Revisión de Literatura: Importancia del licopeno, métodos de extracción y propuesta para la adición de tomate en polvo en jamón Virginia

Carlos Vladimir Tigcilema Toca

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras

Noviembre, 2020

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

Revisión de Literatura: Importancia del licopeno, métodos de extracción y propuesta para la adición de tomate en polvo en jamón Virginia

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero en Agroindustria Alimentaria en el
Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Carlos Vladimir Tigcilema Toca

Zamorano, Honduras
Noviembre, 2020

Revisión de Literatura: Importancia del licopeno, métodos de extracción y propuesta para la adición de tomate en polvo en jamón Virginia

Carlos Vladimir Tigcilema Toca

Resumen. El uso de aditivos naturales por parte de la industria cárnica está en crecimiento; un ejemplo es el uso de tomate que aporta beneficios a la industria y al consumidor. Los objetivos de esta revisión bibliográfica fueron describir los beneficios del licopeno en la salud e industria cárnica, determinar los métodos de su extracción y proponer el uso de tomate en polvo en productos cárnicos Zamorano. Se realizó una búsqueda de información científica, entrevistas y comunicaciones con responsables de la producción de tomate, planta de cárnicos y del laboratorio de análisis de alimentos en Zamorano. El licopeno es un carotenoide presente en el tomate que ayuda a reducir el estrés oxidativo de las células previniendo de esta forma varias enfermedades crónicas como el cáncer. Su uso en la industria cárnica refleja beneficios en la reducción lipídica, mejoramiento de color y aumento de la vida útil en sus productos. Se describen los principales métodos de extracción de licopeno a partir de disolventes orgánicos, fluidos supercríticos, métodos como microondas y ultrasonido. Los desechos de la producción de tomate en Zamorano no son aprovechados. Al añadir tomate en polvo productos cárnicos Zamorano, se aprovecharían las propiedades antioxidantes y nutricionales del licopeno. Se propone la cantidad a añadir de tomate en polvo aplicable al jamón Virginia, costo del tomate en polvo, y los análisis fisicoquímicos y microbiológicos que se deben realizar al producto final.

Palabras clave: Aditivo, carotenoide, fluidos supercríticos, reducción lipídica.

Abstract. The use of natural additives by the meat industry is growing; an example is the use of tomato that brings benefits to the industry and the consumer. The objectives of this bibliographic review were to describe the benefits of lycopene in health and in the meat industry, to determine the methods of its extraction and propose the use of tomato powder in Zamorano meat products. A search was carried out for scientific information, interviews, and communications with those responsible for the tomato production, for the meat plant and the food analysis laboratory in Zamorano. Lycopene is a carotenoid present in tomatoes that helps to reduce oxidative stress in cells, thus, preventing various chronic diseases such as cancer. Its use in the meat industry reflects benefits in lipid reduction, color improvement and increased shelf life of its products. The main methods for extracting lycopene from organic solvents, supercritical fluids, and methods such as microwaves and ultrasound are described. The waste of tomato production in Zamorano is not used. By adding tomato powder to Zamorano meat products, the antioxidant and nutritional properties of lycopene would be used. The amount of tomato powder to be added applicable to Virginia ham, the cost of the tomato powder, and the physicochemical and microbiological analyzes that must be performed on the final product are proposed.

Key words: Additive, carotenoid, lipid reduction, supercritical fluids

ÍNDICE GENERAL

Portadilla i
Página de firmas ii
Resumen iii
Contenido iv
Índice de Cuadros, Figuras y Anexos v

1. INTRODUCCIÓN 1

2. METODOLOGÍA 3

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 4

4. CONCLUSIONES 28

5. RECOMENDACIONES 29

6. LITERATURA CITADA 30

7. ANEXOS 35

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadros Página

1. Rendimiento de diferentes variedades de tomate para obtener un kilo de tomate deshidratado..... 6
2. Contenido de licopeno en diferentes variedades de tomate 7
3. Contenido de licopeno en diferentes variedades de tomate fresco y deshidratado. 7
4. Contenido de licopeno en diversas fuentes alimenticias 8
5. Usos actuales y MPL del licopeno (E 160d) en los alimentos de acuerdo con el anexo II del Reglamento (CE) no 1333/2008 10
6. Nivel máximo permitido de carotenoides. 10
7. Resumen de los principales métodos de extracción de carotenoides. 12
8. Cambios fisicoquímicos y microbiológicos en las salchichas de cerdo con bajo contenido de grasa con tomate en polvo durante el almacenamiento refrigerado….. 16
9. Ejemplos de productos cárnicos reformulados con subproductos del tomate..... 20
10. Producción de tomate en libras de los últimos cinco años. 21
11. Cantidad de desechos de tomate en libras. 21
12. Producción, costos y precios de jamón en el mes de agosto del 2020. 24
13. Cantidad de carotenoides obtenida en un año a partir de desechos de tomate. 24
14. Cantidad de carotenoides a usar en jamón Virginia en un año de producción..... 24
15. Criterios microbiológicos de frutas y vegetales deshidratados. 25
16. Costo por 1 kg de tomate en polvo..... 25
17. Costo de análisis de fisicoquímicos y microbiológicos de jamón con tomate en polvo. 27

Figuras Página

1. Flujo de proceso para obtener licopeno seco 22
2. Flujo de proceso para obtener licopeno encapsulado 22

Anexos Página

1. Estructura y denominación de los principales carotenoides. 35
2. Imágenes microscópicas de células en el tomate(izquierda) y en el zumo de tomate (derecha)..... 35
3. Condiciones de extracción y disolventes orgánicos..... 36
4. Entrevista al Dr. Luis Maldonado, responsable del Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ)..... 37
5. Entrevista a la Dra. Acosta responsable de la planta de cárnicos de Zamorano 38
6. Diagrama de flujo de proceso Jamón Virginia 39

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años las nuevas tendencias de consumo de alimentos han generado un importante cambio en la industria cárnica. Entre estas tendencias se encuentran, consumidores más informados, los cuales exigen un alto nivel de información sobre trazabilidad (trazabilidad de los procesos), productos saludables y con un alto valor nutricional. Las industrias alimenticias están innovando sus productos, haciendo de estos más naturales y a la vez aumentando sus propiedades nutricionales, en favor del bienestar de la salud de los consumidores (González *et al.* 2014).

La carne y sus productos derivados tienen una gran acogida en la mayoría de los hogares, representando uno de los alimentos más demandados en América Latina. El sector cárnico se ha envuelto en la preocupación por la calidad y garantía que otorgan los productos al consumidor. También existe una preocupación por los daños que estos pueden tener en la salud de los consumidores. Por lo tanto, la demanda repercute en los beneficios que puedan otorgar con sus productos (Martín 2007).

Para cumplir con las exigencias del mercado, la industria cárnica inició el desarrollo de productos funcionales, que ayuden al consumidor a prevenir o reducir la incidencia de enfermedades crónicas. La adición de proteínas, fibra, vitaminas, entre otros compuestos extraídos de frutas y vegetales, mejoran la calidad nutricional del producto. De esta forma se espera mejorar la dieta alimenticia del consumidor, con la finalidad de aumentar su esperanza de vida (González *et al.* 2014).

El cultivo de tomate es uno de los más importantes en el mundo. El tomate y los alimentos a base de tomate son alimentos saludables, esto se debe a que presentan un bajo nivel calórico y grasa, además de estar libres de colesterol y ser buena fuente de fibra y proteínas (Waliszawski *et al.* 2010). El tomate generalmente representa una fuente de compuestos bioactivos que benefician a la salud humana, por lo que su contribución a la dieta es de suma importancia (Viera *et al.* 2018).

El consumo de tomate reduce el riesgo de sufrir enfermedades como el cáncer, osteoporosis y enfermedades cardiovasculares. Se cree que compuestos como el licopeno y bioflavonoides son los responsables de actuar como agentes anticancerígenos. Entre las formas de obtener estos compuestos, no solo está en el tomate como producto crudo, sino también derivados del tomate como son los productos cocidos o procesados (Bhowmik 2012).

La medicina en la actualidad tiene un enfoque en la prevención de enfermedades crónicas, ya que estas representan la principal causa de muerte a nivel mundial. El mantener un estilo de vida saludable, basado en el deporte y consumo de alimentos saludables permite un aumento en la esperanza de vida. El consumo de frutas y verduras forman parte de una dieta nutricional que funciona en la prevención de enfermedades y conservación de la salud (Moritz y Cardoso 2006).

Mediante estudios epidemiológicos se han evidenciado los beneficios para la salud derivados de los carotenoides y especialmente el licopeno, que es el carotenoide más importante en la nutrición y salud humana (Domínguez *et al.* 2020). A este respecto, se informó que los compuestos bioactivos derivados del tomate y sus derivados tienen propiedades

antiinflamatorias, antialérgicas, antimicrobianas, vasodilatadoras, antitrombóticas, cardioprotectores y, obviamente, antioxidantes y colorantes (Bhat 2020).

El licopeno es el carotenoide más abundante en el tomate y los productos derivados del tomate y es responsable de su color rojo. Además, los tomates también contienen antocianinas, ácido ascórbico y compuestos fenólicos, que tienen una alta actividad antioxidante en humanos. El licopeno es el antioxidante más importante de todos los carotenoides, y está involucrado en la creación de una barrera antioxidante en el cuerpo humano (Kim y Chin 2016).

La adición de licopeno a base de tomate en productos cárnicos contribuye con beneficios para la salud humana. La presencia de tomate en polvo en productos cárnicos reduce la oxidación lipídica, a la vez aumenta el enrojecimiento del producto. Al agregar tomate en polvo en productos cárnicos, se obtiene una fuente de licopeno que interactúa como aditivo funcional en la dieta humana. El producto resultante obtiene un color rojizo que mejora la atracción de parte del consumidor (Kim *et al.* 2011).

En Zamorano, existe una gran producción de frutas y vegetales, las cuales no todas son aprovechadas al cien por ciento. Muchas de estas son desperdiciadas ya sea por la falta de mercado o porque su vida útil es muy corta. El tomate es una de las hortalizas de mayor producción en este lugar y no es aprovechada completamente. Por lo que puede ser aprovechado y así obtener beneficios del mismo.

La adición de tomate en polvo en productos cárnicos es una de las alternativas más favorables para reducir los desechos de este producto, además de brindar una fuente nutricional al producto cárnico. El licopeno presente en el tomate puede actuar como un agente antioxidante, haciendo que las grasas del producto cárnico retarden su proceso de rancidez, esto a la vez alarga su vida útil. Con la implementación de este producto en el mercado se suple la tendencia de alimentos funcionales y la vez se aprovecha el uso de los recursos disponibles en Zamorano.

Para fines de la revisión bibliográfica, se determinaron los siguientes objetivos:

- Describir los beneficios del licopeno en la salud humana y en la industria cárnica.
- Definir los principales métodos de extracción de licopeno a partir del tomate.
- Formular una propuesta del uso de tomate en polvo en los productos cárnicos de Zamorano.

2. METODOLOGÍA

Fase I. Búsqueda de información bibliográfica

Para la elaboración de la presente revisión bibliográfica se realizó una búsqueda exhaustiva de información científica publicada en un rango máximo de 10 años, recolectada a partir de fuentes bibliográficas secundarias: libros, estudios de caso, publicaciones. Esta información fue la guía para la redacción y análisis de las propiedades del licopeno en el tomate, sus beneficios para la industria, los principales métodos de extracción de licopeno y los. resultados de investigaciones en la adición de tomate en diferentes productos cárnicos.

Fase II. Análisis de información para la adición de polvo de tomate en los productos cárnicos en Zamorano

Se recopiló información mediante entrevistas y comunicaciones virtuales con los responsables de:

- La producción hortícola con el Dr. Hugo Ramírez y la Ing. Carla Caballero acerca de los desechos de la producción de tomate en Zamorano.

- El LAAZ (Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano) con el Dr. Luis Fernando Maldonado, para determinar los métodos de extracción y cuantificación de licopeno disponibles en Zamorano.

- La Planta de Cárnicos de Zamorano con la Dra. Adela Acosta y la Ing. Mariela Murillo, para determinar su interés por la adición de licopeno en los productos cárnicos de Zamorano.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fase I. Búsqueda de información bibliográfica

Se identificaron 43 referencias bibliográficas, distribuidas en 41 publicaciones científicas con base de datos confiables para la búsqueda de información como: PubMed Science-Direct, Springer, ResearchGate y SciELO y dos páginas de la red: Transparency Market Research e Indiamart. Se abordaron los siguientes temas cuya información más relevante será descrita a continuación:

- Problemas en la industria cárnica.
- Tomate.
- Licopeno y sus beneficios.
- Técnicas de extracción de carotenoides y licopeno.
- Adición de tomate en polvo en productos cárnicos.

Problemas en la industria cárnica

La carne debido a sus componentes biológicos necesita un control óptimo desde el sacrificio del animal hasta su consumo, para tener una larga vida útil. Sin embargo, muchas veces podemos encontrar cambios en su apariencia y aroma, estos cambios se deben a la oxidación de lípidos, mioglobina o el deterioro causado por bacterias (Gallego *et al.* 2020).

Estas reacciones oxidativas disminuyen el valor nutricional de la carne, además de producir compuestos tóxicos que dañan la calidad del producto y afectan a la salud del consumidor. Por estas razones la industria cárnica, implementó el uso de antioxidantes sintéticos en los productos cárnicos (Domínguez *et al.* 2020). Estos mantienen la calidad microbiana y sensorial, sin embargo, algunos de estos aditivos pueden causar daño a la salud.

El nitrito es un aditivo utilizado con el propósito de mejorar la calidad de color y reducir la oxidación en la carne, dando el característico color rojo curado a los productos. Contribuye al desarrollo de sabor, así como a inhibir el crecimiento de microorganismos, controlando el crecimiento de *Clostridium botulinum* (Anton *et al.* 2019). A pesar de ello, estudios han determinado que el nitrito resulta ser un aditivo tóxico. Mientras más alto sea su consumo, existe mayor probabilidad de adquirir diferentes enfermedades crónicas (So *et al.* 2020).

Productos cárnicos, como los embutidos son los más consumidos en todo el mundo, debido a su fácil preparación y al estilo de vida moderno. Pero estos productos convencionales son pobres en algunos compuestos nutricionales. Es por ello que, debido a la demanda de los consumidores por productos cárnicos nutritivos, la industria cárnica ha desarrollado alternativas para satisfacer al consumidor. Entre estas la reducción de aditivos químicos y la implementación de ingredientes naturales (So 2020).

Para la industria cárnica es un desafío identificar aditivos naturales que posean propiedades antimicrobianas y antioxidantes para sus productos. Por lo que, despertó el interés en la utilización de aditivos naturales que aumenten su valor nutricional y a la vez brinden una vida útil más larga (Anton *et al.*2019). Los consumidores buscan alimentos con propiedades antioxidantes, anticancerígenas, antinflamatorias y antidiabéticas, beneficiosas para su salud (Bhat 2020).

La carne fresca es un producto altamente perecedero debido a su composición biológica, y su vida útil depende de las condiciones previas al sacrificio, procesamiento y post procesamiento. Los primeros indicadores de deterioro de la carne para los consumidores son los cambios de apariencia y aroma, principalmente resultantes de los exudados de agua, la pérdida de color debido a la oxidación de la mioglobina, la rancidez causada por la oxidación de lípidos y el deterioro microbiano (Gallego *et al.* 2020).

Bajo la acción del estrés oxidativo y el daño, la calidad de la carne puede reducirse y acortar la vida útil durante los períodos de almacenamiento. La oxidación de lípidos es una de las principales causas del deterioro químico de la carne cruda, lo que resulta en una reducción del atractivo visual, características sensoriales y nutricionales de la carne y los productos cárnicos. Compuestos, como el malondialdehído (MDA), hidroperóxidos de colesterol y radicales peróxidos que son el resultado de la oxidación de lípidos, promueven la decoloración de la carne a través de la oxidación de la mioglobina y tienen un efecto perjudicial sobre la calidad nutricional (Xu 2019).

Tomate

El tomate es uno de los productos agrícolas más importantes en la dieta humana a nivel mundial. Es la fuente de una gran variedad de nutrientes y metabolitos importantes para la salud humana. Los carotenos presentes en el tomate son licopeno, β-caroteno, fitoeno, fitoflueno y luteína. (Jouki *et al.* 2020). Es la fuente más importante de licopeno, entre 80-85% aproximadamente. El consumo de tomate es crudo y procesado, por lo que el aporte de licopeno a la dieta diaria se estima que sea aproximadamente del 30% (1.6 - 5.0 mg) de licopeno (Müller *et al*. 2016).

El tomate generalmente se consume fresco o de forma procesada. Debido a su actividad antioxidante se considera importante en la prevención del cáncer y enfermedades cardiovasculares. Los antioxidantes del tomate, como las vitaminas C y E, los fenólicos, los flavonoides y el licopeno son las principales fuentes que exhiben actividad antioxidante que provienen de los tomates crudos y procesados (Kim *et al.* 2017).

La industria del tomate produce una gran cantidad de subproductos, los cuales no son utilizados y pasan a ser un problema ambiental. Una forma de aprovechar estos recursos es reutilizándolos para formar compuestos bioactivos (carotenoides) que tienen múltiples beneficios en la salud. Estos representan la justificación del interés en extraer carotenoides de los subproductos del tomate (Domínguez *et al.* 2020).

Los tomates son una parte integral de la dieta humana en todo el mundo. Aunque con frecuencia se consumen frescos, más del 80% de los tomates se consumen como productos procesados como jugo de tomate, pasta, puro, kétchup y salsa. El tomate y los productos del tomate son los principales contribuyentes de carotenoides en la dieta humana, especialmente de licopeno (Kim *et al.* 2011).

El tomate tiene la capacidad de mejorar la calidad, la aceptación y el valor de saciedad de las dietas y puede consumirse tanto como productos crudos como procesados. Con el beneficio de los tomates también radica sus defectos, son altamente perecederos en estado fresco debido a su alto contenido de humedad que conduce a desperdicios y pérdidas durante la cosecha y el almacenamiento (Obadina *et al.* 2018).

Las pérdidas en la producción de tomate también se acumulan debido a las malas prácticas de manejo postcosecha. Sin embargo, estas deficiencias pueden reducirse mediante el procesamiento del tomate a otros productos, como el tomate en polvo, así como la investigación de tecnologías que pueden reducir el costo de empaque, manejo y transporte junto con una mayor vida útil. También se debe tomar en cuenta el aumento de la demanda de tomate deshidratado en los mercados nacionales e internacionales, para la preparación de productos alimenticios (Obadina *et al.* 2018).

El tomate deshidratado puede variar en su rendimiento, esto debe al estado de madurez, variedad, condiciones de temperatura, etc. Por lo tanto, Quiroga y colaboradores (2011), determinaron (Cuadro 1) que para obtener un kilogramo de tomate deshidratado de diferentes variedades se necesitan entre 13 y 16 kilogramos de tomate freso.

Cuadro 1**.** Rendimiento de diferentes variedades de tomate para obtener un kilo de tomate deshidratado.

Rendimiento por variedades				
CHOELE	**FRANCO**	**CXD 258**	**ISI 23259**	**STAR 9063**
13.80 +/- 0.49	16.81 +/- 0.62	16.15 +/- 0.4	13.04 +/- 1.39	15.74 +/- 0.51

Fuente: Quiroga *et al.* 2011

Los subproductos del tomate son ricos en varios compuestos antioxidantes, colorantes naturales como los carotenos, compuestos fenólicos, vitaminas y glucoalcaloides. Entre ellos, el licopeno es el compuesto bioactivo más importante presente en el tomate maduro. Además, varios estudios epidemiológicos evidenciaron los beneficios para la salud derivados de los carotenoides y especialmente el licopeno (Domínguez *et al*. 2020).

Los carotenoides son pigmentos naturales que proporcionan los colores amarillos, naranjas y rojos naturales de frutas, verduras, plantas, aves y animales marinos. Estos colores son el resultado de la presencia de dobles enlaces conjugados que proporcionan propiedades antioxidantes. Además, los carotenoides están bien relacionados con importantes funciones o acciones que promueven la salud, como la actividad de la provitamina A, la mejora del sistema inmunitario y la reducción del riesgo de enfermedades degenerativas, por ejemplo, cáncer y enfermedades cardiovasculares (Strati *et al.* 2011).

Además, el tomate se considera una fuente rica en vitamina C y contiene vitamina A, B y E en menor proporción. El contenido de vitamina C aumenta en el inicio de la maduración de la fruta y luego disminuye a medida que la fruta madura. La vitamina A está presente en forma de carotenoides. La vitamina B está presente como tiamina, niacina, vitamina B 6 y folatos. La vitamina E está presente en menores cantidades que otras vitaminas y está presente como tocoferoles alfa y beta. El contenido de vitamina en el tomate se ve afectado por el tipo de cultivo, el momento de la cosecha y la suplementación con etileno (Chaudhary *et al*. 2018).

Licopeno y sus beneficios

El licopeno es un pigmento de color rojo que se produce naturalmente en frutas y verduras. Los tomates y productos de tomate tienen una concentración de licopeno de 3100–8600 mg por 100 g. El licopeno tiene un efecto biológico en la reducción del colesterol. Se sabe que los productos dietéticos de licopeno y tomate mejoran la calidad de la carne, mediante la inhibición de la

peroxidación lipídica debido a su capacidad antioxidante (An *et al.* 2019). El contenido de licopeno puede variar (Cuadros 2 y 3) dependiendo de la variedad, madurez y condiciones de cultivo.

Cuadro 2. Contenido de licopeno en diferentes variedades de tomate.

Variedad de tomate	**Licopeno (mg/kg)**
Durinta	64.98
Pera	63.37
Canario	49.44
Remate	42.96
Daniella	36.32
Senior	32.24
Rambo	31.97
Ramillete	31.49
Liso	18.60

Fuente: Gámez 2017

Cuadro 3. Contenido de licopeno en diferentes variedades de tomate fresco y deshidratado.

Variedades	**Contenido Licopeno mg/kg**		
	Tomate entero fresco	**Tomate sin semillas fresco**	**Tomate deshidratado**
CHOELE	74.41 +/- 1.386	93.92 +/- 15.51	828.19
FRANCO	94.07 +/- 2.529	125.70 +/- 16.24	935.04
CXD 258	99.45 +/- 2.22	120.91 +/- 18.25	936.13
ISI 23259	96.62 +/- 2.17	121.81+/- 26.59	790.88
STAR 9063	80.37 +/- 2.09	99.82 +/- 21.9	640.82

Fuente: Quiroga *et al.* 2011

El licopeno se encuentra en ciertos tipos de frutas y verduras, como tomates, uvas, guayaba y sandía (So 2020). El licopeno, un antioxidante carotenoide sin actividad de provitamina A, que puede brindar protección contra daños causado por especies reactivas de oxígeno (ROS), y así prevenir el daño a las células y tejidos, así como la mejora de problemas genéticos (Jiang *et al.* 2015)

El licopeno tiene una capacidad de enfriamiento de oxígeno dos veces mayor que la de β-caroteno y 10 veces mayor que la de α-T. Además, el licopeno previene el cáncer, especialmente las enfermedades cardiovasculares, de próstata y cervicales. Reduce el nivel de la fracción de colesterol LDL y previene la aterosclerosis por lo que se recomienda una ingesta diaria de 5 a 10 mg por persona para prevenir el estrés oxidativo y las enfermedades crónicas (Skiepko *et al.* 2016).

El licopeno ejerce efectos favorables contra la enfermedad vascular periférica, hipertensión, síndrome metabólico, y otros trastornos cardiovasculares. Tiene una alta capacidad antinflamatoria, antiplaquetaria, así como propiedades anti apoptóticas y antihipertensivas. También presenta la capacidad de mejorar el perfil metabólico y reduce la rigidez arterial (Mozos *et al.* 2018). El licopeno beneficia a la salud de individuos que presentan antioxidantes

deficientes como pacientes de edad avanzada, o seres humanos expuestos a niveles más altos de estrés oxidativo como fumadores, diabéticos, pacientes de hemodiálisis y pacientes con infarto agudo de miocardio arterial (Müller *et al.* 2016).

Este hecho permite convertir los subproductos del tomate en nuevos ingredientes alimentarios o aditivos naturales. Teniendo en cuenta las excelentes propiedades antioxidantes y el intenso color rojo del tomate y, especialmente, el licopeno, podrían usarse en la industria cárnica para evitar la degradación oxidativa y de decoloración y la producción de un alimento funcional, enriquecido en licopeno que aporta múltiples beneficios para la salud (Domínguez *et al.* 2020).

En el Cuadro 4 se puede observar el contenido de licopeno en diferentes subproductos de tomate y otros productos vegetales.

Cuadro 4. Contenido de licopeno en diversas fuentes alimenticias.

Producto	**Contenido en licopeno (mg/100 g)**
Kétchup	1.9-26.2
Zumo de tomate	7.1
Salsa de tomate	26.1
Puré de tomate	27.3
Pulpa de tomate	28.6
Calabaza	3.8-4.6
Pomelo	3.3
Zanahoria	0.7-0.7
Albaricoque	0.1
Papaya	0.1-0.5
Guayaba	0.8-1.8
Sandía	2.3-7.2

Fuente: Gámez 2017

Recientemente, tanto la incidencia como la tasa de mortalidad del cáncer han aumentado en el mundo. Los principales problemas son causados por una mala alimentación, por lo tanto, se sugiere tener una dieta rica en agentes quimiopreventivos eficaces contra el desarrollo de enfermedades crónicas. Los estudios epidemiológicos sugieren una relación inversa entre el consumo de tomates ricos en licopeno y productos de tomate y niveles plasmáticos de licopeno con riesgo de desarrollo del cáncer (Xia *et al.* 2018).

El Fondo Mundial de Investigación del Cáncer (2007) ha informado de que una alta ingesta de frutas y verduras puede reducir el riesgo de cáncer. Los tomates y los productos de tomate, que contienen abundante licopeno. De acuerdo con un estudio presentado por Chen *et al.* (2015), el consumo de alrededor 9 y 21mg de licopeno al día, redujo el riesgo de adquirir cáncer de próstata.

Se indica que la dosis suplementada con licopeno de 100 mg/kg de dieta es equivalente a aproximadamente 8.1 mg de licopeno/día en un hombre adulto de 60 kg. Según la base de datos de composición de alimentos del USDA, la cantidad media de licopeno es de alrededor de 2.57 mg por 100 g en tomate rojo o 15 mg por 100 g en salsa de tomate. Para alcanzar la dosis equivalente de 8.1 mg de licopeno al día, es necesario consumir aproximadamente tres tomates

medianos (por ejemplo, un tomate mediano pesa aproximadamente 125 g) o 1/4 de taza de salsa de tomate (245 g) por día (Xia *et al.* 2018).

La biodisponibilidad del licopeno se ve afectada por factores como el procesamiento de alimentos y la composición dietética. La exposición a la luz y oxígeno durante el procesamiento o almacenamiento pueden alterar o degradar el contenido de licopeno en los productos alimenticios (Story *et al.* 2010). Los procesos térmicos aplicados al tomate ayudan a mejorar la estabilidad del licopeno, así como su biodisponibilidad, por lo tanto, la aplicación de secado es una forma de mejorar la extracción de licopeno (Sri 2019).

El mercado del licopeno está fragmentado en el tipo, aplicación y región. Según su tipo se segmenta en licopeno sintético y orgánico. El licopeno sintético se elabora con disolventes químicos y materias primas sintéticas, mientras que el licopeno orgánico se elabora con disolventes naturales y materias primas naturales. En función del tipo de aplicación, se utiliza como cosméticos en cremas y lociones, productos farmacéuticos en tabletas y cápsulas, colorantes alimentarios en productos alimenticios como productos cárnicos listos para el consumo, bebidas, barras nutricionales, complementos dietéticos y productos lácteos (Transparency Market Research 2020).

La industria del licopeno geográficamente se divide en regiones como América del Norte, América Latina, Europa, Asia Pacífico, Oriente Medio y África. La región con mayor dominio es Europa seguida de América del Norte. Sin embargo, países como China, India, Japón y Alemania tienen una participación de mercado significativa debido a que las empresas de fabricación y las instalaciones de investigación de licopeno se concentran en estos países. El aumento del uso de licopeno en la industria cárnica, junto con la creciente demanda de colorantes naturales, ha fortalecido el crecimiento del mercado mundial de licopeno (Transparency Market Research 2020).

El licopeno natural generalmente se obtiene de cultivos de tomates selectos, por lo que resulta un procesamiento de alto costo. Para reducir los costos, se ha implementado el uso de producto desechos del procesamiento de tomate, los cuales resultan a costo cero. Los precios del licopeno varían dependiendo del tamaño del empaque, marca y concentración, por lo que el costo promedio se establece en un rango de USD130 - 1000 por kilogramo (Indiamart 2020).

El licopeno actualmente es un aditivo alimenticio autorizado como colorante por la Unión Europea, según el Anexo II del Reglamento (CE) nº 1333/2008 para su uso en varias categorías de alimentos (Younes *et al.* 2017), en donde se establece que los niveles permisibles de uso de licopeno para preparados y productos cárnicos son los indicados en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Usos actuales y nivel máximo permitido (NMP) del licopeno (E 160d) en los alimentos de acuerdo con el anexo II del Reglamento de la Comisión Europea (CE) n° 1333/2008

Número de categoría de alimentos	**Nombre de la categoría de alimentos**	**Restricciones / excepciones**	**Nivel máximo permitido (mg / L o mg / kg según corresponda)**
08.2	Preparados de carne	Solo salchichas para el desayuno con un contenido mínimo de cereales de 6%, carne de hamburguesa con un contenido mínimo de vegetales y / o cereales del 4% mezclados en la carne, productos tipo merguez, salchicha fresca, butifarra fresca, longaniza fresca, chorizo fresco, cevapcici y pljeskavice	50 mg / kg
08.3.1	Productos cárnicos no tratados térmicamente	Solo chorizo / salchichón, salchichas y pasturmas	50 mg / kg
08.3.2	Productos cárnicos tratados térmicamente	Solo salchichas, patés y terrinas	50 mg / kg
04.2.4.1	Preparados de frutas y hortalizas, excepto compota	Solo conservas de fruta roja, mostarda di frutta y análogos de huevas de pescado a base de algas marinas	60 mg / kg

Fuente: Younes *et al.* 2017

De acuerdo con la norma general para los aditivos alimentarios del Codex Alimentarius (2019), los niveles permisibles de carotenoides se incluyen en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Nivel máximo permitido de carotenoides.

Número de categoría de alimentos	Nombre de la categoría de alimentos	NMP (mg / L o mg / kg)
08.1.2	Carne fresca picada, incluida la de aves de corral y caza	100 mg/kg
08.3.1.1	Productos cárnicos, de aves de corral y caza picados y elaborados, curados (incluidos los salados) y sin tratamiento térmico	100 mg/kg
08.3.1.2	Productos cárnicos, de aves de corral y caza picados y elaborados, curados (incluidos los salados), desecados y sin tratamiento térmico	20 mg/kg
08.3.1.3	Productos cárnicos, de aves de corral y caza picados, elaborados, fermentados y sin tratamiento térmico	20 mg/kg
08.3.2	Productos cárnicos, de aves de corral y caza picados, elaborados y tratados térmicamente	20 mg/kg

Fuente: Codex Alimentarius 2019

Técnicas de extracción de carotenoides y licopeno

El licopeno es el carotenoide más importante en el tomate y representa alrededor del 88% del total de carotenoides, seguido por el β-caroteno, el fitoflueno y el fitoeno en cantidades similares (2-3% cada uno) y la luteína (1.5%), los otros carotenoides representaron menos del 1%. El contenido de carotenoides en el tomate depende de varios factores, incluidos la forma de cultivo, el suelo y las condiciones climáticas, el grado de maduración y las condiciones de almacenamiento postcosecha ((Domínguez *et al.* 2020).

Teniendo en cuenta que los carotenoides son los principales compuestos bioactivos del tomate, los estudios publicados realizados con tomate se centran principalmente en la extracción de carotenoides, o más concretamente licopeno. Por lo tanto, esta sección analiza las diferentes técnicas de extracción de carotenoides utilizadas en el tomate y los subproductos del tomate.

Para determinar los procesos de extracción de carotenoides y licopeno se deben tomar en cuenta que los carotenoides son hidrofóbicos es decir son insolubles en agua, apenas solubles en etanol, mientras que en solventes orgánicos presenta una alta solubilidad. Es por ello por lo que generalmente los carotenoides se extraen con disolventes orgánicos, sin embargo, existen métodos como micro emulsión, uso de fluidos supercríticos, microondas y ultrasonido. Los procesos de extracción de carotenoides resultan delicados, ya que se producen pérdidas por degradación, por factores de oxígeno, luz, calor, etc. Por lo tanto, se recomienda que estos procesos se lleven a cabo en lugares oscuros o con una atmósfera inerte (Gámez 2017). En el Cuadro 7 se presentan los cinco principales métodos de extracción de carotenoides y licopeno.

Cuadro 7. Resumen de los principales métodos de extracción de carotenoides y licopeno.

Tipo de extracción	Reactivos o solventes	Material	Cantidad de licopeno	Rendimiento	Autor
Microemulsión	Saponina como tensioactivo natural y glicerol como co-tensioactivo	Orujo de tomate manzano	409.68 ± 0. 68 mg / kg	43.81%	Amiri-Rigi y Abbasi 2016
Fluidos supercríticos	Dióxido de carbono (CO 2)	Cáscaras y semillas de tomate pera	728.98±31.17mg/kg	91.24%	Kehili *et al*. 2017
Solventes orgánicos	Lactato de etilo Hexano Acetato de etilo Acetona Etanol	Piel y semillas de tomate pera	243.00 mg / kg 34.45 mg / kg 46.21 mg / kg 51.90 mg / kg 17.57 mg / kg	30.41% 4.31% 5.78% 6.50% 2.20%	Strati y Oreopoulou 2011
Asistida por microondas (MAE).	Acetato de etilo	Cáscara de tomate pera	135.92 mg / kg	17.01%	Ho *et al*. 2015
Asistida por ultrasonido (EAU).	Hexano / acetona / etanol	Piel y semillas de tomate manzano	89.90 mg / kg	9.61%	Kumcuoglu *et al*. 2014

Fuente: Elaboración propia

Extracción a partir de microemulsión

Según Amiri-Rigi y Abbasi (2017), para su investigación se utilizaron los desechos industriales de tomate de la Planta de Pasta de Tomate Yara. Otros materiales como el glicerol de grado analítico, Span 20, Tween 20, Tween,Tween 80, la saponina y el rhamnolipid eran de grado farmacéutico. Se utilizó agua doble destilada para la preparación de todas las soluciones y mezclas de extracción. Los residuos industriales de tomate, con una humedad inicial de 83% sobre la base del peso húmedo, se secaron de la luz en un horno a 35 °C durante 64 h hasta alcanzar una humedad del 7,6%. El tomate seco fue pulverizado utilizando un molino doméstico se pasó a través de tamices de malla 30 (595 µm) y malla 40 (400 µm). De esta forma se obtuvo un polvo con un tamaño de partícula en el rango de 400 a 595 µm.

Para la extracción de licopeno mediante la técnica de microemulsión, se añadieron 1 g del orujo pretratado a los tubos centrífugos (15 mL) que contienen tensioactivo: glicerol (1:1 p/p), ya disuelto en agua destilada. A partir de entonces, la mezcla de tensioactivo: glicerol (1:1) se combinó con agua doble destilada y se mezcló a fondo durante aproximadamente 30 s. A continuación, se añadió orujo en polvo de tomate a la mezcla y se agitaba (250 r.p.m. a 25 °C durante 30 min) utilizando una incubadora de agitación (control KS 4000 i; IKA, Staufen, Alemania). Posteriormente, las muestras se centrifugaron (10 000 g durante 15 min) y la fase superior se retiró, se filtró y se utilizó para análisis posteriores.

De acuerdo con resultados experimentales de Amiri-Rigi y Abbasi (2016), revelaron que la aplicación de pretratamientos de ultrasonido y enzimas combinados, así saponina como tensioactivo natural y glicerol como co-tensioactivo, en la región bicontinua de la microemulsión fueron las condiciones experimentales óptimas para tener como resultado una microemulsión que contenía 409.68 ± 0. 68 µg / g de licopeno. La alta concentración de licopeno lograda indica que la técnica de microemulsión, utilizando un tensioactivo natural, podría ser prometedora para una separación simple y segura del licopeno del orujo de tomate y posiblemente de los desechos industriales del tomate.

Extracción a partir de fluidos supercríticos

Dado que estos procesos implican el uso de disolventes químicos altamente tóxicos, el interés ha crecido en el uso de la extracción de fluidos supercríticos (SFE) como alternativa solvente a la producción industrial de licopeno. Los extractos obtenidos con esta tecnología tienen la ventaja de que no contienen disolvente residual. Después de la extracción y eliminación de disolventes, se obtiene una mezcla semisólida de resina y aceite esencial (llamada oleoresina). Esta oleoresina es rica en carotenoides, sin embargo, las cantidades de carotenoides y licopeno dependen de varios factores como su cantidad inicial en la materia prima y las condiciones de extracción (Domínguez *et al.* 2020).

Entre los métodos de extracción de carotenoides, se encuentra la extracción a partir de fluidos supercríticos, los cuales poseen la capacidad para disolver solutos, miscibilidad con gases permanentes, alta difusividad y baja viscosidad, por lo que son muy utilizados en la industria de alimentos. Las condiciones óptimas para la extracción del licopeno se encuentran en 75-80 ºC y 46 MPa (megapascal) con CO_2 supercrítico. Por otro lado, se han empleado otras técnicas de extracción con microondas, donde se ha logrado recuperar hasta un 99% del licopeno (Gámez 2017).

El SFE (Extracción con Fluidos Supercríticos) es un método de extracción que utiliza disolventes orgánicos no tóxicos, lo que reduce el uso de energía, da como resultado un

procesamiento más sostenible y contaminación ambiental. En SFE, los disolventes se utilizan cerca de su temperatura y presión críticas para obtener solutos de una matriz líquida o sólida en condiciones presurizadas. En estas condiciones, los disolventes presentan características intermedias entre gases y líquidos, que facilitan la recuperación de los compuestos objetivo (Domínguez *et al.* 2020).

Dióxido de carbono (CO_2) es el disolvente SFE más utilizado en aplicaciones alimentarias, ya que generalmente se reconoce como seguro. El CO_2 tiene una temperatura y presión críticas moderadas (31.1 °C y 7.4 MPa) y puede eliminarse fácilmente mediante una simple reducción de presión. Además, la SFE se realiza en ausencia de luz y oxígeno, lo que reduce la degradación de los compuestos. Por lo tanto, el uso de SFE- CO_2 es un proceso alternativo eficiente a los métodos convencionales de extracción por solventes, especialmente para extraer materiales vegetales lipofílicos (Domínguez *et al.* 2020).

De hecho, en una investigación por Kehili y colaboradores (2017), el uso de SFE- CO_2 resultó en un mayor rendimiento de licopeno en comparación con la extracción por solvente convencional. Los extractos de tomate obtenidos a partir de SFE- CO_2 tenían algunas ventajas, como una mayor intensidad de color y un olor y pureza más agradables que los de las extracciones convencionales con disolventes. La extracción supercrítica de CO_2 dio lugar a una recuperación máxima de licopeno de 728.98 ± 31.17 mg/kg de tomate seco.

Extracción a partir de solventes orgánicos

Según Bhat (2020), el licopeno de tomate se extrajo a partir de la adición de 12 mL para cada uno de éter de petróleo y acetona al polvo de tomate (2 g) en el matraz de color ámbar oscuro. La extracción de la muestra se realizó a temperatura ambiente durante 24 h, seguido de la adición de 8 mL de agua. Después de la extracción, las muestras se centrifugaron a 1500 g durante 10 minutos para separar el extracto de muestra en distintas capas polares y no polares. La capa sobrenadante se transfirió a un matraz de color ámbar de fondo redondo. Este solvente sobrenadante se evaporó luego usando un evaporador rotativo al vacío. El extracto seco se mantuvo en un vial de HPLC y se almacenó bajo refrigeración (4 °C) hasta su posterior análisis.

Strati y Oreopoulou (2011), en su investigación probaron diferentes disolventes orgánicos individuales, en donde determinaron que el lactato de etilo era el disolvente más eficiente en la extracción de licopeno (243 mg / kg de residuos secos de tomate DTW) en comparación con el hexano (34.45 mg / kg DTW), acetato de etilo (46.21 mg / kg DTW), acetona (51.90 mg / kg DTW) y etanol (17.57 mg / kg DTW). Estas extracciones se llevaron a cabo a 70ºC excepto para la acetona (50 ºC). Sin embargo, el lactato de etilo, incluso a 25 °C obtuvo un rendimiento total de 202.73 mg / kg DTW, demostrando que el lactato de etilo extrae más carotenoides a temperatura ambiente que los otros a temperaturas más altas, lo que reduciría el costo energético del proceso en comparación con otros solventes.

Según Domínguez y colaboradores (2020), el licopeno es insoluble en agua, apenas soluble en etanol, mientras que presenta alta solubilidad en lípidos y disolventes orgánicos no polares. Así, tanto el licopeno como otros carotenoides se extraen generalmente empleando disolventes orgánicos y también se producen por síntesis química. En general, se sugirieron mezclas de disolventes que contienen un componente polar y no polar como hexano / acetona / hexano / etanol / o hexano /acetona /etanol/ acetona, como los mejores sistemas de disolventes para la extracción de carotenoides polares y no polares de hortalizas.

Además, el uso de hexano, acetona, etanol y metanol y sus mezclas es mejor que el uso de otros disolventes como éter dietílico y tetrahidrofurano, que pueden contener peróxidos que reaccionan con carotenoides (Domínguez *et al.* 2020).

Extracción asistida por microondas (MAE siglas en inglés)

La extracción asistida por el calor generado por microondas ofrece una mejor obtención de licopeno debido a la alteración estructural de los tomates tratados con MAE, lo que permite una mejor extracción de licopeno. Por ejemplo, la extracción de cáscaras de tomate bajo irradiación de microondas con un disolvente de extracción óptimo produce 13.592 mg / 100 g de licopeno extraído, mejorando significativamente también el rendimiento total (Ciriminna *et al.* 2016).

De acuerdo con Ho *et al.* 2015, en su investigación la aplicación de MAE dio como resultado unos tiempos de extracción muy bajos logrando mejores resultados que las extracciones convencionales (45 °C, 30 min). De hecho, las condiciones óptimas para el rendimiento de licopeno (13.87 mg / 100 g) fueron el uso de acetato de etilo como disolvente y la aplicación de 400 W de potencia de microondas durante 1 min.

Extracción asistida por ultrasonido (EAU)

El método de extracción asistida por ultrasonido es utilizado principalmente para extraer licopeno de semillas de tomate y subproductos del procesamiento del tomate (pared exterior del pericarpio y pieles). Después de liofilizar y diluir con los solventes apropiados, la mezcla se sumerge en un baño de agua ultrasónico con control de temperatura en atmósfera de nitrógeno libre de oxígeno. Con condiciones optimizadas, el rendimiento medio relativo de licopeno puede ser tan alto como 99%, conteniendo 5.11 ± 0.27 mg / g de peso seco de licopeno (Ciriminna *et al.* 2016).

Esta tecnología aumenta la penetración del disolvente en las células vegetales y favorece la rotura de las paredes celulares, lo que facilita la liberación de contenidos y el contacto entre disolvente y analito. Según Kumcuoglu y colaboradores (2014), en un estudio realizado comparando solvente orgánico convencional y UAE, utilizando en ambos casos hexano / acetona / etanol, (2: 1: 1) como solvente, mostraron que EAU de licopeno requirió menos tiempo, menor temperatura y menor solvente que extracción convencional.

En la extracción convencional, la temperatura, la relación sólida / disolvente y el tiempo tuvieron una recuperación óptima de licopeno (9.39 mg / 100 g) a 60 °C, relación sólida / disolvente 1:50 y 40 min de extracción. La temperatura, el tiempo de extracción y el disolvente más altos utilizados en la extracción mejoraron los rendimientos de licopeno. En el caso de UAE, se probó la influencia de la energía, el sólido / disolvente y el tiempo de extracción en la recuperación de licopeno. El uso de UAE permitió obtener un rendimiento de (8.99 mg / 100 g) utilizando 90W de potencia UAE, menos solvente (1:35 sólido / solvente) y menos temperatura (5 °C) que la extracción convencional (Kumcuoglu *et al.* 2014).

Adición de tomate en polvo en productos cárnicos

El licopeno presente en el tomate contiene múltiples ventajas beneficiosas para la salud humana. Se han realizado, investigaciones con diferentes productos cárnicos con el fin de evaluar su impacto. Algunos ejemplos se mencionan a continuación.

Kim y colaboradores (2011), como se puede observar en el Cuadro 8, identificaron que las muestras de salchichas con tomate en polvo añadido obtuvieron un mayor contenido proteico. Esto se debe a que el tomate en polvo contenía un 10.3% de proteína bruta y un 41% de fibra lo que mejoró el contenido de fibra en la salchicha. El pH en las salchichas presentó una reducción significativa hasta el día 15 en refrigeración, posterior a esto el pH aumentó hasta el día 30. La reducción del pH en las muestras se debe a que el tomate presenta un pH ácido aproximadamente de 3.5. Por lo tanto, la disminución del pH fue por la interacción de las bacterias lácticas, mientras que el aumento del pH a partir del día 30 representa un signo de deterioro en el producto debido a una alta carga bacteriana.

La oxidación lipídica en las salchichas con tomate en polvo se redujo significativamente en comparación con los controles. A medida de una mayor cantidad de tomate en polvo, mayor reducción de oxidación lipídica. Esto se debe al contenido de carotenoides presentes en el tomate, principalmente el licopeno, por lo que se vuelve un excelente aditivo funcional en productos cárnicos.

De acuerdo con sus análisis microbiológicos, se determinó que las muestras con tomate en polvo presentaron un recuento menor en comparación a la muestra control tanto como a los 15 días como a los 30 días de almacenamiento. Por lo tanto, se sugiere que los valores bajos de pH indujeron en el bajo conteo microbiano, además de la actividad antimicrobiana del tomate en polvo. Es por esto que el tomate en polvo puede reemplazar el uso de nitratos en productos cárnicos.

Las salchichas con altas concentraciones de tomate en polvo presentaron cambios de color en comparación con la muestra control en almacenamiento. El color rojo mejoró significativamente en comparación de los embutidos de control. Esto se debe al color rojo presente en el tomate, así como la capacidad antioxidante del licopeno. La dureza presente en las salchichas con tomate en polvo aumentó, como resultado de la fibra presente en el tomate, la cual está compuesta por celulosa y lignina.

La calidad sensorial no fue afectada en cuanto al color, aroma, sabor y jugosidad durante el almacenamiento. Sin embargo, mediante análisis sensoriales se obtuvieron resultados positivos en las muestras con tomate añadido. Al ser comparadas con la muestra control, las salchichas con tomate añadido resultaron con la puntación de mayor aceptabilidad por parte de los evaluadores. Por lo tanto, se concluye que la adición de tomate en polvo no representa efectos negativos en la aceptabilidad de los productos cárnicos.

La adición de tomate en polvo a diferentes temperaturas de secado puede cambiar los parámetros de color en productos a base de carne de cerdo. Los antioxidantes del tomate incluyendo compuestos fenólicos, flavonoides, y licopeno pueden aumentar la actividad antioxidante en los productos a base de carne de cerdo. Mientras que en los análisis microbiológicos no se encontró ninguna capacidad antimicrobiana en su experimento, debido a que los conteos de *Enterobacteriaceae* aumentaron en todas sus muestras (Kim *et al.* 2016).

Cuadro 8. Cambios fisicoquímicos y microbiológicos en las salchichas de cerdo con bajo contenido de grasa con tomate en polvo durante el almacenamiento refrigerado (4 °C). Tomate en polvo: 0% (C), 0.8% (T1), 1.2% (T2), 1.5% (T3).

Tratamientos	**Periodo de almacenamiento en días**			
	1	**15**	**30**	**SEM**
pH				
C	5.8^{Ab}	5.8^{Ab}	6.0^{Aa}	0.03
T1	5.8^{Ab}	5.8^{Bc}	5.9^{Ba}	0.02
T2	5.7^{Bb}	5.7^{Cb}	5.7^{Da}	0.01
T3	5.7^{Bb}	5.7^{Cb}	$5.\ 8^{Ca}$	0.01
SEM	0.02	0.02	0.03	
Capacidad de retención de agua%				
C	72.6^{Ba}	62.9^{Bb}	71.9^{Ca}	1.77
T1	76.4^{Aa}	69.1^{Ab}	72.3^{Bb}	2.73
T2	77.1^{Aa}	70.4^{Ab}	74.3^{Ab}	1.77
T3	75.9^{Aa}	65.4^{Bb}	75.0^{ABa}	3.34
SEM	0.78	2.71	6.67	
Sustancias reactivas al ácido tiobarbitúrico				
C	1.4^{Ab}	1.5^{Ab}	1.8^{Aa}	0.06
T1	1.2^{Bb}	1.2^{Bb}	1.6^{Ba}	0.07
T2	1.1^{Cb}	0.96^{Cc}	1.7^{Ba}	0.08
T3	1.3^{Bb}	1.3^{Bc}	1.3^{Ca}	0.09
SEM	0.04	0.05	0.07	
Recuento total de placas, UFC/g				
C	2.09^{c}	5.96^{Ab}	6.37^{Aa}	0.68
T1	1.46^{c}	5.93^{Aa}	5.40^{Cb}	0.71
T2	1.93^{c}	5.81^{Ba}	4.77^{Db}	0.58
T3	2.20^{c}	5.06^{Cb}	5.71^{Ba}	0.63
SEM	0.08	0.11	0.19	

Fuente: Kim 2011

SEM: Error estándar de media (pooled) (n.3)

a,b,c: Los medios con diferentes superíndices en la misma fila difieren significativamente($p < 0.05$)

A, B, C, D: Los medios con diferentes superíndices en la misma columna difieren significativamente ($p < 0.05$)

El orujo de tomate en polvo en jamón de ternera y mostraron resultados positivos en el enrojecimiento, textura, sabor y aceptabilidad, en las muestras con mayor concentración de orujo de tomate, debido a las propiedades del licopeno. Por lo tanto, la opción de aplicar

licopeno en productos como el jamón resulta factible para evaluar sus propiedades y beneficios en el jamón (Savadkoohi *et al*. 2014).

Skiepko y colaboradores (2016), mostraron resultados en su estudio sobre la peroxidación lipídica, que fue más lenta en carne de pavo con licopeno, con relación a su muestra control, en cambio, una vez en temperatura ambiente se determinó que la peroxidación en las dos muestras no presenta diferencias, pero los valores de las sustancias reactivas del ácido tiobarbitúrico (TBARS) en la muestra de licopeno fueron más bajos, probablemente por las propiedades antioxidantes del licopeno. También se realizó un análisis de perfil de ácidos grasos donde se determinó que el licopeno disminuyó el contenido de ácidos hipercolesterolémicos no deseados, y aumentó la proporción de ácidos hipocolesterolémicos esenciales, así como las proporciones DFA (ácidos hipocolesterolémicos) /OFA (ácidos hipercolesterolémicos) y UFA (ácidos grasos insaturados) /SFA (ácidos grasos saturados).

Kim y colaboradores (2017) evaluaron las propiedades fisicoquímicas y actividad antioxidante del tomate en polvo extraído por diversas concentraciones de etanol en empanadas de cerdo. Como resultados se mostró que la adición de tomate en polvo disminuyó el valor del pH y aumentó los valores de enrojecimiento de las empanadas de cerdo. También se determinó que el valor de oxidación lipídica y recuentos microbianos fue menor en las empanadas de cerdo con tomate en polvo añadido en comparación a la muestra control.

De acuerdo con un estudio presentado por Ghafouri-Oskuei y colaboradores (2020), la adición de polvos de tomate en salchicha de carne vacuna causó un aumento en ácidos grasos esenciales, licopeno proteína y fibra, por lo que este producto puede identificarse como un alimento funcional beneficioso para la salud. Además, de acuerdo con sus análisis sensoriales, se determinó que las características sensoriales como el sabor, olor, textura, y color eran aceptables por el panel evaluador.

Kim y colaboradores (2011), utilizaron salchichas de cerdos bajas en grasa con tomate en polvo, en donde encontró que, con el aumento de concentración de tomate, la firmeza de la salchicha disminuyó, mientras que el enrojecimiento y amarillento aumentaron. Los valores de pH resultaron bajos, mientras que la capacidad de retención de agua aumentó. Los valores de sustancias reactivas del ácido tiobarbitútico, cohesión y elásticas fueron más bajos que la muestra control. Mientras que la aceptabilidad fue más alta que la muestra control después de 30 días de almacenamiento.

Según Domínguez y colaboradores (2020), los subproductos del tomate como la oleorresina y pulpa se pueden utilizar para estabilizar el color y la degradación de la carne. Estos subproductos reducen la decoloración del producto en almacenamiento. Según varios estudios mientras más alta la concentración de estos materiales, más efectivo es el efecto benéfico sobre estos productos.

La aplicación de tomate en polvo y pasta de tomate en productos cárnicos dependiendo de la dosis aplicada, refleja un nivel bajo de sustancias del ácido tiobarbitútico (TBARS), lo cual es un buen indicador de que existe una baja oxidación lipídica. Este efecto se produce por la actividad del licopeno como antioxidante natural. De la misma forma, la aplicación de estos productos puede prevenir la decoloración de los productos cárnicos en almacenamiento. Lo cual resulta muy beneficioso para la industria, ya que el consumidor mira a estos productos más atractivos.

Por otro lado, Domínguez y colaboradores (2020), descubrieron que la adición de extractos de tomate a productos cárnicos no produce ningún efecto antioxidante o aporte en la decoloración de los mismos. Se concluyó que este fenómeno se debe a la preparación del extracto de tomate con agua acidificada, lo cual limita el accionar del licopeno. El licopeno y otros carotenoides presentes en el tomate son inmiscibles en agua.

La aplicación de tomate en la formulación de productos cárnicos cocidos como salchichas Frankfurter, concluyó con un resultado positivo en el retraso de decoloración, sin embargo, no presentó ningún efecto positivo en la reducción de la oxidación lipídica, Mediante análisis sensoriales se mostró que existe mayor aceptabilidad por el color y sabor del producto (Savadkoohi *et al*. 2014). Esta tendencia se vio reflejada en productos cárnicos fermentados, con lo que se demostraron los mismos efectos positivos en el producto como en las pruebas sensoriales (Calvo *et al.* 2008).

En otros estudios se evaluó el efecto de tomate en polvo, pasta de tomate y licopeno cristalino en carne de ternera, en el que se mostró un enrojecimiento y reducción de la oxidación lipídica en el producto (Østerlie y Lerfall 2005). Mientras que la aplicación de desechos de tomate en polvo en carne de pollo mostro un efecto similar al estudio con carne de ternera. Por lo tanto, se comprobó que el tomate y sus derivados actúan como buenos antioxidantes y colorantes (Alves *et al.* 2012).

Por otra parte, la aplicación de pasta de tomate en mortadela redujo los valores TBARS en muestras con alta concentración de pasta de tomate, mientras que en las muestras con valores bajos de tomate fue lo contrario. También se determinó mediante análisis sensoriales que la adicción de la pasta de tomate mejoro el color, textura y aceptabilidad de la mortadela (Doménech *et al.* 2013).

La adición de tomate en polvo en el rollo de almuerzo (fiambre de carne) permitió identificar su actuación como agente colorante, ya que se evidenció un enrojecimiento en el producto. Sin embargo, se encontró un aumento de la oxidación lipídica, la cual no superó 0.41 mg MDA/kg, en el producto. Por otro lado, el color y aceptabilidad no resultaron positivas esto se debe a que el aumento de color rojo y rancidez no se relacionan con el producto convencional (Hayes *et al*. 2013).

Como resultado de esta investigación (Cuadro 9) se han reflejado datos de varios estudios relacionados a la adición de tomate en productos cárnicos como agente antioxidante o colorante natural. Entre estos resultados muestran que la utilización de tomate y sus derivados, representan un beneficio a la industria cárnica, ya que reducen el uso de aditivos artificiales. Los estudios muestran que los carotenoides representan un beneficio para la salud humana. Sin embargo, los factores y condiciones de extracción, concentración, entre otros, influyen en el rendimiento de la actividad antioxidante en los productos cárnicos.

Cuadro 9. Ejemplos de productos cárnicos reformulados con subproductos del tomate.

Producto cárnico	**Material**	**Cantidad**	**Efectos principales**
Empanadas y hamburguesas	Oleorresina de tomate	0.55 g / kg	↓ Oxidación y decoloración de lípidos; ↑ Enrojecimiento
		2 g / kg	
	Polvo de tomate	15 g / kg	Sin efectos
		50 g / kg	↓ Oxidación y decoloración de lípidos; ↑ Enrojecimiento
	Pasta de tomate	5, 10 y 15%	↓ Oxidación y decoloración de lípidos; ↑ Enrojecimiento; = Puntuaciones de color sensorial
	Polvo de tomate	1.5, 3, 4.5 y 6%	↓ Decoloración; ↑ Enrojecimiento; ↓ Puntuaciones sensoriales
		0.25, 0.5, 0.75 y 1%	↓ Oxidación y decoloración de lípidos; ↑ Enrojecimiento; ↑ Propiedades sensoriales
Frankfurter y salchichas cocidas	Polvo de tomate	1 y 2%	↓ oxidación de lípidos; ↑ Enrojecimiento
		2 y 4%	↑ oxidación de lípidos; ↑ Enrojecimiento; ↑ Propiedades sensoriales
		0.8, 1.2 y 1.5%	↓ oxidación de lípidos; ↑ Enrojecimiento; ↑ Propiedades sensoriales
		1, 3, 5 y 7%	↑ Enrojecimiento; ↑ Propiedades sensoriales
	Pasta de tomate	2.5 y 3%	↓ oxidación de lípidos; ↑ Enrojecimiento; ↑ Puntuaciones de color sensorial
		2, 4, 6, 8, 10, 12 y 16%	↑ oxidación de lípidos; ↑ Enrojecimiento; ↑ Puntuaciones de color sensorial
Salchicha fermentada en seco	Polvo de tomate	6, 9 y 12 g / kg	↑ Enrojecimiento; = Propiedades sensoriales
Carne picada	Tomate y desperdicios de tomate	0.1-0.3%	↓ oxidación de lípidos; = Enrojecimiento
	Tomate en polvo, pasta y licopeno	-	↓ Oxidación y decoloración de lípidos; ↑ Enrojecimiento
Fiambre de carne	Polvo de tomate	1.5 y 3%	↑ oxidación de lípidos; ↑ Enrojecimiento; ↓ Propiedades sensoriales
Mortadela	Pasta de tomate	2, 6 y 10%	↓ oxidación de lípidos; ↑ Enrojecimiento; ↑ Propiedades sensoriales

Fuente: Domínguez *et al.* 2020

↓ Disminuir; ↑ Aumento; = sin cambios significativos.

Fase II. Propuesta de uso de tomate en polvo en productos cárnicos de Zamorano

Producción de tomate en Zamorano. De acuerdo con comunicaciones electrónicas y presenciales con el Dr. Hugo Ramírez y la Ing. Carla Caballero, responsables del área de producción hortícola en la Escuela Agrícola Panamericana Zamorano, existe una producción de dos variedades de tomate, manzano y pera. El primero se siembra en invernadero, mientras que el segundo en campo abierto. Los ciclos de cosecha son dos, en la época seca alrededor de cuatro meses y en la época húmeda con tres meses de cosecha. Por cada ciclo de cultivo se maneja una orden de producción de 14,000 libras por invernadero. Los parámetros de cosecha están establecidos según el color (alrededor del 5% del fruto debe estar de color rojo), tamaño (grande, mediano y pequeño) y consistencia. La cantidad de producción de tomate (Cuadro 10) es variable, esto se debe a problemas de enfermedades, plagas, y condiciones climáticas. En el caso del tomate pera no existen muchos registros de producción, ni desechos en los últimos años.

Cuadro 10. Producción de tomate en libras de los últimos cinco años.

Producción en libras de tomate	**2015**	**2016**	**2017**	**2018**	**2019**
Tomate manzano	24,291.55	110,551.91	80,275.46	51,118.72	31,716.24
Tomate pera		18,269.02	19,707.13		
Total	24,291.55	128,820.93	99,982.59	51,118.72	31,716.24

Los frutos de tomate se clasifican y son enviados a la planta de postcosecha para su posterior distribución. Mientras que los tomates que presentan daños físicos (golpes por cosecha), fisiológicos (deformidades), biológicos (daño por plaga o insectos) o microbiológicos (pudriciones en campo) son desechados. Estos desechos (Cuadro 11) generalmente son enviados a la compostera o son donados a organizaciones no lucrativas.

Cuadro 11. Cantidad de desechos de tomate en libras.

% de desecho de producto	**2018**	**2019**
Tomate manzano	11%	8%
Cantidad en libras	5,623.06	2,537.29

Métodos de extracción y cuantificación de carotenoides en Zamorano

Mediante una entrevista por medio de la plataforma electrónica Zoom (Anexo 1) con el Dr. Luis Maldonado, responsable del LAAZ, se concluyó que los desechos de tomate pueden ser reutilizados para la extracción de licopeno. Para realizar procesos de extracción a pequeña escala, el LAAZ cuenta con los equipos y solventes necesarios. Mientras que, si se desea realizar a escala industrial, se podría realizar en la PIA (Planta de Innovación de Alimentos) dependiendo si la extracción es en polvo o en algún tipo de encapsulación de matriz, se usaría el secador por aspersión.

El método de extracción de licopeno disponible en Zamorano es la extracción través de mezcla de solventes orgánicos, existen otros métodos más efectivos como la extracción por fluidos

supercríticos, pero el LAAZ no cuenta con el equipo. El costo de extracción dependerá del tipo y concentración de los solventes utilizados, ya que puede ser uno como etanol o la combinación .de dos como etil acetato/hexano.

Para realizar un proceso de extracción de licopeno a través del método de solventes orgánicos, se deberá hacer uso de equipos y materiales del LAAZ. Antes de realizar una extracción, se debe utilizar un deshidratador eléctrico para reducir la cantidad de agua y obtener mayor cantidad de sólidos. Posteriormente el material de extracción se debe colocar en cristalería, para después pasar a un agitador donde se mezclará el solvente con el tomate. Después se debe separar las fases, es decir el solvente del resto de materiales, para seguir con un proceso de secado a través de un destilador, para obtener licopeno en polvo (Figura 1). En caso de encapsular el licopeno, se necesitaría comprar material encapsulante como almidón o maltodextrina. El siguiente paso sería utilizar un equipo para el secado como un spray dryer (secado por aspersión) o un liofilizador, obteniendo como resultado el licopeno encapsulado (Figura 2).

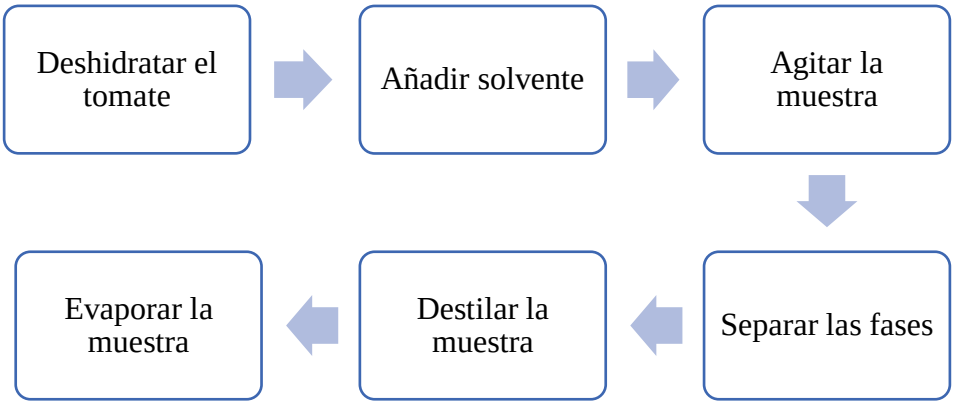


Figura 1. Flujo de proceso para obtener licopeno seco.

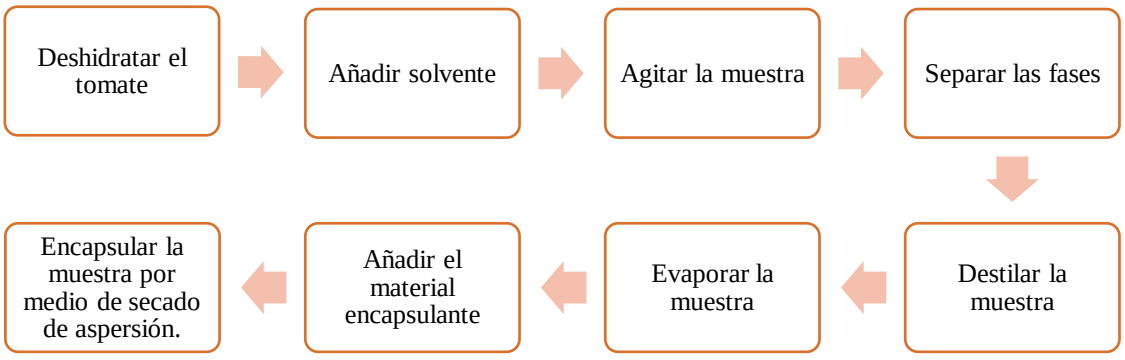


Figura 2. Flujo de proceso para obtener licopeno encapsulado.

Posterior a esto, se debería evaluar su pureza, el LAAZ, actualmente cuenta con métodos de absorbancia (UV visible) y análisis de cromatografía líquida (HPLC). El método más efectivo es a través del análisis HPLC, sin embargo, el LAAZ, debería adquirir una columna para la cuantificación de licopeno. El costo de un análisis HPLC se encuentra alrededor de HNL2,000 o USD80. Dependiendo si se va a realizar a la muestra de licopeno en polvo, se necesitaría un

solo análisis, mientras que, si es para el licopeno encapsulado, se necesitarían dos análisis, uno antes de la encapsulación y otro al final, representando un costo aproximado de HNL4,000 o USD160.

Según Viera *et al.* (2018), en su estudio mostró que el valor óptimo de concentración de carotenoides y licopeno extraídos fue 3,404.5 mg/100 g de tomate y se obtuvo con una temperatura de 29.7 °C, relación acetona-hexano de 80.56% y tiempo de 0.11 horas.

Uso de tomate en polvo en jamón Virginia

El uso de disolventes en el método de extracción no resulta seguro para la industria alimentaria, esto se debe su toxicidad. Por lo tanto, se sugiere adicionar tomate en polvo en los productos cárnicos como fuente de carotenoides, principalmente licopeno. Esta actividad puede tener un beneficio muy representativo para la planta de cárnicos, y otras áreas de Zamorano. Se reutilizarían desechos de tomate y a la vez se reducirían el uso de aditivos artificiales en los productos cárnicos.

Mediante comunicaciones electrónicas con la Dra. Adela Acosta, Jefe Técnico de la planta de cárnicos de Zamorano, se muestra interés en la implementación de investigaciones y proyectos de adición de licopeno en productos cárnicos. Por lo tanto, se sugiere como opción principal su aplicación en jamones, ya que son una línea baja en grasa y de alto valor. Esto se presta a que puedan favorecerse de una línea con adiciones nutricionales y sería favorecido también con un colorante natural.

Por otra parte, mediante comunicaciones electrónicas con al Ing. Mariela Murillo, gestora de producción de la planta de cárnicos, se sugiere la aplicación de tomate en productos como el chorizo español, pepperoni, salami, andaluz, y longaniza, ya que estos se producen en la planta de cárnicos y llevan en su formulación achiote y éste podría ser sustituido por el tomate.

Por lo tanto, se sugiere realizar experimentos con formulaciones en jamón de la planta de cárnicos de Zamorano, por los resultados positivos en investigaciones antes mencionadas, así como recomendaciones de la Dra. Adela Acosta. La adición de licopeno en polvo dependerá de la concentración de pureza en su extracción.

Actualmente, la planta de cárnicos maneja diferentes tipos de jamón como son: jamón cubano, de cerdo, Virginia, jamonada, y benedictino. Para fines del estudio, se recopiló información acerca de la producción mensual, el costo y precio de venta (Cuadro 12).

Como se muestra en el Cuadro 13, la cantidad promedio de desechos de tomate es de 3,709.25 kg por año, cuyo rendimiento estimado de tomate deshidratado es 16.81 kg (Cuadro 1). La cantidad de carotenoides estimada de la producción de tomate de Zamorano es 3,404.5 kg/100 g de tomate (Viera 2018). El licopeno es el carotenoide más importante y representa alrededor del 88% del total de carotenoides (Domínguez *et al*. 2020). Con esta información se logró determinar una cantidad promedio aproximada de carotenoides producidos por los desechos de tomate en un año.

Cuadro 12. Producción, costos y precios de jamón en el mes de agosto del 2020.

Producto	Lb/mes	Costo (Lempiras)	Costo (Dólares)
Jamón cubano	112.00	55.08	2.24
Jamón de cerdo.	940.00	52.32	2.12
Jamón Virginia	1,020.00	38.53	1.56
Jamonada	258.00	27.85	1.13
Jamón benedictino		52.53	2.13
Jamón Virginia rebanado		53.04	2.15

Tasa de cambio USD 1.00 – HNL 24.64

Cuadro 13. Cantidad de carotenoides obtenida en un año a partir de desechos de tomate.

Cantidad promedio de desechos de tomate(kg)/año	Kg de tomate fresco/kg de tomate deshidratado	Rendimiento de tomate deshidratado en polvo (kg)	mg de carotenoides/kg de tomate deshidratado	Total (mg de carotenoides/año)
3,709.25	16.81	220.66	34,045	7,512,287.11

Se determinó la cantidad promedio de carotenoides y licopeno por año necesaria para suplir la producción de jamón Virginia (Cuadro 14), en base a los niveles permisibles del Codex Alimentarius (Cuadro 5) y la Comisión Europea (Cuadro 6).

Cuadro 14. Cantidad de carotenoides a usar en jamón Virginia en un año de producción.

Kg promedio de jamón Virginia/año	NMP carotenoides mg/kg CODEX	Total carotenoides mg/año	NMP licopeno mg/kg CE	Total licopeno (mg/año)
5,563.64	20	111,272.73	50	278,181.82

Por lo tanto, basados en la demanda de mg de carotenoides/kg de jamón Virginia, se puede concluir que la cantidad de carotenoides producida por los desechos de tomate de Zamorano pueden cumplir con esta demanda basados en los niveles permisibles de Codex Alimentarius. Esto se debe a que solo se usaría 1.5% de la producción total de carotenoides por año. Por lo tanto, se sugiere hacer uso del otro 98.5% en otros productos cárnicos.

Para obtener tomate deshidratado en polvo es necesario eliminar el agua de los residuos de tomate a través de deshidratador eléctrico, a una temperatura de bulbo seco de 140 °F (60 °C), una temperatura de bulbo húmedo de 140 °F (60 °C) y a una velocidad de 3rps (revoluciones por segundo) durante 24 h. Para luego por medio de un molino de martillos reducir el tamaño de partícula entre 0.5 y 1.7 mm, y de esta forma obtener tomate en polvo (Viera *et al.* 2018). Después de este proceso es necesario realizar análisis microbiológicos (Cuadro 15), también es necesario cuantificar el contenido de licopeno de este producto por medio de cromatografía líquida (HPLC).

Cuadro 15. Criterios microbiológicos de frutas y vegetales deshidratados.

Parámetro	Categoría	Tipo de alimento	Límite Permitido
Escherichia coli.	6	B	10^2 UFC/g
Salmonella spp.	10	B	Ausencia/ 25 g

Fuente: RTCA 2018

Los costos de adquisición de tomate deshidratado en polvo (Cuadro 16) son aproximadamente HNL 414.37, considerando que la materia prima son desechos de tomate los cuales se pueden adquirir a coste cero. Mientras que el uso del deshidratador eléctrico es de HNL 100 por 24 horas y este tiene una capacidad de 50 kg. Para realizar la cuantificación de carotenoides totales se puede hacer uso del espectrofotómetro el cual tiene un costo de HNL118.93 por muestra.

El costo de los reactivos necesarios para este análisis es aproximadamente de HNL 3000 por 4 litros. De acuerdo con el estudio de Viera (2018), los reactivos utilizados fueron acetona y hexano en un promedio de 13.5 y 3.5 mL respectivamente, por lo tanto, el costo de estos sería de HNL 12.75. De esta forma se reducen los costos por análisis de espectrofotometría, los cuales son muy altos.

Cuadro 16. Costo (Lempiras) de producción por kilogramo de tomate en polvo.

Materiales y análisis al tomate en polvo	Costo por 100 kg de tomate fresco o 5.95 kg de tomate en polvo	Costo de 1 kg de tomate en polvo
Desechos de tomate	-	-
Uso del deshidratador por 48 h	200.00	33.62
Uso de espectrofotómetro por muestra	118.93	19.99
Costo de reactivos por muestra	12.75	2.14
Análisis de E.coli	636.22	106.95
Análisis de Salmonella	1,497.10	251.66
Total	L 2,465.00	L 414.37

Tasa de cambio USD 1.00 – HNL24.64

Se determinó que el costo por un kg de tomate en polvo es aproximadamente de HNL414.37, esto en base a una producción semanal. Por lo que se realizará en dos tandas cada una de 50 kg, haciendo uso del deshidratador eléctrico un día para cada tanda. Del total de producción que es 5.95 kg de tomate en polvo se realizarán los respectivos análisis de cuantificación de carotenoides y análisis microbiológicos.

Para la experimentación con jamón Virginia se recomienda realizar un diseño de bloques completamente al azar (BCA), de 4 tratamientos con tres repeticiones en una frecuencia de 0 a 7 días, para un total de 24 unidades experimentales. Una vez obtenido el producto final se recomienda realizar los análisis enunciados a continuación, que se deberán considerar para el presupuesto y planificación de actividades:

Análisis de TBA
Realizar una prueba de sustancias reactivas del ácido 2-tiobarbitúrico (TBAR) usando el espectrofotómetro marca Agilent Technologies Cary 8454 UV-Vis. Posterior a esto se evaluará el nivel de absorbancia de las muestras a través de un espectrofotómetro SPECTRONIC del LAAZ.

Análisis sensorial
Realizar una evaluación sensorial afectiva del producto, a un mínimo de 100 personas inexpertas, las cuales deben evaluar el color, olor, sabor, sabor residual y aceptabilidad del producto en una escala hedónica de 9 puntos siendo 1 = me disgusta extremadamente y 9 = me gusta extremadamente. Se debe realizar una prueba de Chi cuadrado para obtener homogeneidad en los resultados.

Cuantificación de licopeno
Preparar diferentes soluciones de cada muestra. Para obtener la cuantificación de licopeno se utilizará el método de HPLC, espectrofotómetro marca Agilent Technologies Cary 8454 UV-Vis.

Análisis microbiológico
Tomar muestras del producto al inicio y final de los tratamientos, para determinar coliformes totales y bacterias mesófilas aerobias, por métodos de vaciado en placa, Petri film y número más probable.

Diseño experimental
Realizar el análisis de varianza (ANDEVA) y una separación de medias Tukey y Duncan para encontrar diferencias estadísticas entre tratamientos en todas las variables medidas, utilizando el programa SAS® versión 9.4.

Con la finalidad de evaluar la capacidad antioxidante, antimicrobiana y agente colorante del licopeno en jamón, se sugiere realizar los análisis incluidos en el Cuadro 17.

El costo de inversión está dado para la realización de pruebas de TBA (rancidez) y licopeno por HPLC a los cuatro tratamientos al día 7 de almacenamiento, sin ninguna repetición, ya que los costos de estos análisis son los más altos. Mientras que los análisis de color y microbiológicos están dados para los 4 tratamientos y sus tres repeticiones. En el costo total resulta alto, por lo que se recomienda realizar modificaciones en el diseño, así como buscar más patrocinadores. Al obtener los resultados de estos análisis se espera comprobar las propiedades y beneficios del licopeno en los productos cárnicos.

Cuadro 17. Costo de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos de jamón Virginia con tomate en polvo en Zamorano.

Análisis	**Cantidad**	**Precio Unitario (Lempiras)**	**Total (Lempiras)**
Prueba de TBA (rancidez) a los 7 días de almacenamiento.	4	450.00	1,800.00
Color	24	28.13	675.12
Licopeno por HPLC a los 7 días de almacenamiento.	4	1,349.99	5,399.96
Bacterias Mesófilas Aerobias (Alimentos)	24	247.85	5,948.28
Coliformes Totales (Alimentos/Superficies)	24	238.01	5,712.12
Costo total en lempiras			L 19,535.48
Costo total en dólares			$ 792.84

Tasa de cambio USD 1.00 – HNL 24.64

4. CONCLUSIONES

- El licopeno extraído de tomate disminuye la oxidación lipídica y aumenta la calidad nutricional y periodo de vida útil de los productos cárnicos. Con la ingesta de licopeno se previenen enfermedades crónicas como el cáncer.

- El licopeno se extrae a partir de solventes orgánicos, los cuales son tóxicos, por lo que, se han desarrollado otras alternativas como la micro emulsiones, fluidos supercríticos y extracciones asistidas por microondas y ultrasonidos.

- Se propone la adición de tomate en polvo como fuente de licopeno en el jamón Virginia, tomando en cuenta los costos del tomate en polvo, su aplicación y posteriores análisis fisicoquímicos y microbiológicos en el producto final.

5. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios sobre la extracción de carotenoides de desechos de tomate, a través del método de extracción con solventes, para evaluar su rendimiento.

- Evaluar la capacidad antioxidante y nutricional del tomate en polvo añadido en jamones.

- Experimentar con la adición de desechos de tomate en polvo en diferentes productos cárnicos, ya sean curados, crudos, y fermentados.

- Aplicar diferentes variedades de tomate en polvo en los productos cárnicos de Zamorano, iniciando con aquellos de mayor contenido de licopeno.

6. LITERATURA CITADA

Alves AB, Bragagnolo N, da Silva MG, Skibsted LH, Orlien V. 2012. Antioxidant protection of high-pressure processed minced chicken meat by industrial tomato products. Food and Bioproducts Processing. 90(3):499–505. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096030851100085X. doi:10.1016/j.fbp.2011.10.004.

Amiri-Rigi A, Abbasi S. 2016. Microemulsion-based lycopene extraction: Effect of surfactants, co-surfactants and pretreatments. Food Chem. 197(Pt A):1002–1007. eng. doi:10.1016/j.foodchem.2015.11.077.

Amiri-Rigi A, Abbasi S. 2017. Stability assessment of lycopene microemulsion prepared using tomato industrial waste against various processing conditions. J Sci Food Agric. 97(14):4922–4928. eng. doi:10.1002/jsfa.8368.

An B-K, Kim D-H, Joo W-D, Kang C-W, Lee K-W. 2019. Effects of lycopene and tomato paste on oxidative stability and fatty acid composition of fresh belly meat in finishing pigs. Italian Journal of Animal Science. 18(1):630–635. doi:10.1080/1828051X.2018.1549963.

Anton D, Koskar J, Raudsepp P, Meremäe K, Kaart T, Püssa T, Roasto M. 2019. Antimicrobial and Antioxidative Effects of Plant Powders in Raw and Cooked Minced Pork. Foods. 8(12). eng. doi:10.3390/foods8120661.

Arab L, Steck S. 2000. Lycopene and cardiovascular disease. The American Journal of Clinical Nutrition. [12/08/2019]. 71: 1691-1695S, https://doi.org/10.1093/ajcn/71.6.1691S

Bhat NA, Wani IA, Hamdani AM. 2020. Tomato powder and crude lycopene as a source of natural antioxidants in whole wheat flour cookies. Heliyon. 6(1):e03042. eng. doi:10.1016/j.heliyon.2019.e03042.

Bhowmik D, Sampath KP, Paswan S, Srivastva S. 2012. Tomato-A Natural Medicine and Its Health Benefits. India: Universidad de Karpagam. [12/08/2019]. 1:1-13. https://www.researchgate.net/profile/Shravan_Paswan2/publication/285176270_TomatoA_Natural_Medicine_and_Its_Health_Benefits_INTRODUCTION_Tomatoes_are_a_member_of/links/565c42f108ae4988a7bb6751/Tomato-A-Natural-Medicine-and-Its-Health-Benefits-INTRODUCTION-Tomatoes-are-a-member-of.pdf

Calvo MM, García ML, Selgas MD. 2008. Dry fermented sausages enriched with lycopene from tomato peel. Meat science. 80(2):167–172. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174007003889. doi:10.1016/j.meatsci.2007.11.016.

Chaudhary P, Sharma A, Singh B, Nagpal AK. 2018. Bioactivities of phytochemicals present in tomato. J Food Sci Technol. 55(8):2833–2849. eng. doi:10.1007/s13197-018-3221-z.

Chen P, Zhang W, Wang X, Zhao K, Negi DS, Zhuo L, Qi M, Wang X, Zhang X. 2015. Lycopene and Risk of Prostate Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. Medicine (Baltimore). 94(33):e1260. eng. doi:10.1097/MD.0000000000001260.

Ciriminna R, Fidalgo A, Meneguzzo F, Ilharco LM, Pagliaro M. 2016. Lycopene: Emerging Production Methods and Applications of a Valued Carotenoid. ACS Sustainable Chem. Eng. 4(3):643–650. doi:10.1021/acssuschemeng.5b01516.

Codex Alimentarius. 2019. General standard for food additives: Codex. 119–121 (vol. 20) (192-1995). 2019; [actualizado 2019]. http://www.fao.org/gsfaonline/docs/CXS_192e.pdf.

Doménech-Asensi G, García-Alonso FJ, Martínez E, Santaella M, Martín-Pozuelo G, Bravo S, Periago MJ. 2013. Effect of the addition of tomato paste on the nutritional and sensory properties of mortadella. Meat science. 93(2):213–219. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174012003002. doi:10.1016/j.meatsci.2012.08.021.

Domínguez R, Gullón P, Pateiro M, Munekata PES, Zhang W, Lorenzo JM. 2020. Tomato as Potential Source of Natural Additives for Meat Industry. A Review. Antioxidants (Basel). 9(1). eng. doi:10.3390/antiox9010073.

Friedman M. 2013. Anticarcinogenic, cardioprotective, and other health benefits of tomato compounds lycopene, α-tomatine, and tomatidine in pure form and in fresh and processed tomatoes. Journal of agricultural and food chemistry. 61(40). https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24079774/. doi:10.1021/jf402654e.

Gallego M, Arnal M, Talens P, Toldrá F, Mora L. 2020. Effect of Gelatin Coating Enriched with Antioxidant Tomato By-Products on the Quality of Pork Meat. Polymers (Basel). 12(5). eng. doi:10.3390/polym12051032.

Gámez Losada, María del Carmen. 2017. Aprovechamiento de derivados de tomate, como fuente de licopeno, en productos cárnicos tradicionales y tratados con radiaciones ionizantes. Madrid: UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN, BROMATOLOGÍA Y. http://eprints.ucm.es/45731/1/T39449.pdf.

Ghafouri-Oskuei H, Javadi A, Saeidi Asl MR, Azadmard-Damirchi S, Armin M. 2020. Quality properties of sausage incorporated with flaxseed and tomato powders. Meat Sci. 161:107957. eng. doi:10.1016/j.meatsci.2019.107957.

González-Córdova AF, Álvarez-Parrilla E, García Galindo HS, Vallejo-Cordoba B. 2014. Los alimentos funcionales: Un nuevo reto para la industria de alimentos. Primera edición. González-Aguilar GA, editor. Hermosillo, Sonora, México, México, D.F.: CIAD; AGT Editor, S.A. xvii, 687 páginas. ISBN: 978-607-7551-37-9.

Hayes JE, Canonico I, Allen P. 2013. Effects of organic tomato pulp powder and nitrite level on the physicochemical, textural and sensory properties of pork luncheon roll. Meat science. 95(3):755–762. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0309174013001721. doi:10.1016/j.meatsci.2013.04.049.

Ho KKHY, Ferruzzi MG, Liceaga AM, San Martín-González MF. 2015. Microwave-assisted extraction of lycopene in tomato peels: Effect of extraction conditions on all-trans and cis-isomer yields. LWT - Food Science and Technology. 62(1):160–168. doi:10.1016/j.lwt.2014.12.061.

Indiamart. 2020. Lycopene at Best Price in India: What is the best price of Lycopene per Kg?; [actualizado el 27 de sep. de 2020.000Z; consultado el 27 de sep. de 2020.496Z]. https://dir.indiamart.com/impcat/lycopene.html.

Jiang H, Wang Z, Ma Y, Qu Y, Lu X, Luo H. 2015. Effects of Dietary Lycopene Supplementation on Plasma Lipid Profile, Lipid Peroxidation and Antioxidant Defense System in Feedlot Bamei Lamb. Asian-australas J Anim Sci. 28(7):958–965. eng. doi:10.5713/ajas.14.0887.

Jouki M, Rabbani M, Shakouri MJ. 2020. Effects of pectin and tomato paste as a natural antioxidant on inhibition of lipid oxidation and production of functional chicken breast sausage. Food Sci. Technol. doi:10.1590/fst.26419.

Kehili M, Kammlott M, Choura S, Zammel A, Zetzl C, Smirnova I, Allouche N, Sayadi S. 2017. Supercritical CO 2 extraction and antioxidant activity of lycopene and β-carotene-enriched oleoresin from tomato (Lycopersicum esculentum L.) peels by-product of a Tunisian industry. Food and Bioproducts Processing. 102:340–349. doi:10.1016/j.fbp.2017.02.002.

Kim IS, Jin SK, Mandal PK, Kang SN. 2011. Quality of low-fat pork sausages with tomato powder as colour and functional additive during refrigerated storage. South Korea: J Food Sci Technol. [2019-08-14].48(5):591–597. doi:10.1007/s13197-010-0182-2

Kim HS, Chin KB. 2016. Effects of Drying Temperature on Antioxidant Activities of Tomato Powder and Storage Stability of Pork Patties. Korean J Food Sci Anim Resour. 36(1):51–60. eng. doi:10.5851/kosfa.2016.36.1.51.

Kim HS, Chin KB. 2017. Evaluation of Antioxidative Activity of Various Levels of Ethanol Extracted Tomato Powder and Application to Pork Patties. Korean J Food Sci Anim Resour. 37(2):242–253. eng. doi:10.5851/kosfa.2017.37.2.242.

Kumcuoglu S, Yilmaz T, Tavman S. 2014. Ultrasound assisted extraction of lycopene from tomato processing wastes. Journal of food science and technology. 51(12):4102–4107. eng. doi:10.1007/s13197-013-0926-x.

Martín VJ. 2007. Consumo de carne y productos cárnicos. España: Universidad Complutense de Madrid. [12/08/2019]. 1: 1-16. https://www.mercasa.es/media/publicaciones/70/1288280807_DYC_2007_94_5_28.pdf

Moritz B, Cardoso VL. 2006. La biodisponibilidad del licopeno. Brasil: Universidad Federal de Santa Catarina. [12/08/2019]. 19:1-19. http://dx.doi.org/10.1590/S1415-52732006000200013

Mozos I, Stoian D, Caraba A, Malainer C, Horbańczuk JO, Atanasov AG. 2018. Lycopene and Vascular Health. Front Pharmacol. 9:521. eng. doi:10.3389/fphar.2018.00521.

Müller L, Caris-Veyrat C, Lowe G, Böhm V. 2016. Lycopene and Its Antioxidant Role in the Prevention of Cardiovascular Diseases-A Critical Review. Crit Rev Food Sci Nutr. 56(11):1868–1879. eng. doi:10.1080/10408398.2013.801827.

Obadina A, Ibrahim J, Adekoya I. 2018. Influence of drying temperature and storage period on the quality of cherry and plum tomato powder. Food Sci Nutr. 6(4):1146–1153. eng. doi:10.1002/fsn3.658.

Østerlie M, Lerfall J. 2005. Lycopene from tomato products added minced meat: Effect on storage quality and colour. Food Research International. 38(8):925–929. http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0963996905000979. doi:10.1016/j.foodres.2004.12.003.

Quiroga Andrés, Worlock Jessica, Urfalino Delia Paola. 2011. Determinación del contenido de licopeno en nuevos cultivares de tomate; [consultado el 18 de oct. de 2020]. 7. https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-efecto_del_deshidratado_en_el_contenido_de_licopeno_e.pdf.

Sanchez P. 2018. Propuesta de un sistema de costeo por órdenes de producción en la planta de cárnicos, Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana; [consultado el 27 de may. de 2020]. http://hdl.handle.net/11036/6286.

Savadkoohi S, Hoogenkamp H, Shamsi K, Farahnaky A. 2014. Color, sensory and textural attributes of beef frankfurter, beef ham and meat-free sausage containing tomato pomace. Meat science. 97(4). https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24769097/. doi:10.1016/j.meatsci.2014.03.017.

Sharma A, Kaur M, Katnoria JK, Nagpal AK. 2018. Polyphenols in Food: Cancer Prevention and Apoptosis Induction. Curr Med Chem. 25(36):4740–4757. eng. doi:10.2174/0929867324666171006144208.

Skiepko N, Chwastowska-Siwiecka I, Kondratowicz J, Mikulski D. 2016. Fatty acid profile, total cholesterol, vitamin content, and TBARS value of turkey breast muscle cured with the addition of lycopene. Poult Sci. 95(5):1182–1190. eng. doi:10.3382/ps/pew005.psu.2020.5&rft.externalDBID=DOA&rft.externalDocID=oai_doaj_org_article_05bc4c8c5bc44f3cbc274916528f66af&paramdict=en-US. doi:10.14456/sjst-psu.2020.5.

So S, Uriyapongson S, Uriyapongson J. 2020. Effects of dried tomato waste powder levels on lycopene content, lipid oxidation, color, antioxidant activity, and sensory properties of frankfurter sausage made from Thai native beef. Wārasān Songkhlā Nakharin. 42(1):27–34.

Sri Harsha PSC, Lavelli V. 2019. Effects of Maltodextrins on the Kinetics of Lycopene and Chlorogenic Acid Degradation in Dried Tomato. Molecules. 24(6). eng. doi:10.3390/molecules24061042.

Story EN, Kopec RE, Schwartz SJ, Harris GK. 2010. An update on the health effects of tomato lycopene. Annu Rev Food Sci Technol. 1:189–210. eng. doi:10.1146/annurev.food.102308.124120.

Strati IF, Oreopoulou V. 2011. Effect of extraction parameters on the carotenoid recovery from tomato waste. International Journal of Food Science & Technology. 46(1):23–29. doi:10.1111/j.1365-2621.2010.02496.x.

Transparency Market Research. 2020. Lycopene Market - Global Industry Analysis 2024. [actualizado el 27 de sep. de 2020.000Z; consultado el 27 de sep. de 2020.799Z]. https://www.transparencymarketresearch.com/lycopene-market.html.

Viera D, Maldonado L, Cardona J, Boully L. 2018. Optimización de extracción y microencapsulación de carotenoides totales de tomate (Solanum lycopersicum var. Manzano.) mediante secado por aspersión. Zamorano, Honduras: Escuela Agrícola Panamericana; [consultado el 27 de may. de 2020]. http://hdl.handle.net/11036/6302.

Younes M, Aggett P, Aguilar F, Crebelli R, Dusemund B, Filipič M, Frutos MJ, Galtier P, Gundert-Remy U, Kuhnle GG, et al. 2017. Extension of use of lycopene (E 160d) to certain meat preparations, meat products and fruit and vegetable preparations. EFSA J. 15(12):e05064. eng. doi:10.2903/j.efsa.2017.5064.

Waliszawski KN, Blaco G. 2010. Propiedades nutraceúticas del licopeno. México: Salud Publica Mex. [12/08/2019] 52:254-265. https://www.medigraphic.com/pdfs/salpubmex/sal-2010/sal103j.pdf

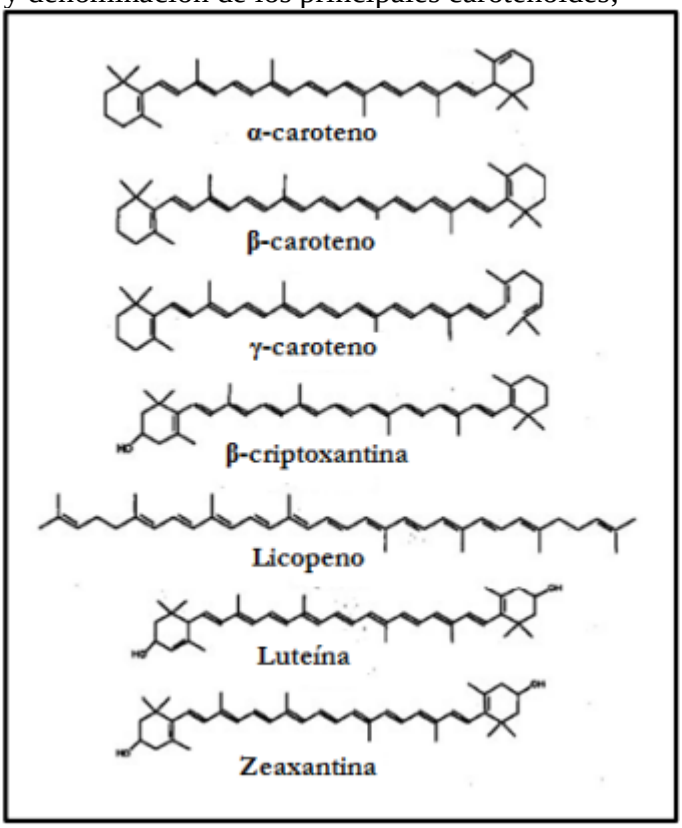
World Cancer Research Fund. 2007. Food, nutrition and the prevention of cancer: A global perspective. Washington, D.C: American Institute for Cancer Research.

Xia H, Liu C, Li C-C, Fu M, Takahashi S, Hu K-Q, Aizawa K, Hiroyuki S, Wu G, Zhao L, et al. 2018. Dietary Tomato Powder Inhibits High-Fat Diet-Promoted Hepatocellular Carcinoma with Alteration of Gut Microbiota in Mice Lacking Carotenoid Cleavage Enzymes. Cancer Prev Res (Phila). 11(12):797–810. eng. doi:10.1158/1940-6207.CAPR-18-0188.

Xu C, Qu Y, Hopkins DL, Liu C, Wang B, Gao Y, Luo H. 2019. Dietary lycopene powder improves meat oxidative stability in Hu lambs. J Sci Food Agric. 99(3):1145–1152. eng. doi:10.1002/jsfa.9282.

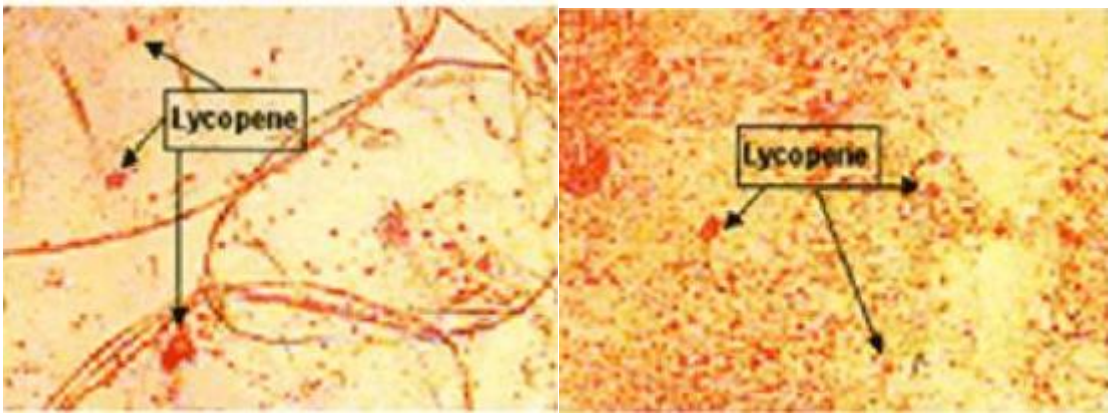
7. ANEXOS

Anexo 1. Estructura y denominación de los principales carotenoides,



Fuente: Gámez 2020

Anexo 2. Imágenes microscópicas de células en el tomate (izquierda) y en el zumo de tomate (derecha)



Fuente: Gámez 2020

Anexo 3. Condiciones de extracción y disolventes orgánicos aplicados en la recuperación de carotenoides de subproductos del tomate.

Material	Solvente	T (° C)	Tiempo (min)	Relación S / S [1]	Técnica auxiliar	Rendimiento
Piel	Hexano / acetona / etanol (2: 1: 1)	50	8 (× 4)	1:30	-	1.99 [a]
Piel + semillas	Hexano	70	30	1:10	-	3.45 [b]
	Acetona	50				5.19 [b]
	Etanol	70				1.76 [b]
	Acetato de etilo					4.62 [b]
	Lactato de etilo					24.3 [b]
Piel + semillas	Etanol	25	30	1:10	-	0.61 [b]
	Hexano					2.52 [b]
	Acetato de etilo					3.15 [b]
	Acetona					3.34 [b]
	Hexano / etanol (50:50)					2.81 [b]
	Hexano / acetona (50:50)					3.05 [b]
	Hexano / acetato de etilo (50:50)					3.65 [b]
	Hexano / acetato de etilo (45:55)			1: 9		3.75 [b]
Pulpa	Hexano / etanol / acetona (60:20:20)	-	24 h	1: 2	-	0.36 [una]
		20	10		HHPE (450 MPa)	2.01 [una]
		5	30	1:35	Emiratos Árabes Unidos (90W)	8.99 [a]
					Emiratos Árabes Unidos (90W)	7.69 [a]
Piel + semillas + pulpa	Hexano / etanol (50:50)	45	6	1:33	Manosonicación UUP (50 kPa / amplitud estadounidense 94 µm)	14.08 [b]
Pelar	Acetato de etilo	-	1	1:20	MAE (400 W)	13.87 [una]
Piel + semillas + pulpa	Acetato de etilo	86,4	29,1	1: 8	Emiratos Árabes Unidos (50 W)	89.4% [c]
		-	6.1	1: 10,6	UMAE (98 W)	97.4% [c]

Fuente: Domínguez 2020

T: temperatura; [1] Relación sólido / disolvente; - datos no disponibles o técnica auxiliar no utilizada; HHPE: extracción a alta presión hidrostática; EAU: extracción asistida por ultrasonido; UMAE: extracción asistida por ultrasonido / microondas; UPP: ultrasonidos bajo presión; MAE: extracción asistida por microondas; [a] mg de licopeno / 100 g; [b] mg de carotenoides / 100 g; [c] % del licopeno total.

Anexo 4. Entrevista al Dr. Luis Maldonado, responsable del Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano (LAAZ).

¿En qué lugar se puede extraer licopeno en Zamorano?

Para realizar procesos de extracción a pequeña escala, el LAAZ cuenta con los quipos y solventes necesario. Mientras que, si se desea realizar a escala industrial, se podría realizar en la PIA (Planta de Innovación de Alimentos) dependiendo si la extracción es en polvo o en algún tipo de encapsulación de matriz, se usaría el secador por aspersión.

¿Cuáles son los métodos disponibles para la extracción de licopeno en Zamorano?

El método de extracción de licopeno disponible en Zamorano es la extracción través de mezcla de solventes orgánicos, existen otros métodos más efectivos como la extracción por fluidos supercríticos, es menos dañino, pero el LAAZ no cuenta con el equipo.

¿Qué aparatos son usados para la extracción de licopeno en Zamorano?

Principalmente se utilizaría cristalería donde estaría el material de tomate, después una especie de agitador para mezclar el solvente con el tomate. Después de este proceso de extracción se necesitará un proceso de Secado atreves de un destilador. Este nos permitirá separar solvente con el resto de los componentes. Antes de esto un separador de fases a partir de la misma cristalería etil/ acetato, luego evaporar el polvo. Si se desea encapsular el licopeno se necesitaría comprar el material encapsulante como almidón o maltodextrina. El siguiente paso sería utilizar un equipo para el secado como un spray dyer (secado por aspersión) o un liofilizador. Obteniendo como resultado el licopeno encapsulado. Posterior a esto se debería evaluar su pureza por análisis de cromatografía liquida. Con este producto seco si se trata de encapsular comprar maltodextrinas o material encapsulante. Un spray dryer o el liofilizador. También se debería evaluar la pureza.

¿Cuál es el costo por extracción de licopeno?

El costo depende de los tipos de solventes si es uno solo o una combinación.

¿Qué métodos tiene el laboratorio para la cuantificación de licopeno?

Actualmente se puede hacer por absorbancia (UV visible) y el más efectivo es el HPLC, sin embargo, se debería adquirir una columna.

¿Cuál es el costo por cuantificación de licopeno?

Alrededor de 2000 lempiras.

¿Cuántos análisis de cuantificación se deben realizar?

Si se quiere hacer una aplicación directa solo uno, si es encapsulación, se necesitarían dos para saber cuánto se usó y cuanto se obtuvo al final de esta.

Si se quiere saber cuánto licopeno existe en el producto cárnico, debe realizar un conteo del producto final.

¿Que resultaría más barato extraer o comprar licopeno?

De acuerdo con los precios del mercado es mejor extraerlo que comprarlo.

Anexo 5. Entrevista a la Dra. Adela Acosta responsable de la planta de cárnicos de Zamorano.

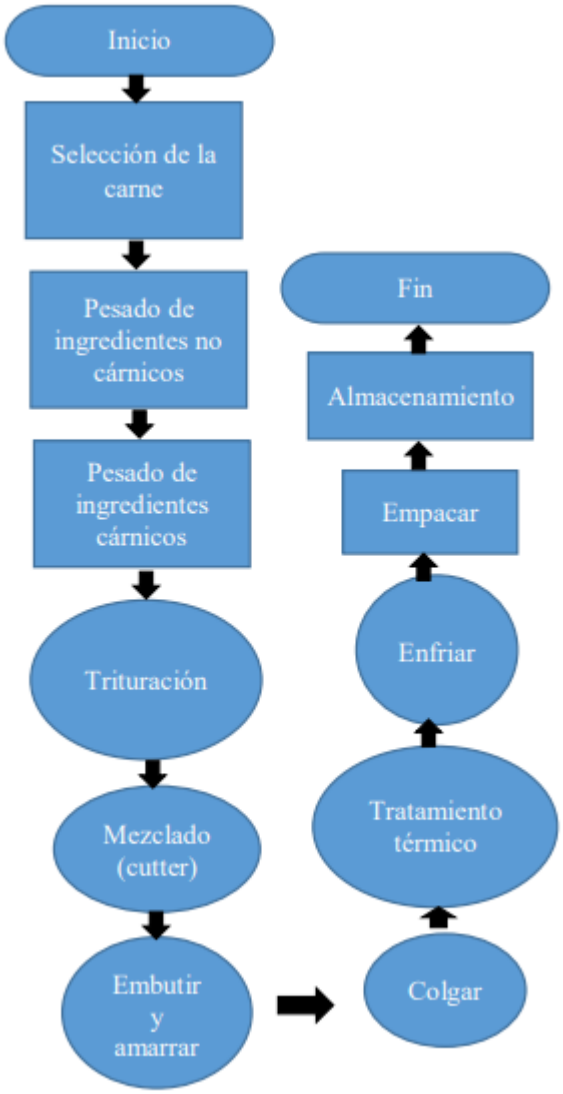
¿Ha escuchado hablar acerca de los beneficios del uso de licopeno en productos cárnicos? Si, es así ¿Qué piensa de ello?
Sí, creo que es un campo de interés para la industria cárnica ya que el licopeno tiene muchas bondades reconocidas desde el punto de vista de nutrición y además ha demostrado resultados positivos en el mantenimiento del color de los embutidos.

¿Estaría de acuerdo con hacer uso de licopeno en los productos de cárnicos de Zamorano?
Claro que sí, deberíamos analizar en qué productos podríamos hacer una adición de propiedades nutricionales y aprovecharíamos las ventajas de color.

¿**En qué productos piensa usted que sería más práctico utilizar el licopeno?, ¿Por qué?**
Opciones principales sería jamones, ya que son una línea baja en grasa y de alto valor. Esto se presta a que puedan favorecerse de una línea con adiciones nutricionales y sería favorecido también con un colorante natural.

¿La planta estaría de acuerdo en financiar en un futuro estudios y experimentaciones de licopeno en sus productos cárnicos?
Estaría de acuerdo con realizar investigaciones y proyectos de graduación en este tema.

Anexo 6. Diagrama de flujo de proceso jamón Virginia.



Fuente: Sanchez 2018