 100}{Pi} - 100 \quad \text{Ec. 4}$$

En donde:

- ✓ %Gp= Ganancia de peso
- ✓ Pi = peso inicial de la muestra (g)
- ✓ pf = peso final de la muestra rehidratada (g)



Capítulo 3

Resultados y Análisis



3.1 Actividades Preliminares

Se planteó evaluar en la carne su pH, % Humedad, a_w y CRA, para una comparación posterior con los resultados obtenidos tras la rehidratación.

En estas determinaciones el promedio del pH de la carne de cerdo fue de 5.1, mientras que el valor resultante de Humedad fue de 73.92%.

En referencias bibliográficas se indica que el valor de pH en la carne de cerdo se encuentra en un intervalo de entre 5 y 5.5 (Moreno, 2006), por lo que el valor obtenido durante la caracterización al encontrarse dentro de ese intervalo fue considerado como aceptable. De igual manera, Moreno (2006) determinó que la carne de cerdo tiene un valor de humedad de alrededor del 75% aproximadamente. Durante su determinación el valor obtenido fue de $73.92 \pm 0.7186\%$, si bien este es menor al reportado, la variación entre ambos es mínima, por lo tanto, se concluyó que dicho resultado sería confiable para el empleo de la carne durante la experimentación.

En los resultados obtenidos de a_w , el valor promedio de este parámetro experimental fue de 0.98, mismo que coincide con el reportado por Badui (2006), determinando así que la carne cumple con las características de calidad que se requieren para su empleo durante la experimentación propuesta.

Para la evaluación de CRA se empleó la técnica de prensado referida por Hamm (1986), obteniendo un resultado promedio de 92.20%; cabe resaltar que este valor difiere de los obtenidos por Paz (2015) de 81.26%, Sin embargo, esta variación pudo deberse a las condiciones de experimentación, así como a los materiales y equipos empleados. Determinando que los valores obtenidos se tomarían como confiables siempre y cuando los resultados caigan en un intervalo similar al obtenido hasta ahora.

Para la estandarización de las geometrías experimentales, se optó por cortar cubos de carne de aproximadamente 1.5 cm de lado, obteniendo un promedio en su peso de 4.26 g, y un coeficiente de variación de 5.3%, esto según el área del lomo del que fueron cortados. Así pues, se determinó que, aunque entre los cubos existen diferencias, estas no sobrepasaron el 10%, por lo que su valor promedio se utilizó para los cálculos posteriores.

Se puede notar que, durante las actividades anteriores los resultados obtenidos no tuvieron una variación significativa con los datos reportados en la bibliografía, ya que la carne empleada fue obtenida de un solo proveedor y bajo las mismas condiciones de sacrificio. Por lo que estos resultados fueron utilizados para una posterior comparación con los obtenidos de los tratamientos experimentales.



3.2 Deshidratación parcial de carne de cerdo.

Para la deshidratación de la carne se empleó un secador de charolas, esta fue colocada a una altura de 15 cm de la base en donde se encuentra la resistencia, el nivel No. 2 (mencionado en la pág. 24) marcado en el secador, donde la temperatura oscila entre 60-65°C y una velocidad de aire de 1 m/s, temperatura a la cual se planteó trabajar en la metodología experimental. Para tener un control sobre la humedad resultante después de este proceso, se realizó una cinética de secado, la cual consistió en colocar 27 muestras en el deshidratador y retirar una cada 7 minutos durante 3 horas.

Tras el tiempo de deshidratación las muestras de carne presentaron una capa superficial endurecida (barrera física exterior) la cual puede inferirse que es resultado de la desnaturalización de miosina por la temperatura, a la caramelización del glucógeno que pudo estar presente y así mismo por los solutos presentes en la carne que migraron y se apilaron en esa superficie (Clemente, 2003).

Es importante señalar que cuando la carne ha sufrido un secado intensivo, su estructura cambia sustancialmente y por lo tanto la calidad del producto cárnico también se ve afectada considerablemente. Debido a estos efectos en la estructura, también se puede ver modificada la migración de la humedad dentro de la carne y, por lo tanto, la característica de la curva de secado (Uengkimbuan *et al.*, 2006).

En la Figura 11 se representa la velocidad obtenida con la que se deshidrataron las muestras, la cual fue resultado del sistema de cálculo:

$$W = \frac{m}{A} \left\{ - \frac{\Delta X}{\Delta \theta} \right\} \quad \text{Ec. 6}$$

(Fuente: Valiente, 2012).

En donde:

- W = Velocidad de secado (kg/hm²)
- m = masa de sólido seco (kg)
- A = área de la superficie expuesta (m²)
- ΔX = humedad (kg H₂O / kg sólido seco)
- $\Delta \theta$ = tiempo (h)

En ella se pueden distinguir las 3 fases características de una curva de velocidad de secado, se puede apreciar que tanto la fase 1 como la fase 2 ocurren con una tendencia apegada a lo que se reporta en la mayoría de la literatura experimental similar, sin embargo, al entrar en la fase 3 de la curva, es posible apreciar variaciones, que están relacionadas directamente con el efecto de contracción explicado anteriormente, y como lo afirma Downing (1989), el tamaño y la



geometría de la partícula son factores de alta importancia en el secado, debido a que el expone que “la velocidad de secado de una partícula es inversamente proporcional al espesor de la pieza”.

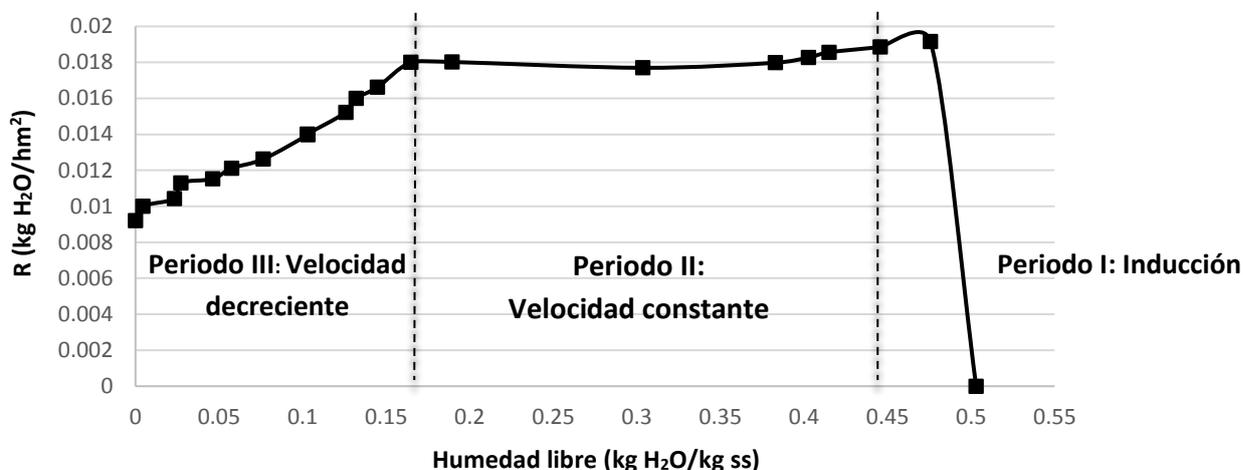


Figura. 11 Velocidad de secado en función de humedad

Esto coincide con lo propuesto por McMinin y Magee (1997), para áreas de contacto reducidas, la resistencia interna controla la velocidad de transferencia de materia, sobre todo para contenidos bajos en agua; La superficie se seca más que el centro y el cuerpo sufre una contracción desigual. Por otro lado, hay que considerar que, si la velocidad del aire y la temperatura son muy elevadas en la superficie del alimento habrá un contenido en humedad muy bajo, lo que provocará el efecto de contracción y derivará en una barrera física exterior, en la que pueden tener lugar transiciones de fase y puede formarse una matriz sólida que impida a la carne contraerse durante el resto del proceso de secado (Mayor & Sereno, 2004).

En la Figura 12 se presenta la cinética promedio del proceso de deshidratación, en la que es visible que durante el secado hubo variaciones en cuanto al contenido de humedad que se eliminó de las muestras, visibles en un intervalo de tiempo de 50 a 120 min. Esto se origina debido a que en la relación que existe entre la pérdida de agua y en las variaciones de temperatura que experimentan los alimentos durante la deshidratación, se provoca estrés en las estructuras celulares lo que resulta en deformaciones y reducción de sus dimensiones.

A esto se le conoce como efecto de contracción, ya que, durante el secado convectivo, la contracción en el alimento puede estar influenciada por diferentes factores, tales como: la cantidad de agua eliminada durante el proceso, la movilidad de la matriz sólida, la velocidad de secado o las condiciones a las cuales se lleva a cabo el proceso (Mayor & Sereno, 2004).

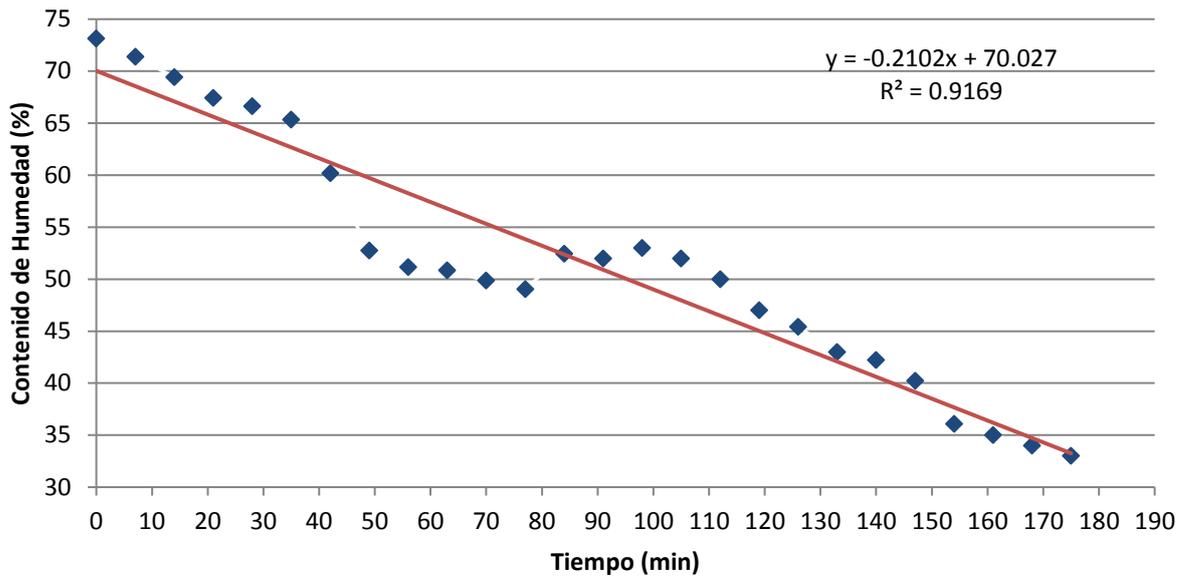


Figura 12. Cinética promedio de secado de carne de cerdo

Posteriormente se realizó un balance de materia al término del secado de la carne, para determinar la cantidad de agua eliminada tras la operación, resultando una humedad final de 33% y una pérdida total de peso del 66%, como se muestra en la Figura 13. Ya que la deshidratación por aire caliente es un método de conservación el cual daña severamente la estructura del alimento, se planteó deshidratar las muestras de carne hasta llevarlas a esta pérdida de peso ($66 \pm 0.5277\%$), para mantener en ellas características que permitirán apreciar visualmente los fenómenos que se presentaron posteriormente durante su rehidratación con los diferentes tipos de tratamientos.

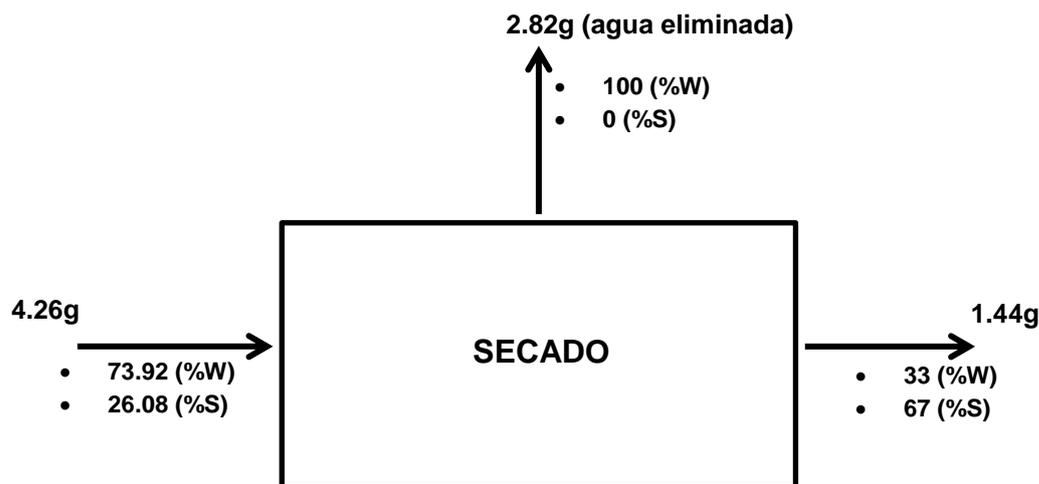


Figura 13. Balance de materia de secado de carne de cerdo



3.3 Rehidratación de carne

Para este parámetro se realizó el proceso conforme lo planteado, lo cual consistió en registrar los pesos iniciales de las muestras, y los pesos finales al retirarlas después de cada tiempo experimental, esto en cada uno de los tratamientos propuestos: Us - sin Us y sales de fosfato – agua. Lo primordial fue determinar la cantidad de agua recuperada, esto en función al peso; una vez registrados se graficaron los resultados de la ganancia en agua con respecto al tiempo de rehidratación en cada corrida experimental, obteniéndose así curvas promedio, donde se muestran la variación entre los mismos

En la Figura 14 se puede apreciar que el empleo tanto de Us como de sales de fosfato favorecen la ganancia de peso, pues es visible que los tratamientos en los que fueron utilizados comienzan con una ganancia mayor en comparación de en el que solo se emplea agua a 60 °C; Se observa también que las muestras rehidratadas presentan una ganancia de peso relativamente baja, que puede inferirse es resultado del daño en la estructura proteica derivado del proceso de secado, la barrera física externa formada que dificultó el transporte del agua dentro de la estructura de la carne, así como a trastornos celulares y estructurales ocurridos durante la experimentación.

Es perceptible que la ganancia de peso en las cuatro curvas presenta un efecto atípico, en comparación a una tendencia cuasi lineal como la que obtuvo la curva del tratamiento de agua sin Us, esto debido a la capacidad de las estructuras proteicas de la carne para buscar su estabilidad, siendo más pronunciado en las corridas en las que fueron utilizados; temperatura, Us, concentración de sales. Las fibras continuamente presentan fenómenos de hinchazón-contracción, por lo que se puede ver comportamientos de ganancia y pérdida, que indica cambios en la estructura de la carne, así como cambios en la cinética del sistema (Paz, 2015).

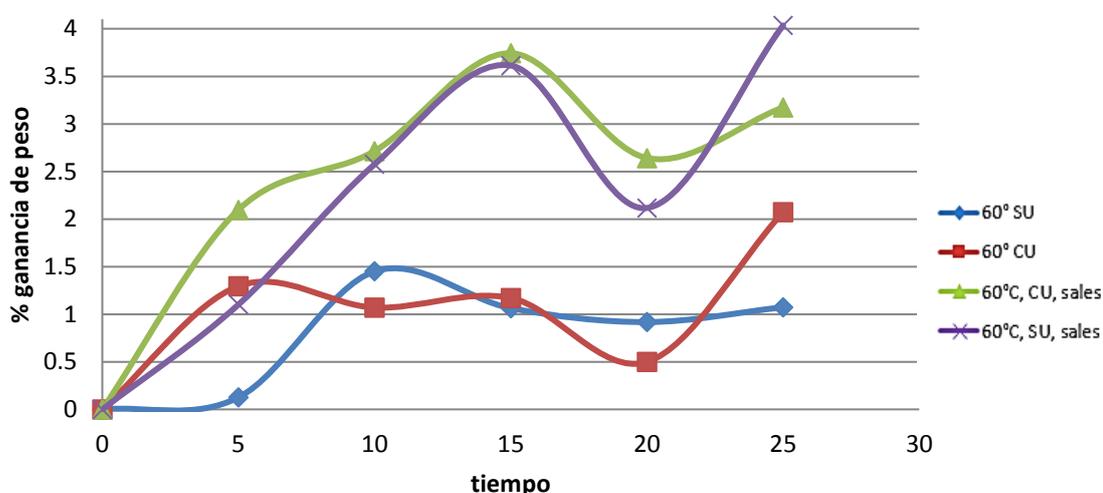


Figura 14. Ganancia de peso de Agua durante rehidratación (SU; Sin Ultrasonido, CU; Con Ultrasonido)



La transferencia de materia en la deshidratación osmótica y también presente en la rehidratación está determinada por gradientes de presión, así como flujos hidrodinámicos (Schmidt, Carciofi & Laurindo, 2008), los cuales se ven afectados por el uso de ondas ultrasónicas en frecuencias mayores a 20 kHz, aunado a otros factores, tales como la temperatura, pH y microestructura muscular, también puede afectar la ganancia de peso (Barat, Fito & Chiralt, 2011). Por otro lado, puede inferirse que debido a que la carne fue deshidratada a una temperatura de 60-65 °C, este proceso pudo desnaturalizar algunas proteínas presentes en la carne tales como la miosina y parcialmente la actina, mismo que se hizo evidente en la formación de una barrera superficial en la carne rígida, lo que pudo influir en los resultados obtenidos.

En el uso del Us, se puede apreciar que en las corridas en las que fue aplicado, se favoreció la ganancia de peso en %, esto en comparación con el tratamiento en el que sólo fue empleada agua a 60 °C el cual obtuvo un crecimiento de 0.94%. Estos tratamientos en los cuales se usaron ondas de Us resultaron con un aumento de 0.97% en el tratamiento en el que solamente fue utilizado Us y de 1.07% en el tratamiento de sales con Us.

Este aumento en la ganancia de peso, obedece al denominado fenómeno de cavitación provocado por las ondas de Us, que durante el tratamiento produjo burbujas que implotaban cerca de la superficie de la carne generando la formación de *micro-jets* que “impactan” la capa superficial de la muestra (Mason & Lorimer, 2002), esto pudo reblandecer la barrera rígida de la carne que se formó durante el secado y permitir micro inyecciones de agua en la carne. Aunque puede suponerse por el comportamiento de las curvas de rehidratación (ver Figura 14) que tras una exposición prolongada a la temperatura de la solución de 60 °C y a las ondas ultrasónicas, estas provocaron daños en la estructura proteica lo cual se hace evidente en la disminución de la capacidad de rehidratación.

En la Tabla 2 se presentan las velocidades de rehidratación de los tratamientos empleados, en la cual es visible que, al someter la carne a rehidratación con los diferentes tratamientos, la rapidez con la que ésta gana agua varía.

Tabla 2. Velocidad de rehidratación de los diferentes tratamientos (% Ganancia de peso/min.)

tiempo	60° SU	60° CU	60°C, CU, sales	60°C, SU, sales
0	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.025	0.259	0.419	0.220
10	0.265	0.045	0.123	0.295
15	0.077	0.020	0.208	0.205
20	0.029	0.013	0.022	0.029
25	0.031	0.315	0.106	0.384



La absorción de agua durante la operación de rehidratación evidenció velocidades mayores al inicio, para luego disminuir gradualmente hasta el valor de equilibrio (Marín *et al.*, 2006), esto en el caso del tratamiento en el que solo fue utilizada agua destilada, este fenómeno se debe a que todos los espacios inter o intracelulares quedan saturados con agua, lo puede afirmarse debido a que la operación de rehidratación depende de cambios estructurales en los tejidos o células del material alimentario, que se dan durante el secado, misma que ocasiona la contracción y el colapso de estos, reduce la capacidad de absorción de agua e impide de este modo la completa rehidratación (Zambrano, Rodríguez & Álvarez, 2007).

Sin embargo, se denota que las diferentes velocidades obtenidas en los tratamientos en los que fueron aplicados fuerzas impulsoras extra, obedecen directamente a los resultados obtenidos en la Figura 14; ya que es evidente que estas estuvieron influenciadas por los efectos producidos en la estructura proteica, resultantes tanto por la presencia de las sales rehidratantes de fosfato, así como por las ondas ultrasónicas. Se puede notar que en estos tratamientos la tendencia es ascendente, sin embargo, existe un efecto de pico – valle en las curvas resultantes, en donde la velocidad tiende a disminuir, esto está relacionado con lo que reporta Lewicky (1988), quien expone que durante la rehidratación se presenta un fenómeno de lixiviación de solutos el cual deriva en una disminución de este parámetro, que unido al hecho del reacomodo de la estructura proteica en busca de una mayor estabilidad, dan como resultado la variación resultante de aumento - disminución - aumento (Cheng & Sun, 2008).

Por otro lado, se puede apreciar que al minuto 15 es donde más ganancia existe, ya que es en este tiempo en el que el comportamiento de la mayoría de las curvas registra un ascenso en la ganancia de peso; esto bien puede interpretarse a que en este punto las fibras de la carne que son bombardeadas por las ondas ultrasónicas y así mismo se repelen entre sí, gracias al efecto de los fosfatos y a los iones Cl^- que llegan a una saturación, misma que les impide seguir captando agua, es decir, llegan a un micro equilibrio osmótico con los sólidos propios de la carne y con los presentes en el medio de rehidratación. Sin embargo, aunque los tratamientos en el que se empleó Us registran ganancia a los 25 minutos, esto pudo deberse a una mayor intensidad en las ondas que impactaban sobre la carne ya que al retirar la mayoría de los contenedores, el área de contacto de las ondas con las muestras era mucho mayor, y para el caso en el que se emplearon solamente sales sin Us, esta ganancia pudo deberse a que sin el daño en la estructura proteica, provocado por las ondas ultrasónicas, el efecto secuestrante del $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ y NaCl favoreció la captación de agua debido al efecto esponja.



3.4 Capacidad de Retención de Agua (CRA)

En la tabla 3 se puede observar que con la aplicación de los 4 tratamientos de rehidratación se favorece la CRA, siendo también perceptible un aumento en los tratamientos en los que se empleó el Us, debido a que el uso de esta tecnología conlleva a la ruptura del complejo acto-miosina que se podría reflejar en propiedades tales como la terneza y cohesividad (Jayasooria *et al.*, 2004). Ya que, al estar expuestos los grupos de proteínas, aumenta la capacidad de interacción con el agua que migra hacia el interior de la carne, aunado a ellos, la formación de radicales libres por el efecto de la cavitación permitió el aumento de la formación de enlaces iónicos (Paz, 2015).

El aumento también puede ser resultado de la desintegración de las líneas Z, ya que esto provoca cambios en la permeabilidad de las membranas, mismo que permite una mayor difusión (Hamm, 1986), lo cual ocurrió con el empleo del Us, esto debido a que al darse una mayor penetración de solutos ocurre una redistribución iónica, lo que resulta en un incremento de los puentes de hidrogeno, así mismo debido al efecto de hinchazón - contracción mencionado con anterioridad y al desdoblamiento de la actina y la miosina, se da una reducción de la distancia entre cadenas proteicas.

Tabla 3. Promedios de CRA en los distintos tratamientos

Tiempo (min)	60° SU	60° CU	60°C, CU, sales	60°C, SU, sales
5	0.86	1	0.99	0.97
10	0.97	0.99	0.99	0.88
15	0.96	0.99	0.99	0.99
20	0.98	0.96	1	0.99
25	0.92	0.92	0.96	0.98

(SU; Sin Ultrasonido, CU; Con Ultrasonido)

Es de destacarse que los tratamientos aplicados a las muestras deshidratadas le confirieron una capacidad de retención de agua mayor a la que tiene la carne fresca ya que ésta resultó ser de 83%. También hubo un aumento pronunciado en los tratamientos en los que se emplearon soluciones de $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ y NaCl ; este crecimiento obedece a lo antes expuesto, el empleo de estas sales favorece la CRA debido a que pueden separar el complejo acto-miosina y así maximizar la solubilidad de las proteínas miofibrilares lo que resulta en este mayor efecto de retención (Knipe. 2004).

Bombrun *et al.*, (2015) destacan que en los tratamientos en los que existe un sistema osmótico como la rehidratación con sales, estos provocan efecto dentro de la membrana celular de la carne, por lo que existen cambios en la permeabilidad, lo que beneficia la movilidad molecular permitiendo así una mayor entrada de iones que a su vez aumentan las fuerzas electrostáticas,



permitiendo la formación de enlaces iónicos con el agua que se encuentra inmóvil dentro de las fibrillas. Esto es retomado por Xiong *et al.*, (2000), quienes afirman que un aumento en la unión de las moléculas de agua dentro de las fibrillas musculares por efecto de los solutos, causan una mayor contracción y expansión de las mismas por lo que la captación y retención de agua se incrementa.

Si bien es cierto que con el empleo del Us hay un aumento en la CRA también es evidente que después del minuto 15 y hasta el minuto 25 la tendencia de este parámetro comienza a descender, esto debido a que por un lado el Us favorece el aumento de esta propiedad, sin embargo la temperatura de la solución también tiene efecto en ella, ya que durante una mayor exposición a la solución con alta temperatura las proteínas comienzan a desnaturalizarse, lo que evita la captación e interacción con el agua de la solución, resultando en un descenso en los valores de la misma (Clemente, 2003).

3.5 Actividad de Agua (a_w)

En la Tabla 4 se puede observar que los tratamientos con agua muestran un aumento máximo de 0.21 a_w con respecto a la muestra deshidratada, ya que la solución hidratante se trabajó a una temperatura de 60°C lo que facilita la transferencia de masa debido al gradiente de concentración y temperatura y así mismo por efecto de la contra-difusión equimolar, pero sin la presencia de iones en el medio rehidratante, mismos que provocarían cambios en las cargas electrostáticas de las proteínas, esta agua difícilmente pudo ligarse dentro de la carne, y sumado a que no provee ningún soluto que interaccionara con la carne, este parámetro se vio favorecido (Badui, 2006).

Tabla 4. Promedios de a_w en los distintos tratamientos

Tiempo (min)	60° SU	60° CU	60°C, CU, sales	60°C, SU, sales
0	0.7823	0.7823	0.7823	0.7823
5	0.9851	0.9889	0.9794	0.9782
10	0.9856	0.9825	0.9796	0.9843
15	0.9850	0.9893	0.9777	0.9770
20	0.9829	0.9914	0.9786	0.9763
25	0.9855	0.9929	0.9830	0.9804

(SU; Sin Ultrasonido, CU; Con Ultrasonido)

Esto queda demostrado en el tratamiento en el que se empleó agua- Us, en el que las ondas ultrasónicas produjeron *micro* inyecciones de agua dentro de las muestras, pues el empleo de ondas sónicas provoca un aumento en la permeabilidad de las membranas (Hamm, 1986), pero una exposición prolongada a las mismas puede reducir la CRA debido a los efectos en la estructura de la carne (Siró *et al.*, 2009). Es por ello que se puede asumir que solamente una parte de esta agua introducida pudo formar enlaces para quedar



ligada dentro de las fibras o con las mismas proteínas, lo que resultó en un elevado porcentaje de agua sin interactuar lo que se refleja en el aumento de este parámetro, mismo que tiene relación con la disminución en la CRA de estos mismos tratamientos.

En el caso puntual de las muestras rehidratadas con $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ y NaCl , los valores de a_w son menores en comparación con las muestras rehidratadas solo con agua destilada, ya que estos solutos empleados se caracterizan por la capacidad que tienen en la reducción del agua libre. Esto obedece al efecto que tienen los fosfatos y los iones de la sal de aumentar las cargas electrostáticas dentro de la carne lo que provoca desdoblamiento de proteínas (Knipe, 2004), permitiendo al agua formar un mayor número de enlaces de tipo iónico y quedar ligada más fuertemente; es así que con la adición de sales existe una disminución de agua libre dentro de la muestra lo que se refleja en el comportamiento de estos tratamientos.

Con respecto al Us se denota un ligero aumento de a_w en las muestras que lo tuvieron presente durante su rehidratación en comparación con las que no se empleó; así mismo se registra un ligero aumento en los tiempos 15, 20 y 25 min, esto debido al efecto descrito anteriormente de la intensidad de la onda sónica, misma que aumento la fuerza del *micro jet* y puede suponerse que modificó la estructura proteica de la carne (Delgado. 2011); sin embargo, el tratamiento en el que se emplearon Us y sales resultó más favorecido comparándolo con los tratamientos restantes, debido a que al tener una doble fuerza impulsora provocó una mayor penetración de las sales en la carne, esto sumado a la formación de radicales resultó en un aumento de interacciones lo que tiene una relación directa con la capacidad de retener agua obtenido en las muestras rehidratadas con estas condiciones (Jayasooria *et al.*, 2004).

3.6 % de Humedad

En la Figura 15 se puede apreciar que el contenido de humedad tiende a aumentar en las muestras que fueron rehidratadas con $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ y NaCl , especialmente en el tratamiento en el que no fue utilizado Us, pues este presenta una tendencia de crecimiento en la humedad de 11.59%, este comportamiento se encuentra relacionado con los resultados obtenidos en la ganancia de peso, pues son estas mismas muestras las que presentan un aumento en la captación de agua, estos valores también se correlacionan con la CRA, pues es aquí en donde puede inferirse que el agua que pudo formar enlaces más fuertes, derivando en el incremento de la humedad total de las muestras (Jayasooria *et al.*, 2004), ya que por el efecto de las sales al aumentar las fuerzas electrostáticas y dar paso a la repulsión de cargas en las proteínas de las fibras de la carne, se presentó un mayor número de espacios intracelulares lo que permitió el incremento de humedad (Knipe, 2004).

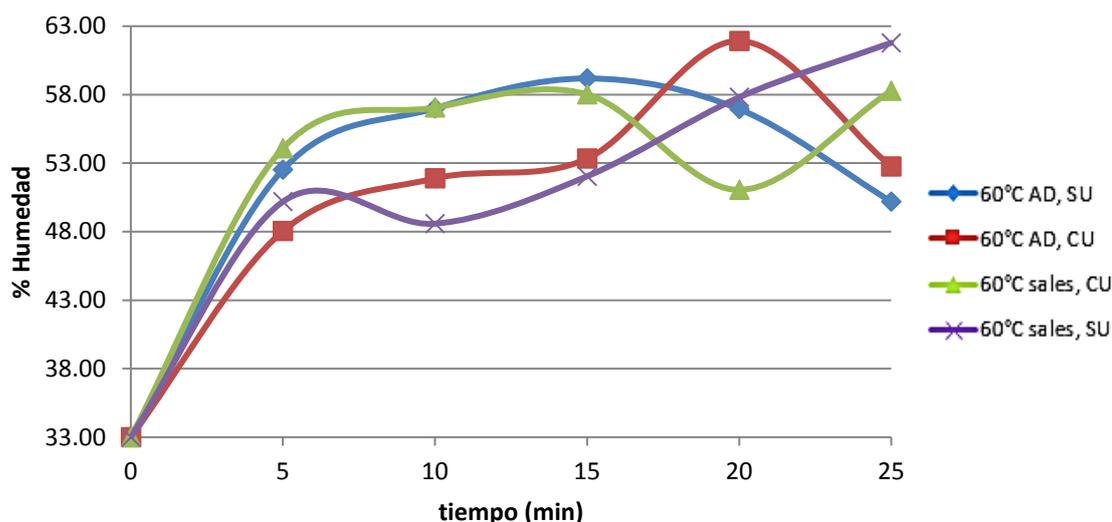


Figura 15. Promedios de porcentaje de Humedad en los distintos tratamientos

(SU; Sin Ultrasonido, CU; Con Ultrasonido)

Para las muestras en cuyo caso se utilizó Us, ambas presentaron un aumento continuo en el porcentaje de humedad, teniendo como resultado cada una 4.71% con Us, 4.19% con Us y sales. Lo que está directamente ligado con los resultados en ganancia de peso, CRA y en una disminución de a_w . Ya que el efecto de las ondas de Us modificó la estructura de las proteínas en proceso de desnaturalización, para captar el agua de la solución y formar enlaces más fuertes con ella, sin embargo, al pasar del minuto 15 la tendencia comienza a variar en ambos casos.

Esto puede deberse al efecto de alta exposición a las ondas ultrasónicas que deterioran la estructura de la carne y en donde la proteína al verse sometida al efecto de cavitación como al efecto electrostático de las cargas iónicas tanto del $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ y NaCl , comienza a buscar su estabilidad y da como resultado variaciones en este tiempo (Paz, 2015). También se puede asumir que la temperatura de las soluciones juega un papel importante, pues si bien, aceleran el proceso de rehidratación, al paso del tiempo estas comienzan a desnaturalizarse, lo que provoca en el caso de los tratamientos sin sales que los enlaces se vuelvan menos estables disminuyendo su ganancia en humedad (Krokida y Mouralis. 2001).

Caso contrario a las muestras que fueron tratadas sólo con agua destilada, pues aquí puede notarse que el agua es absorbida más rápidamente al inicio del proceso y luego disminuye gradualmente teniendo resultando en una humedad de 2.34%, puede suponerse entonces que esta disminución es debido a que la mayoría de los espacios inter o intracelulares llegaron a una saturación parcial y por lo tanto no pueden seguir teniendo una mayor captación de humedad (Lewicki, 1998).



A partir de lo anterior se puede afirmar que el empleo $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ y NaCl , así como Us favorece el aumento en el porcentaje de humedad 4.19% en el caso de las muestras en las que se empleó sales y Us y de 11.59% en las muestras en las que se empleo solamente las sales rehidratantes, esto debido a los cambios en la estructura proteica que resultan del efecto de cavitación ocasionado por las ondas ultrasónicas y así mismo a la fuerte interacción de los iones propios de las sales, lo que le confiere un efecto de retención de agua en las proteínas, lo cual se ve reflejado en el aumento de este parámetro.



Conclusiones

Se obtuvo que la carne fresca que ha pasado por un proceso previo de deshidratación en un secador por convección perdió en promedio el 40% de su peso neto, siendo evidente que la carne sufrió trastornos a nivel estructural visibles en las deformidades de las muestras al término del secado

En relación al objetivo 1, se determinó que el empleo de Us y sales rehidratantes de fosfato favoreció la ganancia de peso, sin embargo, el aumento obtenido durante la rehidratación fue del 6 ± 1.2134 %, esto derivado de la formación de una barrera física externa, por lo que es preciso señalar que se trató de una rehidratación parcial de la carne, sumado a ello se pudo observar que el empleo de estos dos tratamientos resultó en un incremento de la CRA en comparación con el tratamiento en el que solo fue empleada agua destilada, esto siempre y cuando el tiempo de rehidratación no sobrepase los 20 min, ya que, por efecto de la temperatura y la exposición a las ondas ultrasónicas, se puede inferir que las estructuras proteicas comienzan a presentar daños, lo que influye en la disminución de estos parámetros.

En los resultados relacionados con el objetivo 2, se determinó comparando los 4 diferentes tratamientos, que el empleo de $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ y NaCl aumentan la ganancia de peso, así como la CRA y el porcentaje de humedad, así mismo favorece la disminución del parámetro de a_w , comparado con los tratamientos en los que solo se utilizó agua destilada; se recomienda el empleo de $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ y NaCl en complemento de Us en el proceso de rehidratación de carne, pues es aquí en donde la ganancia de peso con respecto al tiempo se comporta de manera más uniforme siempre y cuando el tiempo de rehidratación no exceda los 20 min, ya que pasado este tiempo de proceso la carne comienza a sufrir daños visibles en la estructura, lo que resulta en un efecto de disminución en la mayoría de los parámetros antes analizados.

Basado en los análisis correspondientes y en los objetivos planteados, se concluye que el tratamiento que mejores resultados ofrece en la rehidratación parcial de carne deshidratada es en el cual se emplean sales rehidratantes en conjunto al uso de Us durante el proceso a una temperatura de 60°C , en un tiempo no mayor a 15 minutos. Esto por los beneficios en las propiedades evaluadas en este trabajo.



Referencias Bibliográficas

- Aberle, E., & Forrest, J. (2001). Fundamentos de la ciencia de la carne. España. Ed. Acribia.
- Acuña, F. (2006). Química Orgánica. Costa Rica: EUNED.
- Aguilera J.M., Chiralt A., Fito P. (2003). Food Dehydration and product structure. Food Science and Technology; 14: 432-437.
- Aguilera J.M. Stanley D.W. (2001). Simultaneous Heat and Mass Transfer: Dehydration. Microstructural Principles Food Process Engineering; 9: 373-407.
- Androit I., & Le Quére J.L. (2004). Interactions between coffee melanoidins and flavor compounds impact of freeze-drying (method and time) and roasting degree of coffee on melanoidins retention capacity. Food Chemistry. 85, 289-294.
- Armeling, C. (2001). Tecnología de la carne: Antología. Costa Rica: EUNED.
- Arrondo, J., & Goñi, F. (1998). Infrared studies of protein-induced perturbation of lipids in lipoproteins and membranes. Chemistry and Physics of Lipids, 96, 53-68.
- Badui, S. (2006). Química de los alimentos. 4ta ed. México. Ed. Pearson Education.
- Barat, J., Fito, P., & Chiralt, A. (2001). Modeling of simultaneous mass transfer and structural changes in fruit tissues. Journal of Food Engineering, 49, 77-85.
- Bolaños, N., Lutz, G., & Herrera, C. (2003). Química de Alimentos; Manual de laboratorio. Costa Rica. Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Bombrun, L., Gatelier, P., Portanguen, S., & Kondjoyan, A. (2015). Analysis of the juice and water losses in salted and unsalted pork samples heated in water bath. Consequences for the prediction of weight loss by transfer models. Meat Science, 99, 113-122.



- Bruton, N., Lying, J., Zhang, L., & Jacquier, J. (2006). The use of dielectric properties and other physical analyses for assessing protein denaturation in beef Biceps femoris muscle during cooking from 5 to 85°C. *Meat Science* S72, 236-244.
- Cárcel, J., Benedito, J., Bon, J., & Mulet, A. (2007). High intensity ultrasound effects in meat brining. *Meat Science*, 76, 611-619.
- Chávez S.A. (2008). Desarrollo y evaluación del contenido nutrimental de sopas instantáneas tipo crema a base de deshidratados naturales. México: Tesis de Licenciatura. Química en alimentos. Facultad de Química. U.N.A.M.
- Chemat, F., Zill, E., & Muhammed, K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18, 813835.
- Cheftel, J., Cheftel, H., Pierre, B. (1976). Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. España. Ed. Acribia Pp 65-72.
- Clemente, P., G. (2003). Efecto de la contracción den la cinética de secado de músculos de jamón. España. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Coria, J. (2011). Evaluación del efecto de la liofilización-hidratación en las proteínas Miofibrilares en carne de cerdo fresca y cocida. México: Tesis de licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. U.N.A.M.
- Delgado, J. (2011). Aplicación del Ultrasonido en la industria de los Alimentos. Colombia. Escuela Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería, Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD. 6, 142-152.
- Dolota, W., Piotrowska, E., Wajdzik, J., & Tritt-Goc, J. (2004). The use of the MRI technique in the evaluation on water distribution in tumbled porcine muscle. *Meat Science*, 67, 25-35.



- Dorado, E. (2011). Acondicionamiento de la carne para su comercialización. España: Ed. Innovación y Cualificación.
- Downing, D. (1989). Processed apple products. E.U.A. Ed. Softcover.
- FAO: Producción y sanidad animal. Composición de la carne;
http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/backgr_composition.html
[visto/31/Jlio2017].
- FIRA: Panorama Agroalimentario. Carne de cerdo 2017; (<http://www.fira.gob.mx/pdfs/Panorama/Agroalimentario/Carne/de/cerdo.pdf>
[Recuperado: 31/Julio/2017]).
- Fito, P.M., Andres, A. G., Barat, J. B., Alborns, A. S. (2016). Introducción al secado de alimentos por aire caliente Editorial Universidad Politécnica de Valencia. España.
- Floros, J., & Liang, H. (1994). Acoustically assisted diffusion through membranes and biomaterials. *Food Technology*, 12, 79-84.
- Gallego-Juarez, J., Rodriguez. Corral, G., Galvez-Moraleda, J., & Yang, T. (1999). A new high-intensity ultrasonic technology for food dehydration. *Drying Technology*, 17, 597-608.
- Geankopolis, J. (2004). Procesos de Transporte y operaciones unitarias. Continental. México.
- Gekas, V. (2001). Mass transfer modeling. *Journal of Food Engineering*, 49, 97-102.
- Gerelt, B., Ikeuchi, Y., Nishiumi, T., & Suzuki, A. (2002). Meat tenderization by calcium chloride after osmotic dehydration. *Meat Science*, 60, 237-244.
- Girard, J.P. (1991). Tecnología de la carne y productos cárnicos. Ed. Acribia: Zaragoza España.
- Graiver, N., Pinotti, A., Califano, A., & Zaritzky, N. (2006). Diffusion of sodium chloride in pork tissue. *Journal of Food Engineering*, 77, 910-918.



- Hamm, R. (1986). Functional properties of the myofibrillar system and their measurements, in *Muscle as a Food* (Ed. P.J. Bechtel), Academic Press, Orlando, p. 164-172.
- Haydock, D., & Yeomans, J. (2003). Acoustic enhancement of diffusion in a porous material. *Ultrasonics*, 41, 531-538.
- Herrero A.M. & Romero de Ávila M.D. (2006). Innovaciones en el procesado de Alimentos: Tecnologías no térmicas *Revista Médica Universitaria de Navarra* 50(4): 71-74.
- Hogekamp S. Schubert H. (2003). Rehydration of food powders, *J Food Science and Technol Internat*; 9 (3): 223-235.
- Jayasooriya, S., Bhandari, B., Torley, P., & D'Arcy, B. (2004). Effect of high-power ultrasound wave son properties of meat: a review. *International Journal of Food Properties*, 7, 301-319.
- Knipe, L. (2004). *Use of Phosphates in Meat Products*. Ohio State University.
- Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V., & Lee, D. (2004). Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends in Food Science and Technology*, 15, 261-266.
- Krokida M.K. & Maroulis Z.B. (2001). Structural properties of dehydrated products during rehydration, *International Journal of Food Science Technology*; 36:529-538.
- Leighton, T. (1998). The principles of cavitation. *Ultrasound in Food Processing*, 151182.
- Leighton, T. (2007). What is ultrasound? *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 93, 3-83.
- Lewicki P. P. (1998). Effect of pre-drying treatment, drying and rehydration on plant tissue properties: a review, *International Journal of Food Properties*; 1: 1-22.



- Lewicki P. P. (1998). Some remarks on rehydration of dried foods. *Journal of Food Engineering*, 36, 81-87.
- Marín, B., Lemus, M., Flores, M. & Vega, G. (2006). La rehidratación de alimentos deshidratados. *Revista Chilena de Nutrición*, 33(3), 1-13.
- Mason, T., & Lorimer, J. (2002). *Applied Sonochemistry. The Uses of Power Ultrasound in Chemistry and Processing*. Weinheim, Wiley-VCH.
- Mayor, L.; Sereno, A. M. (2004). Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. *Journal of Food Engineering*, 61 (3), 373 – 386.
- Mc Clements, D. (1995). Advances in the application of ultrasound in food analysis and processing. *Trends in Food Science & Technology*, 6, 293-299.
- McMinn, W. A. M.; Magee, T. R. A. (1997b). Physical characteristics of dehydrated products. Part I. *Journal of Food Engineering*, 33(1 -2), 37 - 48
- Monge, J. (2005). *Producción porcina*. Costa Rica: EUNED.
- Morales, M.J. (1988). *Extracción, esterilización y liofilización de leche materna Humana*. México: Tesis de Licenciatura. Químico Farmacéutico Biólogo. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. U.N.A.M.
- Moreno, B. (2006). *Higiene e inspección de carnes-I*. España. Ed. Acribia
- Morrissey, P., Mulvihill, D., & Neill, E. (1987). Functional properties of muscle Proteins. *Developments in Food Proteins*, 195-256.
- Mulet, A., Berna, A., Borrás, M., & Piñaga, F. (1987). Effect of air flow rate on carrot drying. *Drying Technology*, 5(2), 245 – 258.
- Mulet, A., Cárcel, J., San Juan, N., & Bon, J. (2003). New food drying technologies. Use of ultrasound. *Food Science and Technology International*, 9, 215-221.



- Muralidhara, H., Ensminger, D., & Putnam, A. (1985). Acoustic dewatering and drying (low and high frequency): State of the art review. *Drying Technology*, 3, 529-566.
- Naumann, H., McBee, J., & Brady, D. (1957). Color stability of frozen beef as influences by illumination, temperature and storage. *Food Technology*, 11, 31-37.
- Nelson, D., & Cox, M. (2010). *Lehninger: Principles of Biochemistry* (Quinta ed.). New York: Freeman.
- Nollet, L. M. L., & Toldra, F. (2009). *Handbook of muscles foods analysis*. USA: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Normas Mexicanas. NMX-F-544-1992. Alimentos. Método de prueba para la determinación de humedad en productos cárnicos. Foods. Test method for moisture determination in meat products. (s.f.).
- Offer, G., & Trinick, J. (1983). On the mechanism of water holding in meat: The Swelling and shrinking of myofibrils. *Meat Science*, 8, 245-281.
- Ozuna C., Puig, A., Garcia-Perez, Mulet, A., & Cárcel, J. (2013). Influence of high intensity ultrasound application on mass transport, microstructure and textural properties of pork meat (*Longissimus dorsi*) brined at different NaCl concentrations. *Journal of Food Engineering*, 119, 84-93.
- Paz, M. (2015). *Uso de ultrasonido como pretratamiento en la deshidratación osmótica de carne de cerdo Longissimus thoracis*. México. Tesis de Literatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, U.N.A.M.
- Pearce, K., Rosenvold, K., Andersen, H., & Hopkins, D. (2011). Water distribution and mobility in meat during the conversion of muscle to meat and ageing and the impacts on fresh meat quality attributes – A review. *Meat Science*, 89, 111-124.



- Peralta, A. & Bello, J. (1996). Estudio de la deshidratación de carne de res en un secador de charolas para la obtención de un producto tipo Machaca. México. Tesis de Licenciatura. Ingeniería en Alimentos. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, U.N.A.M.
- Rastogi N. K., Nayak C.A., & Raghavarao M.S. (2004). Influence of osmotic pre-treatments on rehydration characteristics of carrots, *Journal of Food Engineering*; 65: 287-292.
- Reynolds, J., Anderson, D., Schmith, G., Theno, D., & Siegel, D. (1978). Effects of ultrasonic treatment on binding strength in cured ham rolls. *Journal of Food Science*, 43, 866-869.
- Ros B.G., Periago C. M. J., & Martínez G. C. (1999). *Bromatología e inspección veterinaria de los alimentos*. España: ICE-Universidad de Murcia
- SAGARPA. Diario Oficial de la Federación: NOM-009-ZOO-1994. Proceso sanitario de la carne. 31 de Julio de 2007.
- San Juan N. Andrés J. Clemente G. & Mulet A. (2001). Modeling of the Rehydration process of broccoli florets, *European Food Research and Technology*: 449-453.
- Schmidt, G., Carciofi, B., & Laurindo, J. (2008). Salting operational diagrams for chicken breast cuts: Hydration-dehydration. *Journal of Food Engineering*, 88. 36-44.
- Slideshare: Miología. Sistema musculo-esquelético; (<https://es.slideshare.net/anatomiaipege/miologia>) [Recuperado: 28/Julio/2017].
- Siró, I., Vén, C., Balla, C., Jonás, G., Zeke, I., & Friedrich, L. (2009). Application of an ultrasonic assisted curing technique for improving the diffusion of sodium chloride in porcine meat. *Journal of Food Engineering*, 91, 353-362.



- Soria, A., & Villamiel, M. (2010). Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 21, 323-33.
- Thorvaldsson k., & Skjöldebrand C. (1995). Water transport in meat during rehydrating. *Journal of Food Engineering*. 29, 13-21.
- Valiente, A. (2012). *La operación unitaria del secado*. México. Editorial Académica Española.
- Vega A. (2003). Estudio de la deshidratación y rehidratación del pimiento rojo (*Capsicum Annuum L.*) var. Lamuyo. (Tesis Doctoral) Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidad Politécnica de Valencia (UPV), España.
- Uengkimbuan, N., Soponronnarit, S., Prachayawarakorn S., & Nathkaranakule A. (2016). A Comparative Study of Pork Drying Using Superheated Steam and Hot Air. *Drying Technology*, 24: 1665–1672.
- Xiong, Y., Lou, X., Harmon, R., Wang, C., & Moody, W. (2000). Salt and pyrophosphate-induced structural changes in myofibrils from chicken red and white muscle. *Journal of Science and Food agriculture*, 80, 1179-1182.
- Zambrano, M.; Rodríguez, D. & Álvarez, A. (2007). Estudio Cinético y de Superficie de Respuesta para la Rehidratación de Zanahorias (*Daucus carota*) liofilizadas. *Información Tecnológica*, 18(4), 47-56.