

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN- TACNA

Facultad de Ingeniería

Escuela Profesional de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL ACEITE ESENCIAL
DE ORÉGANO (*Origanum Vulgare*) Y PASTA DE AJO (*Allium
Sativum*) SOBRE LA ESTABILIDAD FISICOQUÍMICA Y
SENSORIAL DEL CHORIZO DE CERDO**

TESIS

Presentada por:

Bach. JANNETH LORENA MAQUI VALDIVIA

Para optar el Título profesional de:

INGENIERO QUÍMICO

TACNA – PERÚ

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN – TACNA

Facultad de Ingeniería


Escuela Profesional de Ingeniería Química

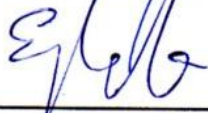
EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL ACEITE ESENCIAL DE ORÉGANO (*Origanum Vulgare*) Y PASTA DE AJO (*Allium Sativum*) SOBRE LA ESTABILIDAD FISICOQUÍMICA Y SENSORIAL DEL CHORIZO DE CERDO

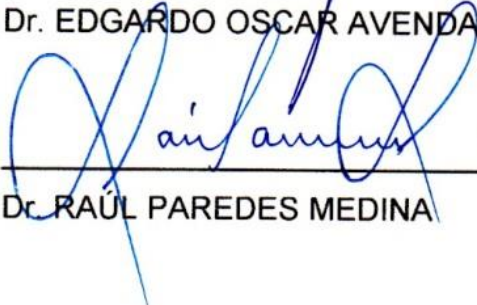
Sustentada y aprobada el 19 de enero del 2017 siendo el jurado calificador

Jurados:

Presidente : 
Mgr. MANUEL DE JESÚS SANCHEZ ROSALES

Secretario : 
Mgr. PEDRO NOLAZCO CORNEJO DEL CARPIO

Vocal : 
Dr. EDGARDO OSCAR AVENDAÑO CÁCERES

Asesor : 
Dr. RAÚL PAREDES MEDINA

AGRADECIMIENTO

En especial a las siguientes persona:

Al asesor Dr. Raúl Paredes Medina por su compromiso con la presente tesis.

Al Docente Alfredo Mamani por su apoyo en el laboratorio de Química Analítica de la FACI.

Al Dr. Hugo Canahua Loza por su apoyo académico.

Al Mgr. Arístedis Choquehuanca por su tiempo, paciencia y orientación académica.

Al Ing. Edwin Renatto Torre Lázaro por su iniciativa, consejos, fortaleza y predisposición.

Al Sr. Juan Antonio Aguilar A. por su colaboración con la presente tesis.

Al Ing. Pedro Cornejo del Carpio por su colaboración y apoyo académico.

A la señora Eleana Castillo Camacho por las muestras de afecto, apoyo y gestión.

Muchas gracias a todos ustedes, sin ustedes no hubiera podido desarrollar con éxito la presente tesis.

DEDICATORIA

La presente tesis está dedicada a Dios, que gracias a él he logrado concluir mi carrera, a mis señores padres, a mis hermanos, a mi esposo por su apoyo constante, a mi ángel de la guarda mi abuelita Candelaria quien siempre tuvo la certeza que lograría el objetivo y de manera especial a mi fuente de orgullo y motivación, mis tres hermosas hijas: Olenka, Daphne y Flavia quienes con su amor y sonrisas libraron mi mente de todas las adversidades que se me presentaron y me impulsan día a día a superarme en la carrera profesional ofreciendo lo mejor.

CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE ANEXOS	xi
RESUMEN	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DE INVESTIGACIÓN	4
1.1 Descripción del problema	4
1.1.1 Antecedente del problema	4
1.1.2 Problemática de la investigación	6
1.2 Formulación del problema	7
1.3 Justificación e importancia	8
1.4 Alcances y limitaciones	9
1.5 Objetivos	9
1.5.1 Objetivo general	9
1.5.2 Objetivos específicos	10
1.6 Hipótesis	10
1.6.1 Hipótesis global	10
1.6.2 Subhipótesis	10

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	11
2.1 Antecedentes	11
2.2 Bases teóricas	12
2.2.1 El ajo	13
2.2.2 Pasta de ajo	17
2.2.3 El orégano	17
2.2.4 Autooxidación de los lípidos	20
2.2.5 Uso de antioxidantes	25
2.2.6 Grasa de porcino	29
2.2.7 Decoloración por enranciamiento de la grasa	30
2.2.8 Efecto de la oxidación sobre la calidad de la carne	31
2.2.9 Proceso de elaboración del chorizo	34
2.2.10 Análisis sensorial	38
2.3 Definición de términos	40
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO	41
3.1 Tipo y diseño de la investigación	41
3.2 Población y muestra (según el caso)	42
3.3 Operacionalización de variables	43
3.4 Técnicas e instrumentos para recolección de datos	44
3.4.1 Procedimientos previos (extracción de aceite esencial de orégano)	44

3.4.2	Diseño de la investigación	45
3.4.3	Métodos	49
3.5	Procesamiento y análisis de datos	57
3.5.1	Procesamiento de datos	57
3.5.2	Análisis de datos	57
	CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
4.1	Resultados	59
4.1.1	Aceptabilidad sensorial	59
4.1.2	Estabilidad de las propiedades fisicoquímicas	77
4.2	Discusiones	84
4.2.1	Con respecto al color	84
4.2.2	Con respecto al sabor	85
4.2.3	Con respecto a la pH y la acidez	87
4.2.4	Con respecto a los peróxidos	88
	CONCLUSIONES	90
	RECOMENDACIONES	92
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
	ANEXOS	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dientes y bulbos de ajo	13
Figura 2. Descomposición de la Alicina en Ácido 2-propensulfénico	16
Figura 3. Hojas de orégano en rama	18
Figura 4. Esquema de la oxidación de ácidos grasos insaturados	22
Figura 5. Oxidación de los ácidos grasos poli insaturados (PUFA) y formación de productos primarios (hidroperóxidos) y secundarios (compuestos no volátiles y volátiles responsables del aroma desagradable)	24
Figura 6. Efecto de los antioxidantes sobre la velocidad de oxidación de los lípidos: (a) grasa sin antioxidante; (b) grasa con antioxidante.	27
Figura 7. Grasa en la carne de cerdo	30
Figura 8. Equipos de extracción por arrastre de vapor	44
Figura 9. Aceite esencial de orégano y pasta de ajo utilizados en la elaboración de chorizo de cerdo	45
Figura 10. Mezclado de las carnes y grasa	48
Figura 11. Diseño experimental para el estudio de la estabilidad fisicoquímica y sensorial del chorizo	49

Figura 26. Evolución de la acidez durante el tiempo de almacenamiento	79
Figura 27. Evolución de la acidez durante el tiempo de almacenamiento	80
Figura 28. Evolución del índice de peróxidos durante el tiempo de almacenamiento	81
Figura 29. Muestras de chorizo en estudio	82
Figura 30. Flujo definitivo para la evaluación del chorizo con adición de aceite esencial de orégano y pasta ajo	83
Figura 31. Estructura química del Carvacrol o Cymophenol.	89
Figura 32. Extracción de aceite esencial de orégano	104
Figura 33. Ingredientes para la elaboración del chorizo	105
Figura 34. Fase de mezclado	105
Figura 35. Proceso de embutido	106
Figura 36. Oreado de chorizos	106
Figura 37. Preparación de la muestra en estudio	107
Figura 38. Chorizos en conservación	107
Figura 39. Extracción de aceite esencial de orégano	108
Figura 40. Análisis sensorial	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química proximal del ajo	14
Tabla 2. Niveles de las variables independientes	40
Tabla 3. Tratamientos según diseño centrado en las caras con los niveles codificados y reales	41
Tabla 4. Operacionalización de variables	42
Tabla 5. Análisis de aceptabilidad sensorial del chorizo de cerdo	58
Tabla 6. Análisis de varianza para la aceptabilidad sensorial del color	61
Tabla 7. Análisis de varianza para la aceptabilidad sensorial del sabor	70
Tabla 8. Resultados de estabilidad fisicoquímica de muestra estudiada	76
Tabla 9. Resultados de estabilidad fisicoquímica de muestra comercial	77

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Cartilla de análisis sensorial según escala no estructurada	102
Anexo 2. Operaciones realizadas en la elaboración de chorizo	103
Anexo 3. Análisis fisicoquímicos y sensoriales realizados	107
Anexo 4. Norma técnica referida a la grasa animal	108
Anexo 5. Determinación de los puntos críticos	112

RESUMEN

El presente trabajo propone evaluar la Influencia del aceite esencial de orégano y la pasta de ajo sobre la aceptabilidad sensorial del chorizo de cerdo y su estabilidad fisicoquímica. Se utilizó el diseño central compuesto de dos factores centrado en las caras para dos variables con 11 muestras. Aplicando la metodología de superficie de respuesta se determinó que al nivel de significancia del 0,05 la influencia sobre la aceptabilidad del color del chorizo resulto significativa a pesar que individualmente ningún coeficiente resultara significativo. La estabilidad fisicoquímica de la muestra optimizada según la variación del índice de peróxidos (6,2 meq/kg) establece un tiempo de vida útil de 40 días en conservación por refrigeración y envasado en plástico termoencogible.

INTRODUCCIÓN

La carne es la principal fuente de proteínas para la alimentación de los seres humanos, ya que, aporta todos los aminoácidos necesarios que son esenciales para el organismo. Generalmente, se expende en estado refrigerado y se almacena bajo congelación hasta su consumo. Sin embargo, también se preparan productos a partir de la carne que mediante la adición de sustancias que modifican sus propiedades funcionales y organolépticas, resultan más atractivos y permanecen sin descomponerse en las tiendas y mercados por largos periodos de tiempo. Uno de esos productos es el chorizo, un embutido muy apreciado por los consumidores.

Según Müller y Ardoíno, (2 002) son muy variadas las materias primas que son utilizadas en la elaboración de embutidos, bien se podría decir que ellas son de origen animal, mineral y vegetal. Dentro de estos componentes, son las carnes y productos cárnicos los que tienen mayor importancia. Las materias primas más utilizadas son: carnes de vacuno, porcino, equino, etc, así como sal común, azúcar, agua, hielo en

escamas, condimentos y especias, añadiendo los antioxidantes, conservadores, saborizantes, colorantes y los aglutinantes.

Además de estos productos, muchas veces se recurre a otros, tales como hielo, vino, coñac, vinagre puro de vino, aceite; colorantes naturales y artificiales; condimentos, que no son, sino una mezcla de especias, sal y ciertos productos químicos más harinas. Dentro de los productos químicos que son muy usuales, se tienen: nitratos, nitritos, fosfatos, antioxidantes como el BHT (hidroxitoluol butilado), BAH (hidroxianisol butilado), citrato de sodio, conservadores artificiales como: benzoato sódico, sorbato sódico, sorbato potásico; saborizantes, como: glutamato monosódico/esencia de caramelo (Müller y Ardoíno, 2 002).

La calidad y cantidad de ingredientes que son utilizados determinan características muy singulares influyendo en los diversos productos elaborados, como ser en sus componentes químicos de los ingredientes, reacciones químicas y bioquímicas, efectos de agentes físicos sobre las sustancias químicas y efectos de agentes químicos sobre la masa. De esta forma el industrial salchichero debe conocer las principales características químicas de los ingredientes mayoritarios, carnes y productos cárnicos, para lograr a través de las operaciones en el

procesamiento, explicarse de ciertos cambios, que repercutirán en mantener la calidad del producto elaborado.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción del problema

1.1.1 Antecedente del problema

Amadio et al, (2 009) trabajaron con aceite esencial obtenido por arrastre por vapor de *Origanum x applii* (criollo) y *Origanum x majoricum* (mendocino), cultivados en La Consulta, Mendoza, Argentina. Para evaluar su poder antioxidante y conservante en alimentos, y se determinó: rendimiento, polifenoles totales, cuantificación de timol y carvacrol mediante cromatografía en capa fina de alta resolución (HPTLC) y capacidad de secuestro de radicales libres (DPPH). Los aceites esenciales de oréganos producidos en Mendoza (*O. x applii* y *O. x majoricum*) contienen compuestos fenólicos, entre los que se destaca el timol. Si bien el rendimiento en aceite esencial del *O. x majoricum* ($3,4 \pm 0,2$ %) es superior al del *O. x applii* ($1,8 \pm 0,1$), su contenido de timol es significativamente menor. En bajas concentraciones (35 mg/L) es seis veces más efectivo, por su capacidad de captura de radicales libres el *O. x applii* que el *O. x majoricum* y en mayores dosis (920

mg/L), su actividad es similar: ambos capturan más del 90 % del DPPH. Ambos oréganos inhiben el desarrollo de las bacterias patógenas y la mayoría de las lácticas ensayadas. El *Origanum x majoricum* es más efectivo que el *Origanum x aplii*. Los aceites esenciales de *Origanum x majoricum* y el de *Origanum x aplii* son una buena fuente de compuestos fenólicos capaces de proteger contra la oxidación, secuestrando radicales libres y con acción antibacteriana que se podrían incorporar a alimentos para prolongar su vida útil.

Crespo y Millan (1977), estudiaron las modificaciones experimentadas por el índice de acidez y el índice de peróxidos de la grasa del salchichón durante el proceso de maduración. Se ha observado una intensa lipólisis, con aumento de 20 veces en la concentración de los ácidos grasos libres, que al final del proceso representaban un 2,49 % del total del embutido. Asimismo se ha apreciado un considerable aumento del índice de peróxidos con valores, al final del proceso, superiores a los considerados como límite de detección sensorial del enranciamiento.

1.1.2 Problemática de la investigación

Durante años se han desarrollado diversas estrategias para prevenir el deterioro oxidativo en productos de origen cárnico mediante el empleo de antioxidantes. La mayoría de estas estrategias se han centrado en limitar el acceso del oxígeno a los componentes de la carne susceptibles de sufrir fenómenos de oxidación como lípidos y proteínas. Al mismo tiempo se han desarrollado nuevos métodos de almacenamiento como el envasado al vacío o el envasado en atmósfera modificada con el fin de prevenir la aparición de fenómenos de oxidación en el producto final (Pettersen et al., 2 004; Lund et al., 2 007).

Una forma de reducir la aparición de fenómenos de oxidación en la carne y/o los productos cárnicos es el uso de antioxidantes. El término "antioxidante" se atribuye generalmente "a toda sustancia que hallándose presente a bajas concentraciones, con respecto a las de un sustrato oxidable, retarda o previene la oxidación de dicho sustrato" (Halliwell y Gutteridge, 1 990). De tal manera que, al reaccionar con el radical libre la sustancia antioxidante le cede un electrón oxidándose a su vez y transformándose en un radical débil, con escasos o nulos efectos tóxicos.

Los aditivos sintéticos se han empleado en alimentos durante décadas para su conservación. No obstante, se ha observado que el incremento en el consumo de estos compuestos han sido relacionados con problemas de salud y cómo consecuencia se ha reducido su aceptación en alimentos (Namiki, 1990).

Las especias como el clavo, el ajo, el tomillo, la pimienta, el romero y el orégano, entre otros, han sido usadas desde tiempos ancestrales debido a sus propiedades medicinales y conservantes y porque además aportan flavor y aroma a los alimentos (Edris, 2007).

En la actualidad numerosas investigaciones han demostrado que los aceites esenciales de estas especias aromáticas poseen propiedades antioxidantes (Irianda, 2010).

1.2 Formulación del problema

Problema general

¿Cómo influirá el aceite esencial del orégano y pasta de ajo sobre la estabilidad fisicoquímica y sensorial del chorizo de cerdo?

Problemas específicos

- ¿Cómo influirá la concentración de aceite esencial de orégano y la pasta de ajo en la aceptabilidad sensorial del chorizo de cerdo?
- ¿Cómo influirá la concentración de aceite esencial de orégano y la pasta de ajo en la estabilidad de las propiedades fisicoquímicas del chorizo de cerdo?

1.3 Justificación e importancia

La reacción de oxidación de lípidos es uno de los procesos más importante en la química de los alimentos e implica una de las áreas de investigación de mayor estudio en los últimos años. El uso de antioxidantes en la industria alimentaria representa el desembolso de grandes sumas de dinero; sin embargo, en la mayoría de los casos se hace de una manera indiscriminada, sin conocer la química de dichos compuestos.

Durante el proceso de maduración de los embutidos desecados tiene lugar una serie de modificaciones que comunican al producto final sus deseadas características. Generalmente se acepta que los sabores distintivos de estos productos se deben en gran parte a cambios experimentados en los componentes grasos

que pueden sufrir alteraciones de tipo hidrolítico y oxidativo (Demeyer et al., 1974).

1.4 Alcances y limitaciones

La realización de la investigación abarcó el periodo de 12 meses desde el año 2015. El presente trabajo hizo uso de materias primas como son la carne de cerdo, orégano, ajo y demás especias todas provenientes de la región Tacna. El estudio se centra en evaluar el efecto de la mezcla aceite esencial y paste ajo de sobre la aceptabilidad sensorial y estabilidad fisicoquímica durante el tiempo de vida de útil.

Asimismo, habiendo alcanzado todos los objetivos propuestos, se puede afirmar que no se encontraron limitaciones que pudieran haber afectado su desarrollo.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Evaluar la influencia del aceite esencial de orégano (*Origanum vulgare*) y pasta de ajo (*Allium sativum*) sobre la estabilidad fisicoquímica y sensorial del chorizo de cerdo.

1.5.2 Objetivos específicos

- i. Evaluar la influencia del aceite esencial de orégano y pasta de ajo en la aceptabilidad sensorial del chorizo de cerdo.
- ii. Evaluar la influencia del aceite esencial de orégano y pasta de ajo en la estabilidad fisicoquímica del chorizo de cerdo.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Hipótesis general

El aceite esencial del orégano y la pasta de ajo influirán en la aceptabilidad sensorial y estabilidad de las propiedades fisicoquímicas del chorizo de cerdo envasado.

1.6.2 Hipótesis específicas

- i. El aceite esencial de orégano y pasta de ajo influirá en la aceptabilidad sensorial del chorizo de cerdo.
- ii. El aceite esencial de orégano y pasta de ajo influirá en la estabilidad fisicoquímica del chorizo de cerdo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Albado et al (2003) en su estudio "Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial del *Origanum vulgare* (orégano), determinaron la actividad antimicrobiana en el aceite esencial (Carvacrol) del *Origanum vulgare*. El aceite esencial se obtuvo por destilación por arrastre con vapor de agua, a partir de las hojas y flores desecadas del orégano; el cromatograma mostró un contenido de 9 % de Carvacrol, 12,19 % de Terpeneol, 6,86 % de P-cimeno y la presencia de otros compuestos relacionados metabólicamente con los tres antes citados. Las bacterias gram-negativas: *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella typhimurium*, *Salmonella cholerae suis* y *Vibrio cholerae* y las bacterias gram-positivas: *Staphylococcus aureus* y *Bacillus cereus*, mostraron diferentes grados de sensibilidad. De los microorganismos evaluados sólo la *Pseudomonas aeruginosa* mostró resistencia. El aceite esencial posee actividad microbiana contra todas las bacterias evaluadas, excepto para *P. aeruginosa*.

Monge (2 013) en el estudio determinación de la fórmula óptima y atributos sensoriales en la elaboración de salsa de palta (*Persea americana mill*) variedad fuerte con ajo común (*Allium sativum*), aplicó el diseño de mezclas para investigar el efecto de las tres variables independientes sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la salsa y la determinación de la fórmula óptima y atributos sensoriales para la elaboración de salsa, Se concluyó que el nivel adecuado de la concentración de pulpa de palta, pulpa de ajo y emulsionante para la elaboración de la salsa es de pulpa de palta 88,81 %; pulpa de ajo 11,188 % y sin adición de emulsionante. El color fue el atributo más favorecido, seguido del sabor y el olor de la salsa. Considerando que sólo se aplicó el tratamiento de escaldado la estabilidad de la salsa se hizo evidente ya que la acidez y el pH no tuvieron mayor variación en el tiempo de almacenamiento. El análisis microbiológico reportó una calidad aceptable y sus características reológicas corresponden a un fluido pseudoplástico.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 El ajo

El ajo es una planta originaria de Asia Central desde donde se dispersó hacia China, India y Egipto. Desde allí llegó a la cuenca

del mediterráneo y posteriormente desde la península Ibérica a América. Durante la colonización, el ajo fue adoptado por los nativos de México y más tarde en Perú y Chile (Illanes, 1 992).

2.2.1.1 Características del ajo

El ajo (Figura 1) es un bulbo blanco, una especie de *Allium sativum* importante, conocido por sus usos como condimento y aromatizante en la cocina, tanto en fresco como cocinado desde tiempos antiguos, destacándose además por sus efectos terapéuticos lo que ha originado su consideración como planta medicinal (Ahmed et al., 2 001). En la Tabla 1 se muestra la composición química del ajo.



Figura 1. Dientes y bulbos de ajo
Fuente: De Oyarbide (2015).

Tabla 1
Composición química del ajo

Componentes	g/ 100 g de porción comestible
Energía (Kcal)	129
Agua (g)	61,4
Proteína (g)	5,6
Grasa (g)	0,8
Carbohidratos (g)	30,4

Fuente: Collazos, 1 996.

2.2.1.2 Capacidad antimicrobiana del ajo

Los biofilms de bacterias son un riesgo importante para la salud alimentaria debido a que se adhieren a la superficie de alimentos y fomites (objeto capaz de transportar agentes infecciosos), incluyendo superficies de productos frescos (Wilson, 2 012).

Los investigadores, liderados por el Dr. Xiaonan Lu (2012), encontraron que el sulfuro de dialilo eliminó células planctónicas y sésiles en biofilms con concentraciones hasta 100 veces menores que las requeridas con ciprofloxacina o eritromicina (en base a molaridad). Además, inactivarían las células en 5 horas, contra las 24 horas que requieren otros antibióticos. Para hacer esto, trataron biofilms de *C jejuni* y células planctónicas (flotando en

una solución) con ciprofloxacina, eritromicina y sulfato de dialilo evaluaron los resultados utilizando espectroscopia infrarroja y Raman junto con análisis de imaging. Además, mediante el análisis de "inmunoblot" evaluaron la lisis celular (en células planctónicas), observando un resultado positivo en muestras tratadas con sulfuro de dialilo, lo que fue confirmado por una disminución acelerada en ATP celular. Se validaron dos modos de resistencia del biofilm de *C. jejuni* a ciprofloxacina y eritromicina: 1- retraso en la adsorción a la sustancia polimérica extracelular que rodea al biofilm; y 2- una interacción diferente entre células sésiles pertenecientes al biofilm comparado con células planctónicas. El sulfuro de dialilo destruyó la estructura polimérica extracelular del biofilm, lo que permitió que las células mueran de forma similar a las células planctónicas (Wilson, 2 012).

El sulfuro de dialilo tiene una fuerte actividad antimicrobiana contra *C. jejuni* planctónico y sésil y podría reducir la prevalencia de este microbio en alimentos, impedir la colonización de productos alimentarios empaquetados. Además, este compuesto también sería efectivo contra otras bacterias como *E. coli*, y *Listeria monocytogenes* (Wilson, 2 012).

2.2.1.3 El ácido 2-propensulfénico

Vipraja et al. (2009) demostraron que este compuesto tiene un poder captador de radicales peroxilo muy elevado, concluyendo que participaba de esta manera en las reacciones de autooxidación inhibidas por la alicina. Por lo tanto, el compuesto responsable de la actividad captadora de radicales peroxilo del ajo sería el ácido 2-propensulfénico formado por descomposición de la alicina (Figura 2).

Demostraron además que en general los ácidos sulfénicos tal vez sean los captadores de radicales peroxilo más potentes (constantes de reacción del orden $>10^7 \text{ M}^{-1} \text{ s}^{-1}$) sugiriendo que la descomposición de otros tiosulfonatos de otras especies de *Allium* (cebolla, etc) originarían ácidos sulfénicos que serían igualmente reactivos hacia radicales peroxilo (Vipraja et al., 2009).

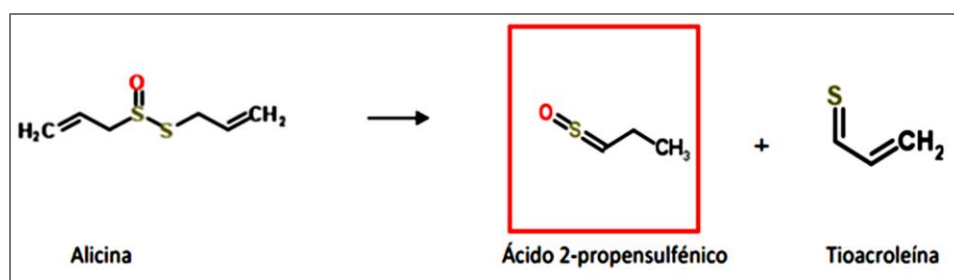


Figura 2. Descomposición de la Alicina en Ácido 2-propensulfénico
Fuente: Vipraja et al. (2009)

2.2.2 Pasta de ajo

La pasta de ajo se define como el alimento de consistencia suave, fina, semigranulosa, homogénea y sin separación de fases obtenido de la molienda de la parte comestible del ajo previamente limpio. Es estable desde el punto de vista microbiológico y enzimático, color blanco, levemente amarillento y brillante al que se le puede agregar sal, azúcar, aceites y condimentos (Kiger y Figueroa, 1 993).

2.2.3 El orégano

El orégano es una hierba aromática (Figura 3) que es utilizada con fines culinarios, siendo las más comunes el *Origanum vulgare*, nativo de Europa. Tiene una buena capacidad antioxidante y antimicrobiana contra microorganismos patógenos como *Salmonella typhimurium*, *Escherichiacoli*, *Staphylococcus* entre otros. Estas características son muy importantes para la industria alimentaria ya que pueden favorecer la inocuidad y estabilidad de los alimentos como también protegerlos contra alteraciones lípidicas; el interés de estos estudios es con la finalidad de sustituir los compuestos y/o aditivos sintéticos en la conservación de alimentos (Albado et al, 2 001).

Dentro del grupo de plantas aromáticas se encuentra el orégano (*Origanum vulgare L*), perteneciente a la familia Lamiaceae. Esta planta tiene un alto contenido de aceites esenciales correspondientes a fenoles, destacándose el carvacrol y timol presentes en proporción de 50 % y 30 % respectivamente del total de aceites esenciales. La cantidad de éstos en las plantas dependerá de la edad de ésta, el lugar geográfico de procedencia, de la variabilidad genética, de la cantidad de fenoles, como también de la técnica de extracción y el solvente utilizado (Hernández et al., 2 009).



Figura 3. Hojas de orégano en rama.
Fuente: De Sá (2 015).

2.2.3.1 El aceite esencial de orégano

Origanum vulgare (Labiata) "orégano" es cultivado en Tacna (Tarata) en gran escala, cosechado, desecado y distribuido a los mercados nacionales y al exterior. Se utiliza en la preparación de alimentos. Las hojas y sumidades (pedúnculos foliados de las plantas) floridas se aplican en el campo farmacéutico debido a las propiedades tónicas, amargo-excitantes, antisépticas, diuréticas y antiespasmódicas. Sobre el poder antiséptico de los aceites esenciales de plantas pertenecientes especialmente a las familias Labiadas hay amplia información. Las plantas de uso tradicional ofrecen posibilidades para la búsqueda de principios bioactivos o etnomedicinales siendo una alternativa de uso de antisépticos estándar (Albado et al, 2 003).

2.2.3.2 El timol y el carvacrol

El timol y el carvacrol son compuestos fenólicos naturales, considerados como posibles antioxidantes, agentes antifúngicos y antibacteriales, presentes en cantidades significativas en los AEs del género *Thymus*, *Origanum*, *Satureja*, *Thymhra* y *Lippia*,

especies ampliamente utilizadas como especias y téis herbarios (Burdock, 2005).

Debido a la relación existente entre estos dos compuestos y sus potenciales actividades, muchos estudios se han enfocado en la determinación de la composición química de especies pertenecientes a estos géneros. Existen básicamente dos tipos de orégano: orégano europeo (mejorana, orégano común, etc.) nativo de la región mediterránea y el orégano americano (Suramérica o México) perteneciente al género *Lippia* (*L. origanoides*, *L. graveolens*, entre otras), que destacan por su alto contenido de compuestos fenólicos (timol y carvacrol) (Goren et al., 2003).

2.2.4 Autooxidación de los lípidos

Los sistemas catalíticos que estimulan la oxidación de los lípidos son; la luz, temperatura, enzimas, metales, metaloproteínas, pigmentos y microorganismos. En las reacciones, están involucradas muchos radicales libres y/o especies oxigenadas, tales como el oxígeno singlete (formas energéticamente excitadas del oxígeno molecular). Los principales substratos de estas reacciones son los ácidos grasos

insaturados y el oxígeno. El mecanismo de radicales libres de la oxidación de los lípidos se describe normalmente como un proceso de tres etapas: iniciación, propagación y terminación (Ingold, 1969).

En la etapa de iniciación, los radicales se forman directamente a partir de los componentes lipídicos. Los iniciadores que están involucrados en esta etapa son la temperatura, la luz y otros radicales o metales (Figura 4). En la etapa de propagación, los lípidos se transforman en radicales a través de radicales peroxilo. En la siguiente etapa, los radicales lipídicos reaccionan con el oxígeno del aire y forman radicales peroxilo, los cuales abstraerán átomos de hidrógeno de otras moléculas lipídicas y se transformarán en hidroperóxidos. Simultáneamente, se formarán otros radicales lipídicos y peroxilos.

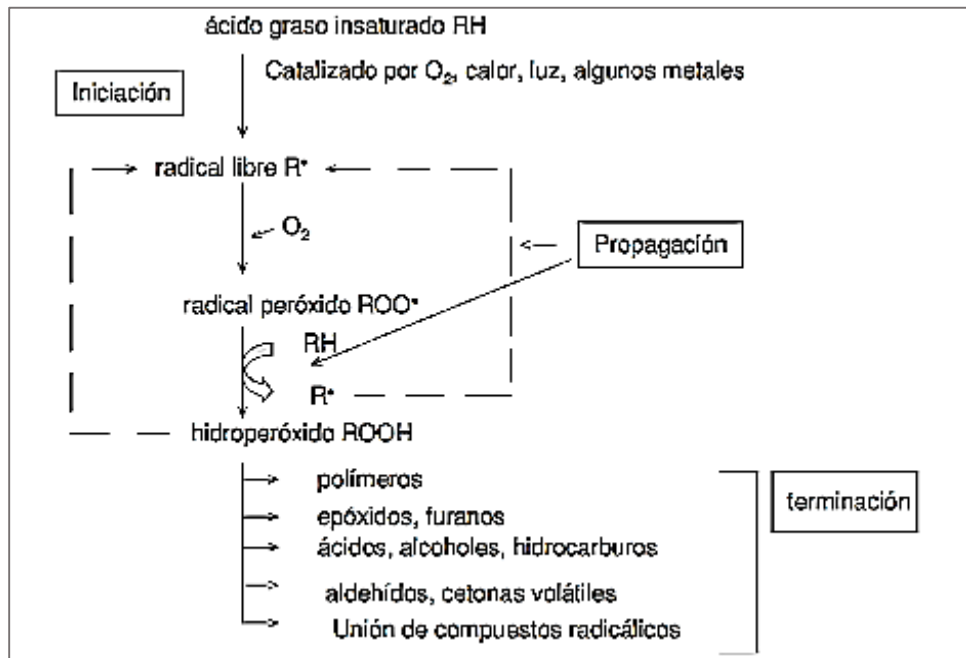


Figura 4. Esquema de la oxidación de ácidos grasos insaturados
Fuente: Pérez, 2 008.

Esto causa que el proceso de oxidación llegue a ser autoinducido y que tenga lugar la autocatálisis. Los hidroperóxidos formados no son estables y se descomponen para producir un conjunto de productos no volátiles y volátiles. Entre estos productos están también radicales, que pueden estimular el proceso de oxidación (Figura 5).

Está demostrado que los productos volátiles y tío volátil formado son inestables y pueden ser oxidados y/o descomponerse

para producir un amplio grupo de nuevos productos (Shieberle y Crosch, 1981).

Estos productos afectan a la calidad de los aceites y son las principales causas de la formación del flavor desagradable y de los cambios en el sabor descrito en la sección anterior sobre el deterioro oxidativo por vía enzimática. Durante la etapa de finalización, los radicales reaccionan entre si y forman productos no radicales. Cualquier reacción que evite la propagación de la peroxidación o elimine los radicales libres, del sistema juega un papel clave en el mecanismo de terminación. Antioxidantes de rotura de cadena, como los componentes fenólicos, reaccionan con los radicales lipídicos para formar radicales no reactivos que detienen la cadena de propagación (Simic, Jovanovic y Niki, 1 992).

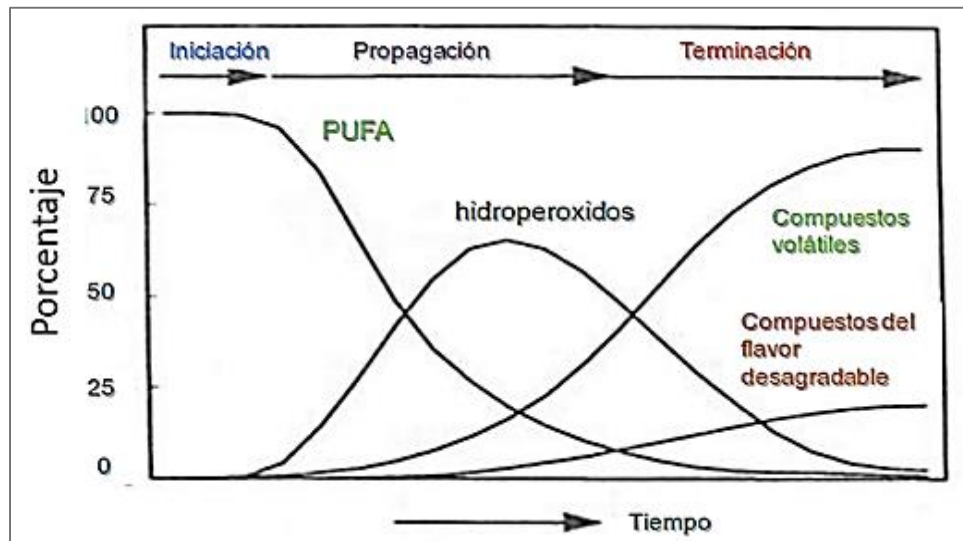


Figura 5. Oxidación de los ácidos grasos poli insaturados (PUFA) y formación de productos primarios (hidroperóxidos) y secundarios (compuestos no volátiles y volátiles responsables del aroma desagradable).

Fuente: Aparicio, 2 003.

Ejemplos de antioxidantes fenólicos incluyen los tocoferoles, la hidroquinona burilada y el galato de propilo. La proporción relativa de oxidación del oleato: linoleáto: linolenato es del orden de 1:12:25, basada en la formación de peróxidos y asimismo se ha descubierto que la descomposición de los hidroperóxidos está relacionada con el número de dobles enlaces del ácido graso. Los hidroperóxidos del linolenato se descomponen más rápido que el linoleato y el oléalo, la oxidación de otros ácidos grasos (Frankel, 1 962).

2.2.5 Uso de antioxidantes

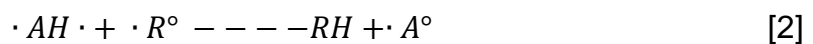
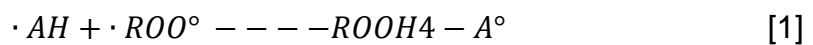
Una forma de disminuir o detener los procesos de oxidación de los ácidos grasos poli insaturados es a través del uso de antioxidantes. Como su nombre lo dice, son sustancias que pueden disminuir o detener los procesos oxidativos debido a que tienen la facilidad de ceder un átomo de hidrógeno lo que les permite estabilizar a los radicales libres sin desestabilizarse, deteniendo la reacción en cadena. La propiedad de los antioxidantes está en que al ceder el átomo de hidrógeno, ellos quedan con un electrón desapareado, convirtiéndose en radicales libres, pero dada su estructura química, que les permite deslocalizar ese electrón, tienen muy baja reactividad y no se comportan como sustancias prooxidantes (Fellenberg, 2 009).

Los antioxidantes, desde el punto de vista de su origen se pueden clasificar en sintéticos o naturales. Los primeros, son relativamente de bajo costo y alta efectividad, pero cada vez están siendo más cuestionados, debido a que se les han encontrado ciertos efectos carcinogénicos y mutagénicos (Fellenberg, 2 009).

Según Muñoz et al., (2 014) los antioxidantes son sustancias que retardan la autooxidación. En teoría, una sustancia puede

actuar como antioxidante en una variedad de formas, por ejemplo, por unión competitiva con el oxígeno, por retardo de la etapa de iniciación, por bloqueo de la propagación, destruyendo o uniendo radicales libres, por inhibición de los catalizadores, por estabilización de los hidroperóxidos, etc. Todos estos mecanismos, al igual que otros, pueden hallarse en los alimentos, aunque el más importante de ellos parecería ser el de bloqueo de la propagación. En este proceso, el antioxidante AH actúa como dador de hidrógeno a un radical libre como el ROO* o RV.

El radical libre antioxidante A* es inactivo, es decir, no inicia un proceso de propagación en cadena, sino que entra en reacciones de terminación tales como:



La acción del antioxidante aumenta la longitud del período de inducción, tal como se aprecia en la Fig. 6. aumento en el período de inducción es aproximadamente proporcional a la concentración de antioxidante, hasta llegar a cierto nivel. Una

concentración excesiva de antioxidante puede resultar ineficaz o aun provocar una inversión en el efecto protector.

Se puede observar en la Figura: 6, la importancia del agregado de un antioxidante en el momento del proceso de elaboración del alimento.

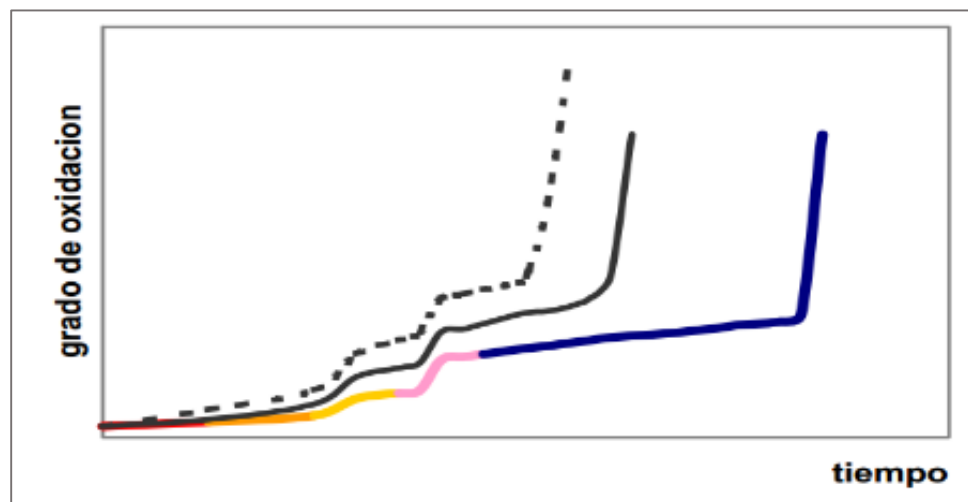


Figura 6. Efecto de los antioxidantes sobre la velocidad de oxidación de los lípidos: (a) grasa sin antioxidante; (b) grasa con antioxidante. Fuente: Vitafor, 2 011.

La curva superior (de trazos), muestra el tiempo de vida útil cuando el manejo del alimento se realiza bajo condiciones normales de proceso. Como explica Vitafor (2 011) la siguiente curva, (en orden de arriba hacia abajo) de línea llena, muestra cómo se extiende la vida útil del alimento como consecuencia de poner cuidados en el tratamiento de la materia prima y en el

proceso de fabricación. En la última curva (multicolor) podemos observar cómo se extiende la vida útil del alimento con el manejo cuidadoso del mismo más la adición del antioxidante en el proceso de elaboración. En esta última, se pueden diferenciar 5 zonas, la roja representa el momento de la cosecha o producción de la materia prima, la naranja el almacenaje de ésta, la amarilla es el proceso productivo de elaboración del nuevo alimento, la rosada es el envasado del producto listo para consumir y la azul es el almacenaje de la pieza final. En la zona del procesado del alimento (amarilla) es donde se incorpora el antioxidante, y es el punto clave a la hora de extender la vida útil del alimento. Uno de los principales grupos de sustancias antioxidantes son los compuestos fenólicos naturales o sintéticos. Varios de los fenoles naturales derivados del catecol, taninos, gossipol, ácido gálico y los tocoferoles son poderosos antioxidantes. Los antioxidantes fenólicos sintéticos La utilización empírica de compuestos fenólicos naturales como antioxidantes es muy antigua.

La popularidad del ahumado y especiado en el hogar preservación de carne, pescado, queso y otros alimentos ricos en grasas puede deberse, en parte al menos, al reconocimiento del efecto retardador de la rancidez que poseen dichos tratamientos.

Entre los antioxidantes naturales, los tocoferoles merecen especial atención. Tal como ya hemos visto en el capítulo anterior, la actividad antioxidante in vivo de los tocoferoles es la principal, y quizás la única razón de su actividad como vitamina E. En tecnología, el contenido natural en tocoferoles de muchos aceites es de importancia para su estabilidad. Sin embargo, sobre una misma base de peso, los tocoferoles son menos efectivos que los antioxidantes fenólicos sintéticos, y mucho más costosos. Es por esta razón que no se los emplea como aditivos antioxidantes intencionales.

2.2.6 Grasa de porcino

La grasa de porcino (Figura 7) es muy importante en la elaboración de embutidos; el porcentaje de grasa en una carcasa de porcino es muy variable, encontrándose de 5 a 20 %, esta cantidad depende de varios factores, a saber: raza, edad, sexo, y alimentación del animal. Le da cierta plasticidad a la masa de los embutidos al lograr una buena emulsión, un mejor sabor y olor, contribuye a la textura del producto, reduce el porcentaje de peso de las salchichas y embutidos, le confiere una mejor presentación a los productos, pues con su color claro, matiza la masa cárnica,

tornándola atrayente. Las grasas de los animales, debido a su composición en ácidos grasos, tienen diferentes propiedades, una de las más usadas en salchichería es el punto de fusión o temperatura de fusión, que para el caso de grasas de porcino, es muy bajo, de 309,15 K a 313,15 K (Téllez 1 992).



Figura 7. Grasa en la carne de cerdo
Fuente: López, 2013.

2.2.7 Decoloración por enranciamiento de la grasa

Cuando a los embutidos se incorporan grasas de alto contenido en peróxidos orgánicos el color de su superficie se hace inestable. Las grasas también afectan a las características organolépticas del producto. En la formulación de los embutidos hay que tener cuidado cuando se usan tejidos grasos o recortes de carne congelados, ya que si han permanecido almacenados

durante mucho tiempo pueden estar enranciados en el momento de usarlos o bien enranciarse en el producto (ICMSF, 1 985).

Durante el almacenamiento prolongado en congelación, las salchichas frecuentemente se enrancian y el producto se decolora. Para evitar esta alteración hay que prestar gran atención a la selección y almacenamiento de las materias primas empleadas en la formulación, así como a la completa exclusión del oxígeno de los envases (ICMSF, 1 985).

2.2.8 Efecto de la oxidación sobre la calidad de la carne

La exposición al oxígeno y la luz son uno de los principales factores que originan la aparición de fenómenos oxidativos en la carne y/o productos cárnicos. El oxígeno (O₂) constituye el punto de partida para un tipo de daño celular conocido como "estrés oxidativo", consecuencia de un desequilibrio entre la producción de especies reactivas y los mecanismos de defensa antioxidantes (Marx, 1 995). Tanto lípidos como proteínas son susceptibles de sufrir dicho "estrés oxidativo".

Las especies reactivas del oxígeno (ROS) actúan sobre los lípidos poliinsaturados de las membranas produciendo pérdida de

fluidez y lisis celular como consecuencia de la peroxidación lipídica. La peroxidación lipídica se inicia tras la abstracción de un átomo de hidrógeno en la cadena hidrocarbonada de los ácidos grasos poliinsaturados. En un ambiente aerobio se produce interacción del radical carbonilo (R-) con el O₂ dando lugar a la formación del ROO-. Posteriormente puede sustraer un nuevo H (reacción secuencial) y puede dar lugar al ROOH que por descomposición formará el radical alcoxilo (RO-). A este primer proceso acontece una serie de reacciones de propagación y terminación que finalmente dan lugar a productos más estables como el malodialdehído (MDA) (Estévez et al., 2 008).

Los cambios asociados a la oxidación lipídica constituyen la principal causa de deterioro de la carne y/o productos cárnicos, ya que provocan la aparición de olores y sabores desagradables y la alteración del color, y en general una reducción de la calidad organoléptica del producto. Así mismo dan lugar a una disminución del valor nutritivo de la carne y la generación de compuestos potencialmente nocivos para la salud relacionados con el riesgo de padecer diversas patologías (Bou et al., 2 009).

En este sentido, los radicales lipídicos, hidroperóxidos, malondialdehído (MDA) y productos específicos de la oxidación del colesterol juegan un papel importante en promover las reacciones oxidativas in vivo e iniciar reacciones perjudiciales con consecuencias nocivas para la salud. De hecho, la ingesta de lípidos oxidados se cree que tienen un gran impacto sobre la salud del consumidor, así como también ciertos productos procedentes de la oxidación de lípidos están involucrados en el desarrollo de enfermedades como el cáncer y la cardiopatía coronaria (Verbeke et al, 1 999; Aikawa y Chikuni, 1 988). Las proteínas también son susceptibles de sufrir daño oxidativo el cual provoca modificaciones en determinados aminoácidos, fragmentación de la cadena péptida, agregaciones, entrecruzamientos y/o un incremento de la susceptibilidad a la proteólisis (Estévez, 2 011). De hecho, estudios recientes sostienen que los procesos oxidativos que afectan a las proteínas conducen a la formación de agregados proteicos lo que podría tener un efecto sobre la digestibilidad de la proteína. Al igual que la oxidación lipídica, la oxidación de las proteínas puede llevar a una disminución significativa del valor nutritivo de la carne y/o productos cárnicos en términos de disponibilidad de aminoácidos esenciales y digestibilidad de las proteínas oxidadas (Sante-

Lhoutellier et al., 2 007). Además, las principales consecuencias sobre la calidad de la carne y productos cárnicos se aprecian en el color y la textura del producto (Lund et al., 2 011).

2.2.9 Proceso de elaboración del chorizo

En la mayoría de los chorizos tradicionales, la elaboración consta de las siguientes etapas: Troceado y mezclado, maceración, embutición (Tripas y envolturas), atado, maduración y conservación.

2.2.9.1 Troceado y mezclado

La carne debe estar a una temperatura de 278,15 k durante el picado, mientras que la grasa puede estar congelada. Solamente a estas temperaturas podrá lograrse un picado de la consistencia deseada. Posteriormente se junta la carne con la grasa y se mezcla con las especias y condimentos, así como con las sales de cura. Es importante el mezclado ya que de ahí dependerá la uniformidad del producto final (Coretti, 1 986).

2.2.9.2 Maceración

Las carnes ya troceadas, mezcladas y amasadas, con todos sus ingredientes, necesitan en algunos casos, una fase de

reposo y enfriamiento, que es conocido como maceración. Durante la fase de maceración suceden varias reacciones por parte de las enzimas musculares y actividades de microorganismos o auxiliares de los procesos enzimáticos, que actúan creando un medio ácido potenciado por la sal, que activa el desarrollo de las bacterias acidófilas y que con la adición de otras sustancias, facilitan la actuación de los polifosfatos (Girard, 1 991).

2.2.9.3 Embutición (tripas y envolturas)

Los tipos de tripa o envoltura que se utiliza para los embutidos pueden ser naturales, naturales reconstruidas, artificiales de origen animal u orgánico y artificial de origen celulósico. Y cada embutido utiliza un tipo de tripa específico, ejemplo chorizo, chistorra o morcón, es la misma masa en diferente tipo de tripa. Se le llama embutido, a la fase del proceso, que tiene por objeto la introducción de la masa cárnica ya preparada y dispuesta en el interior de la tripa o funda, que sirve de receptáculo y protección. Esta operación se realiza manualmente o con embutidoras. El llenado de la tripa debe hacerse con cierta presión para forzar la salida de aire, los

embudos o boquillas deben ser lisos y no muy largos, con el fin de evitar el calentamiento o embarrado de la masa, por fricción de la misma con las paredes interiores de éste (Schiffner et al, 1 996).

2.2.9.4 Atado

El atado o clipado es la operación subsiguiente al embutido y tiene por objeto homogeneizar el contenido de la tripa, evitando los embolsamientos, atando a mayor o menor distancia, según el tipo de preparado. Con esta operación se le da también la forma, consistencia y protección al embutido, con el fin de evitar que se salga el contenido de la tripa. El material más utilizado para esta operación es el hilo de algodón., que se ata en un extremo de la tripa y se prosigue en tramos del mismo tamaño hasta el final del otro extremo (Schiffner *et al*, 1 996).

2.2.9.5 Maduración

El concepto de maduración del embutido crudo comprende diferentes procesos que tienen lugar en el embutido una vez elaborada la masa y embutida en la tripa. Los procedimientos de maduración son los que realmente originan las características típicas de los distintos embutidos crudos. La maduración se

desarrolla en dos fases, durante la primera predominan las actividades reproductoras y metabólicas de las bacterias, esta fase concluye con la diferenciación bacteriana y se caracteriza por la aparición de numerosos ácidos grasos volátiles, sobre todo el ácido pirúvico y el ácido láctico (Coretti, 1 986).

Durante la segunda fase comienza una lenta y constante, disminución del número de bacterias, dominan los procesos de descomposición y transformación; la descomposición de los ácidos grasos producidos en la primera fase, origina así el típico aroma del producto (Coretti, 1 986).

2.2.9.6 Conservación

La utilización del frío ha permitido un gran desarrollo, extensión de los planes de industrialización y comercialización de los productos cárnicos, y por consiguiente de los embutidos. El almacenamiento de embutidos se lleva a cabo, en cámaras frigoríficas reguladas, siempre a temperaturas superiores a los 273,15 K. Si estos productos han de tener una larga conservación, la temperatura oscilará entre 283,15-288,15 k y Humedad Relativa, del 78-80 %. La estiba y almacenamiento de los embutidos crudos-curados, se hará colgándoles con cuerdas

en listones horizontales a diferente altura, evitando el contacto entre las distintas unidades (Pérez *et al*, 2 008).

2.2.10 Análisis sensorial

Los análisis sensoriales pueden clasificarse, según el objetivo del trabajo de evaluación sensorial planificado, en: análisis orientado al producto y análisis orientado al consumidor (Ureña y Darrigo, 1 999).

2.2.10.1 Análisis sensorial orientado al producto

Según Ureña y Darrigo (1 999), son los análisis con los que se obtendrán datos que permitirán luego, con el análisis estadístico adecuado, hacer inferencias sobre las características de la población de alimentos que se analiza. Estos son: discriminativos para determinar diferencias, descriptivos para categorizar muestras y descriptivos para determinar perfiles sensoriales.

- Discriminativos para determinar diferencias: El juez analiza y dictamina si hay semejanza entre muestras, ya sea al asignarles categorías o por simple definición.

- Descriptivos para categorizar muestras: El juez analiza y da categorías a las muestras según la apreciación de intensidad con la que percibe el atributo evaluado.
- Descriptivos para obtener perfiles sensoriales: El juez analiza las muestras apreciando, identificando y midiendo los atributos o características sensoriales de determinada propiedad sensorial.

2.2.10.2 Análisis sensorial orientado al consumidor

Con los análisis sensoriales se obtendrán datos que permitirán luego estimar la capacidad analítica sensorial de un juez, o en su caso hacer inferencias sobre una población de posibles usuarios del producto. Estos son: discriminativos para determinar grado de percepción y afectivos (Ureña y Darrigo, 1999).

- Discriminativos: para determinar grado de percepción: El juez evalúa en cuanto a su capacidad psicofisiológica para apreciar, identificar y medir determinados estímulos, causados por la percepción de propiedades sensoriales y sus atributos.

- **Afectivos:** el juez evalúa la muestra y manifiesta si su apreciación le induce a aceptarla y/o prefiere sobre otras.

2.3 Definición de términos

- i. **Aceite esencial de orégano:** principios bioactivos o etnomedicinales que son una alternativa de uso de antisépticos estándar (Albado et al., 2 003).
- ii. **Pasta de ajo:** el alimento de consistencia suave, fina, semigranulosa, homogénea y sin separación de fases obtenido de la molienda de la parte comestible del ajo previamente limpio (Kiger y Figueroa, 1 993).
- iii. **Aceptabilidad sensorial:** Son los análisis con los que se obtendrán datos que permitirán luego, con el análisis estadístico adecuado, hacer inferencias sobre las características de la población de alimentos que se analiza. (Ureña y Darrigo, 1 999).
- iv. **Propiedades fisicoquímicas (del aceite esencial):** Parámetros determinan la presencia o no de alteraciones del fruto o del aceite, a nivel hidrolítica, oxidativo o fermentativo (análisis sensorial con paneles de catadores (C0I/T.15/NC n°3/Rev 2 de 24/11/2 006).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo y diseño de la investigación

- a) Tipo de investigación: Es de tipo aplicada.
- b) Diseño de la investigación: El diseño es del tipo experimental pues establece claramente la relación causa-efecto entre las variables en estudio.

La Tabla 2 muestra las variables independientes y sus niveles de investigación para establecer el diseño experimental.

Tabla 2
Niveles de las variables independientes

Factores	Unidad	Nivel Inferior (-1)	Nivel central 0	Nivel Superior (+1)
X1: Aceite esencial de orégano	g/kg	0,5	1	1,5
X2: Pasta de ajo	g/kg	1	3	5

Fuente: Elaboración propia, 2 014.

La Tabla 3 muestra la distribución de los tratamientos en función a los niveles establecidos y según el diseño central

compuesto centrado en las caras que se utilizó para investigar el efecto de las variables de proceso sobre la aceptabilidad sensorial.

Tabla 3
Tratamientos según diseño centrado en las caras con los niveles codificados y reales

Tratamientos	Niveles codificados		Niveles reales	
	X1: Aceite esencial de orégano	X2: Pasta de ajo	X1: Aceite esencial de orégano (g/kg)	X2: Pasta de ajo (g/kg)
1	-1	-1	0,5	1
2	1	-1	1,5	1
3	-1	1	0,5	5
4	1	1	1,5	5
5	-1	0	0,5	3
6	1	0	1,5	3
7	0	-1	1	1
8	0	1	1	5
9	0	0	1	3
10 (r)	0	0	1	3
11 (r)	0	0	1	3

Fuente: Elaboración propia, 2 014.

3.2 Población y muestra (según el caso)

Según Gutiérrez y De la Vara R. (2 004), el número de tratamientos k es determinado por el investigador y depende del problema particular de que se trata. El número de observaciones por tratamiento (n) debe escogerse con base en la variabilidad que se

espera observar en los datos, así como en la diferencia mínima que el experimentador considera que es importante detectar. Por ello para la presente investigación se considera como población hipotética a todas las posibles combinaciones resultantes según el rango de estudio establecido para variable independiente.

3.3 Operacionalización de variables

La Tabla 4 muestra las unidades y el rango de las variables en estudio para su posterior operacionalización.

Tabla 4
Operacionalización de variables

Variable	Factores	Indicador	Unidad	Rango
Independiente	Aceite esencial de orégano	Concentración de aceite esencial de orégano,	g/kg	0,5 a 1,5
	Pasta de ajo	Concentración de pasta de ajo	g/kg	1 a 5
Dependiente	Aceptabilidad sensorial	Sabor	Escala hedónica	1 a 9
		Color		1 a 9
	Propiedades fisicoquímica	Índice de acidez	% Ácido oleico	<1,25*
		Índice de peróxidos	meq O ₂ /kg muestra	< 10*

Fuente: Elaboración propia, 2 014.

* Norma Codex para Grasas Animales especificadas Codex Stan 211 (1 999)

3.4 Técnicas e instrumentos para recolección de datos

3.4.1 Procedimientos previos (extracción de aceite esencial de orégano)

En la Figura 8 se muestra el equipo de extracción de aceite esencial de orégano utilizado para obtener dicho aditivo para su adicción a las diferentes muestras en estudio.



Figura 8. Equipos de extracción por arrastre de vapor
Fuente: Elaboración propia, 2 015.

La Figura 9 muestra los aditivos que corresponde a las variables independientes de estudio.



Figura 9. Aceite esencial de orégano y pasta de ajo utilizados en la elaboración de chorizo de cerdo
Fuente: Elaboración propia, 2 015.

3.4.2 Diseño de la investigación

- a. **Recepción de materia prima.**- El proceso de recepción de materia prima consiste en recibir los productos; en este caso carne de cerdo descargarlos e introducirlos en zonas de almacenamiento acondicionadas de acuerdo con la naturaleza del producto o proceder a su elaboración.
- b. **Acondicionamiento de la carne.**- consiste en limpiarla, eliminar el hueso pellejo y grasa que pueda existir en esta.
- c. **Trozado.**- El trozado es la operación unitaria de reducción de tamaño, las carnes se cortan en piezas de 5 a 8 cm.

- d. Molido.**- El molido es la operación en la cual se sacan los trozos de carne y se muelen pasándolos por el disco de agujeros de 3 mm. La grasa también se muele pasándola por el mismo disco.
- e. Mezclado.**- El mezclado (Figura 12) se lleva a cabo introduciendo la carne y la grasa ya molida en una maquina llamada mezcladora adicionándole todos ingredientes mezclándola homogéneamente por varios minutos. No se añadió ni preservantes ni antioxidantes sintéticos.



Figura 10. Mezclado de las carnes y grasa.
Fuente: elaboración propia, 2 015.

- f. Embutido.**- La masa se embute en tripas de colágeno calibre 32; se debe hacer un relleno algo suelto para que la pasta tenga suficiente espacio y no se salga de la tripa.

- g. Oreado.**- el oreado se lleva a cabo después del embutido por una hora aproximadamente antes de entrar al horno para el secado.
- h. Secado.**-Se hace un secado superficial de los chorizos en la cámara de ahumado, manteniendo una temperatura de 333,150 K durante 30 min, con las chimeneas abiertas y sin humo. Luego se cierra la chimenea y se eleva la temperatura gradualmente a 338,15, 343,15 y 350,15 K, y se realiza el ahumado dejando el producto en la cámara 1 1/2 hora.
- i. Escaldado.**- Después del secado los chorizos se someten a un escaldado en agua a 350,15 K durante 15 min. Luego se enfrían y se refrigeran
- j. Acondicionado.**- Después de realizado el escaldado se lleva a las cámaras de refrigeración para que puedan adquirir la temperatura adecuada para que pueda ser empacado.
- k. Empacado.**-El empacado se lleva a cabo en la termo trasformadora a una temperatura interna de 283,15 K aproximadamente.
- l. Almacenado.**- Después de empacarlo el chorizo pasa a la cámara de almacenamiento a una temperatura de 275,15 K a 277,15 K para luego ser distribuido.

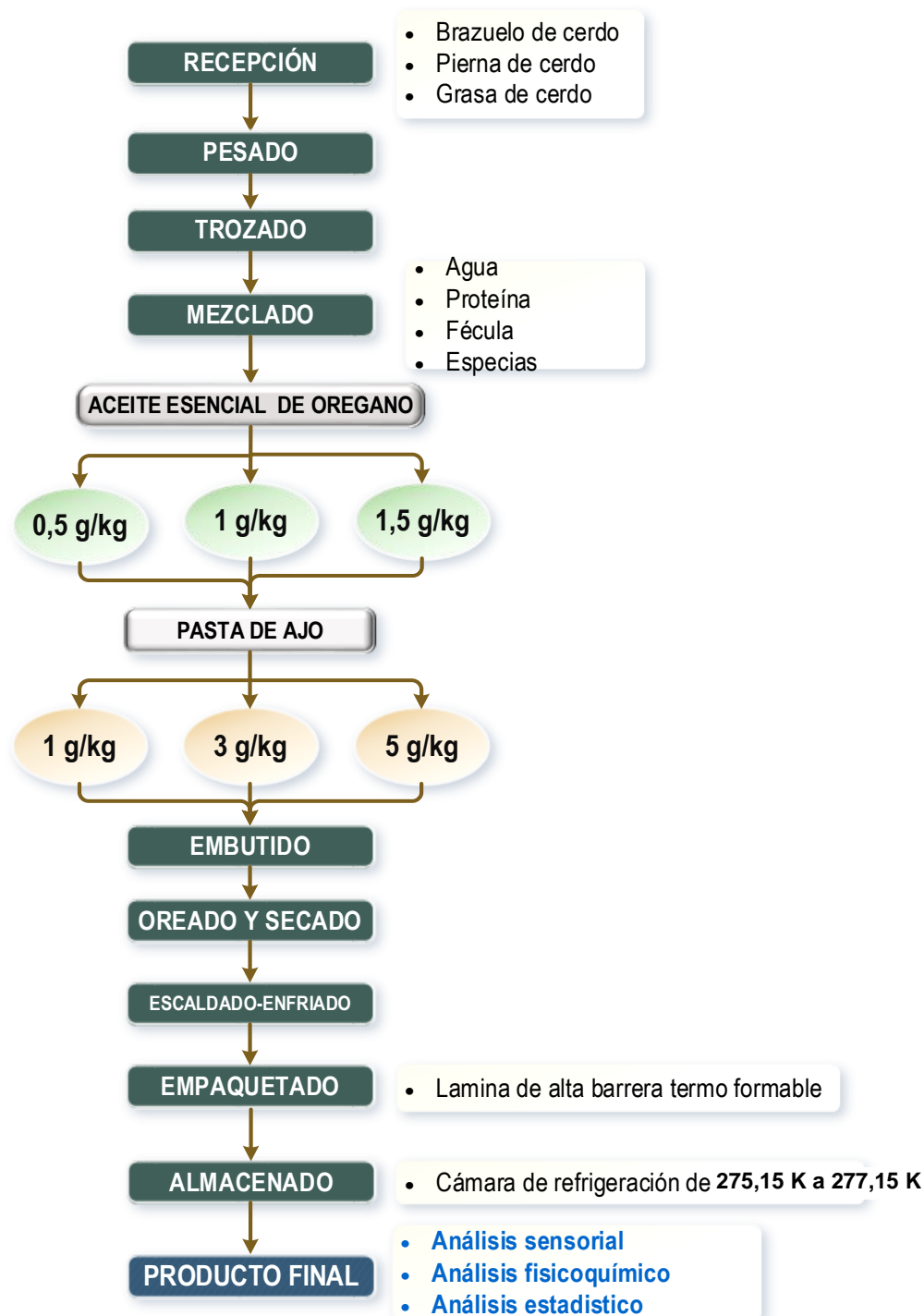


Figura 11. Diseño experimental para el estudio de la estabilidad fisicoquímica y sensorial del chorizo.

Fuente: Elaboración propia, 2 015.

3.4.3 Métodos

a) Determinación del pH

- i. Pesar 10g. de muestra de chorizo
- ii. Añadir 100 ml de agua destilada y moler en la licuadora durante un minuto. Estandarizar el pH en el potenciómetro con *buffer* de fosfatos con pH = 6.
- iii. Filtrar la mezcla de carne (chorizo) en manta de cielo para eliminar tejido conectivo.
- iv. Después de leer el pH (Figura 12), enjuagar el electrodo con agua destilada.



Figura 12. Muestras de chorizo para análisis de pH.
Fuente: elaboración propia, 2 015.

b) Determinación de acidez (como ácido láctico)

- i. Pesar 10 g de muestra (chorizo) y colocarlo en un vaso de licuadora. Moler junto con 200 mL de agua destilada.
- ii. Filtrar la muestra en manta de cielo para eliminar el tejido conectivo. Colocar el filtrado en un matraz de 250 mL y aforar con agua destilada.
- iii. Tomar 25 mL de esta solución y colocarla en un matraz Erlenmeyer de 150 ml Añadir 75 mL de agua destilada.
- iv. Titular con NaOH 0,01 N, usando 4 gotas de fenolftaleína (Figura 15) como indicador. Esta determinación debe hacerse por triplicado.
- v. Se prepara un blanco usando 100 mL de agua destilada.
- vi. Informar como porcentaje de ácido láctico.

$$\% \text{ Ácido Láctico} = \frac{V_{NaOH} * N_{NaOH} * M_{eg}(\text{Ácido láctico}) * f * 100}{\text{Peso de muestra}} \quad [3]$$

Donde f = factor de dilución.



Figura 13. Determinación de acidez.
Fuente: Elaboración propia, 2 015.

c) Determinación del índice de peróxidos

- i. Se pesa aproximadamente 5 g de muestra dentro de un matraz, se añaden 30 cm³ de solución de ácido acético-cloroformo y se agita hasta que la muestra se disuelve totalmente
- ii. Con una pipeta de Mohr se agregan 0,5 cm de solución saturada de yoduro de potasio se agita y se deja reposar durante 1 min.
- iii. Se adiciona 30 cm³ de agua destilada
- iv. Se titula lentamente y cuidadosamente con solución de 0,1 N de tiosulfato de Sodio; se agita vigorosamente después de cada adición hasta obtener una coloración ligeramente amarilla; se

añaden 0,5 cm³ de solución indicadora de almidón y se continúa titulación sin dejar de agitar hasta la desaparición del color azul.

- v. Se anota los mililitros de solución de tiosulfato 0,1 N gastados en la titulación.

Se calcula el IP expresando los miliequivalente de peróxidos contenidos en un kilogramo de grasa o aceite de muestra

$$IP = V \text{ (mL)} \times N \times 1000 / \text{peso de la muestra (g)}$$

$$V = V \text{ de tiosulfato gastado con la muestra}$$

$$N = \text{normalidad de la solución de tiosulfato de sodio}$$



Figura 14. Reactivos utilizados en la determinación de peróxidos.
Fuente: Elaboración propia, 2 015.

d) Análisis sensorial al producto final

Evaluación sensorial según la escala hedónica estructurada (anexo 1) para los atributos: color, olor y sabor (Figura 15).



Figura 15. Muestras de chorizo para análisis.
Fuente: Elaboración propia, 2 015.

e) Análisis estadístico

Modelo cuadrático:

$$Y = [b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_1x_2 + b_4x_1^2 + b_5x_2^2 + \epsilon]$$

Método matricial: $[b] = [X'X]^{-1}[X'Y]$

Donde

1. Y = Función respuesta
2. x_1 y x_2 = Valores de las variables independientes
3. b_0 = Coeficiente relativo con la interpretación del eje
4. b_1 y b_2 = Coeficientes lineales de variables independientes
5. b_3 = Coeficiente de interacción entre variables independientes

6. b_4 y b_5 = Coeficientes de variables cuadráticas de variables independientes

7. ϵ = Error experimental

f) Análisis matricial con niveles codificados

– Matriz de diseño

$$[X] = \begin{matrix} & \begin{matrix} b_0 & b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{matrix} & \begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Matriz transpuesta

$$[X'] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Matriz simétrica

$$[X'X] = \begin{bmatrix} 11 & 0 & 0 & 0 & 6 & 6 \\ 0 & 6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 6 & 0 & 0 & 0 & 6 & 4 \\ 6 & 0 & 0 & 0 & 4 & 6 \end{bmatrix}$$

Matriz inversa

$$[X'X]^{-1} = \begin{bmatrix} 0,2632 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & -0,1579 & -0,1579 \\ 0,0000 & 0,1667 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 \\ 0,0000 & 0,0000 & 0,1667 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 \\ 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,2500 & 0,0000 & 0,0000 \\ -0,1579 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & 0,3947 & -0,1053 \\ -0,1579 & 0,0000 & 0,0000 & 0,0000 & -0,1053 & 0,3947 \end{bmatrix}$$

g) Análisis matricial con niveles reales

– Matriz de diseño

$$[X] = \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} b_0 & b_1 & b_2 & b_3 & b_4 & b_5 \end{array} \\ \left[\begin{array}{cccccc} 1 & 0,5 & 1 & 0,5 & 0,25 & 1 \\ 1 & 1,5 & 1 & 1,5 & 2,25 & 1 \\ 1 & 0,5 & 5 & 2,5 & 0,25 & 25 \\ 1 & 1,5 & 5 & 7,5 & 2,25 & 25 \\ 1 & 0,5 & 3 & 1,5 & 0,25 & 9 \\ 1 & 1,5 & 3 & 4,5 & 2,25 & 9 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 5 & 5 & 1 & 25 \\ 1 & 1 & 3 & 3 & 1 & 9 \\ 1 & 1 & 3 & 3 & 1 & 9 \\ 1 & 1 & 3 & 3 & 1 & 9 \end{array} \right] \end{array}$$

Matriz transpuesta

$$[X'] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0,5 & 1,5 & 0,5 & 1,5 & 0,5 & 1,5 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 5 & 5 & 3 & 3 & 1 & 5 & 3 & 3 & 3 \\ 0,5 & 1,5 & 2,5 & 7,5 & 1,5 & 4,5 & 1 & 5 & 3 & 3 & 3 \\ 0,25 & 2,25 & 0,25 & 2,25 & 0,25 & 2,25 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 25 & 25 & 9 & 9 & 1 & 25 & 9 & 9 & 9 \end{bmatrix}$$

Matriz simétrica

$$[X'X] = \begin{bmatrix} 11 & 11 & 33 & 33 & 12,5 & 123 \\ 11 & 12,5 & 33 & 37,5 & 15,5 & 123 \\ 33 & 33 & 123 & 123 & 37,5 & 513 \\ 33 & 37,5 & 123 & 140,5 & 46,5 & 513 \\ 12,5 & 15,5 & 37,5 & 46,5 & 20,38 & 141 \\ 123 & 123 & 513 & 513 & 140,5 & 2283 \end{bmatrix}$$

Matriz inversa

$$[X'X]^{-1} = \begin{bmatrix} 8,00 & -12,39 & -1,34 & 0,75 & 4,74 & 0,08 \\ -12,39 & 28,18 & -0,51 & -0,75 & -12,63 & 0,21 \\ -1,34 & -0,51 & 1,18 & -0,25 & 0,63 & -0,15 \\ 0,75 & -0,75 & -0,25 & 0,25 & 0,00 & 0,00 \\ 4,74 & -12,63 & 0,63 & 0,00 & 6,32 & -0,11 \\ 0,08 & 0,21 & -0,15 & 0,00 & -0,11 & 0,02 \end{bmatrix}$$

3.5 Procesamiento y análisis de datos

3.5.1 Procesamiento de datos

El procesamiento de datos se realizó de la siguiente manera: Para todos los cálculos de modelamiento se utilizó el programa Statistica 7 y para la optimización múltiple, según lo recomendado por Gutiérrez y De la Vara (2 004) se utilizó programa estadístico Design Expert. Y en lo que respecta a los análisis de estabilidad, se realizaron graficas de coordenadas en función al tiempo.

3.5.2 Análisis de datos

- i. Con los datos correspondientes a la aceptabilidad sensorial se desarrollaron los modelos cuadráticos que relacione las variables en estudio y el grado de significación del modelo cuadrático ajustado fueron evaluados al 5 % o 0,05 de nivel de significancia (Montgomery, 1 991).
- ii. El modelo cuadrático, para ser considerado predictivo y describir determinadas características en la superficie obtenida, debe presentar regresión significativa al nivel de 95 % de confianza (análisis de varianza), falta de ajuste no significativo en el mismo nivel de confianza y alto valor de R^2 (más próximo de 1 ó 100 %) (Larrea, *et al.* 2 003). Asimismo según Gutiérrez y De la Vara

R. (2 004) indican que el coeficiente de determinación (R^2) y el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{aj}) que se obtienen a partir del ANOVA son los estadísticos más útiles para medir la calidad global del modelo de regresión múltiple. En general, para fines de predicción se recomienda un coeficiente de determinación ajustado de al menos 70 %.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados

4.1.1 Aceptabilidad sensorial

La Tabla 5 muestra el resumen de los promedios de los diferentes atributos sensoriales analizados según la escala hedónica de 9 puntos.

Tabla 5
Análisis de aceptabilidad sensorial del chorizo de cerdo

Tratamientos	X1: Aceite esencial de orégano g/kg	X2: Pasta de ajo g/kg	Y Color	Y Sabor
1	0,5	1	6,2	7,6
2	1,5	1	6,8	4,8
3	0,5	5	7,8	7,8
4	1,5	5	8,0	7,4
5	0,5	3	6,4	7,2
6	1,5	3	7,4	6,6
7	1	1	5,6	6,2
8	1	5	7,2	7,4
9	1	3	6,4	6,8
10	1	3	6,2	6,8
11	1	3	5,0	7,4

Fuente: Elaboración propia, 2 016.

4.1.1.1 Color

Cálculos para determinar las sumas de cuadrados y coeficiente de regresión con las matrices según niveles codificados:

$$[X'Y] = \begin{bmatrix} 73 \\ 1,8 \\ 4,4 \\ -0,4 \\ 42,6 \\ 41,6 \end{bmatrix} \quad [b] = \begin{bmatrix} 5,91579 \\ 0,30000 \\ 0,73333 \\ -0,10000 \\ 0,91053 \\ 0,41053 \end{bmatrix}$$

$$[Y] = \begin{bmatrix} 6,2 \\ 6,8 \\ 7,8 \\ 8 \\ 6,4 \\ 7,4 \\ 5,6 \\ 7,2 \\ 6,4 \\ 6,2 \\ 5 \end{bmatrix}$$

$$[Y'] = [6,2 \quad 6,8 \quad 7,8 \quad 8 \quad 6,4 \quad 7,4 \quad 5,6 \quad 7,2 \quad 6,4 \quad 6,2 \quad 5]$$

$$[b'] = [5,915 79 \quad 0,300 00 \quad 0,733 33 \quad - 0,100 0 \quad 0,910 53 \quad 0,410 53]$$

$$b'[X'Y] = 491,525\ 6$$

$$\frac{[\sum Y]^2}{n} = 484,454\ 5$$

$$[Y'Y] = 492,84$$

$$[Y_{réplicas}] = \begin{bmatrix} 6,4 \\ 6,2 \\ 5 \end{bmatrix}$$

$$[Y'_{réplicas}] = \begin{bmatrix} 6,4 & 6,2 & 5 \end{bmatrix}$$

$$[Y'_{réplicas}Y_{réplicas}] = 104,4$$

$$\frac{[\sum Y_{réplicas}]^2}{n} = 103,253\ 3$$

$$\text{Modelo} = b'[X'Y] - \frac{[\sum Y]^2}{n} = 491,525\ 6 - 484,454\ 5 = 7,071\ 07$$

$$\text{Error puro} = [Y'_{réplicas}Y_{réplicas}] - \frac{[\sum Y_{réplicas}]^2}{n} = 104,4 - 103,253\ 3 = 1,146\ 67$$

$$\text{Total} = [Y'Y] - \frac{[\sum Y]^2}{n} = 492,84 - 484,454\ 5 = 8,385\ 5$$

$$R^2 = \frac{b'[X'Y] - \frac{(\sum y)^2}{n}}{y'y - \frac{(\sum y)^2}{n}} = \frac{7,07}{8,39} = 0,843\ 254\ 06$$

Las sumas de cuadrados quedan resumidos en el análisis de varianza (Tabla 6) correspondiente al modelo de regresión completo elaborado a partir de los resultados de la aceptabilidad del color del chorizo de cerdo presenta una regresión significativa pues su p-valor 0,0442 correspondiente a su F-calculado es menor al valor correspondiente al nivel de significancia de 0,05; Asimismo muestra un coeficiente de determinación ajustado (R^2 aj) de 0,6865; una desviación normal de 0,51; indicando así un mínimo error experimental, y un pequeño coeficiente de variación (7,73 %). Esta condición es satisfactoria para validar la ecuación cuadrática con fines de predicción de la variabilidad de la aceptabilidad.

Tabla 6
Análisis de varianza para la aceptabilidad sensorial del color

Fuente	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrados medios	Valor F	Valor-p	
					Prob > F	
Modelo	7,07	5	1,41	5,38	0,044 2	significante
A-Aceite esencial de orégano	0,54	1	0,54	2,05	0,211 2	
B-Pasta de ajo	3,23	1	3,23	12,27	0,017 2	
AB	0,04	1	0,04	0,15	0,712 5	
A²	2,1	1	2,1	7,99	0,036 8	
B²	0,43	1	0,43	1,62	0,258 5	
Residuo	1,31	5	0,26			
Falta de ajuste	0,17	3	0,056	0,098	0,954 4	no significante
Error puro	1,15	2	0,57			

Total	8,39	10
Dev. Std. = 0,51	R ² = 0,8433	R ² aj = 0,6865
Media = 6,64	C.V. % =	7,73

Fuente: Elaboración propia, 2 016.

Una regresión significativa y una falta de ajuste no significativo indican que el modelo representa adecuadamente los datos en la región estudiada y es útil para estimar las condiciones de aceptabilidad según las variables aceite esencial de orégano y pasta de ajo.

Seguidamente se calcularon los efectos parciales de los coeficientes a través de:

Matriz de covarianzas

$$CM EP * [X'X]^{-1} = \begin{bmatrix} 0,388429135 & 0 & 0 & 0 & \#iNUM! & \#iNUM! \\ 0 & 0,3091206 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,30912 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,37859 & 0 & 0 \\ \#iNUM! & 0 & 0 & 0 & 0,47573 & \#iNUM! \\ \#iNUM! & 0 & 0 & 0 & \#iNUM! & 0,47573 \end{bmatrix}$$

Y contraste t

		Coeficientes	Error estándar	t (2)	p valor
Constante	<i>b</i> ₀	5,9158	0,3884291	15,2300	0,0000
A: Aceite esencial (g/kg)	<i>b</i> ₁	0,3000	0,3091206	0,9705	0,3764
B: Pasta de ajo (g/kg)	<i>b</i> ₂	0,7333	0,3091206	2,3723	0,0638
AB	<i>b</i> ₃	-0,1000	0,3785939	-0,2641	0,8022
A ²	<i>b</i> ₄	0,9105	0,4757266	1,9140	0,1138
B ²	<i>b</i> ₅	0,4105	0,4757266	0,8629	0,4276

El análisis de los coeficientes del modelo confirmada con la prueba de Pareto (Figura 16) muestra que solo los efectos lineal de la pasta de ajo y el efecto cuadrático del aceite esencial de orégano resultaron significativos (p valor $<0,05$) sobre la aceptabilidad del sabor.

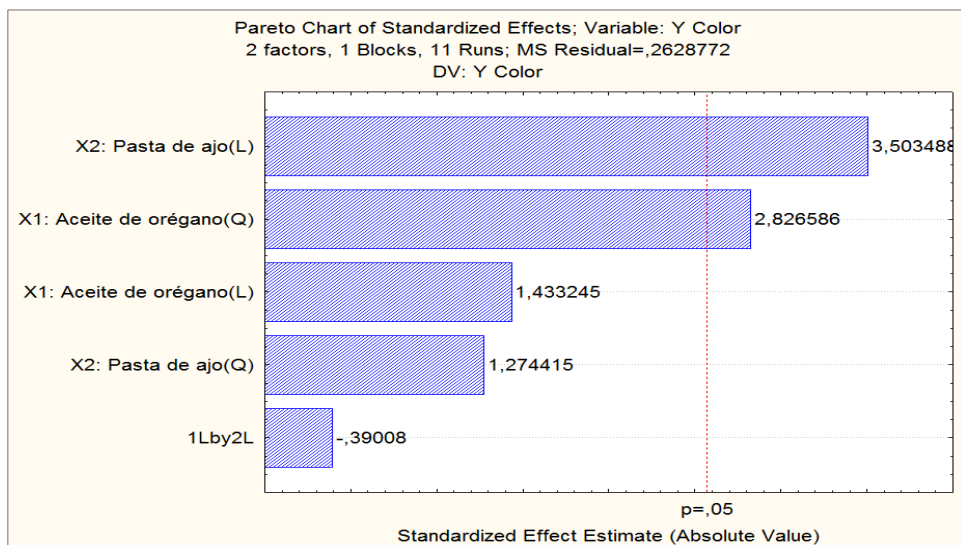


Figura 16. Diagrama de Pareto para la aceptabilidad del color.
Fuente: Elaborado por el autor utilizando Statgraphics Centurión v 16, 2 016.

Para verificar el efecto de cada factor individualmente, observamos la Figura 17 de efectos principales, y se puede apreciar que las variaciones de la dosis de aceite esencial de orégano y pasta de ajo causan una variación no muy significativa en la aceptabilidad del color del chorizo. El aumento de la dosis de ambos ingredientes a niveles máximos de estudio reportan el máximo valor de aceptabilidad del color.

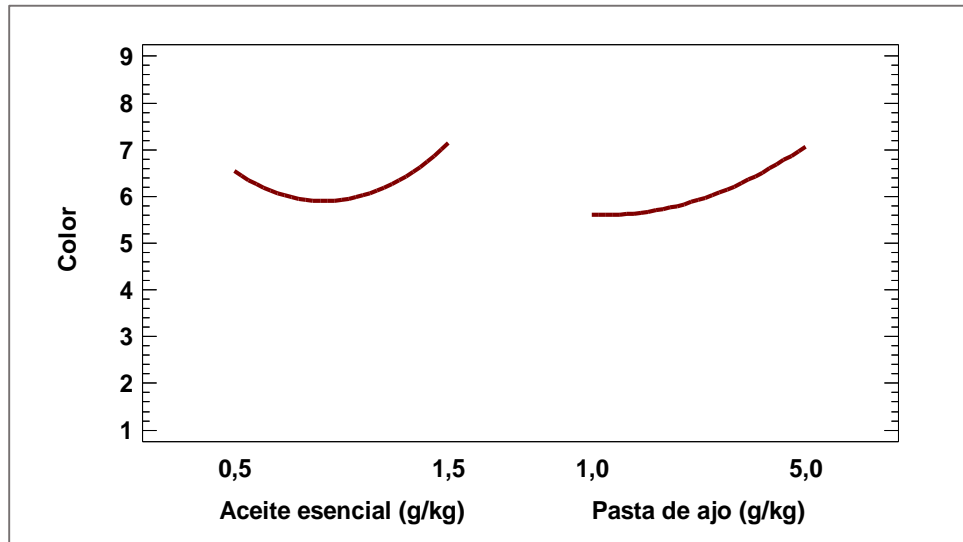


Figura 17. Diagrama de efectos principales para la aceptabilidad del color.
Fuente: Elaboración propia, 2 016.

Una de las variables importantes a considerar es la interacción que generan los factores individuales. Analizando la Figura 18 es posible decir que no existe interacción en el área de exploración. Pero existe una tendencia acentuada a esta en un rango de exploración mayor a una dosis de 1,5 g/kg manteniendo la pasta de ajo entre 1 a 5 g/kg. Esto también se pudo observar en la Tabla 6, donde el valor de probabilidad "p" es mucho mayor ($p=0,7125$) a 0,05; mostrando no ser significativa.

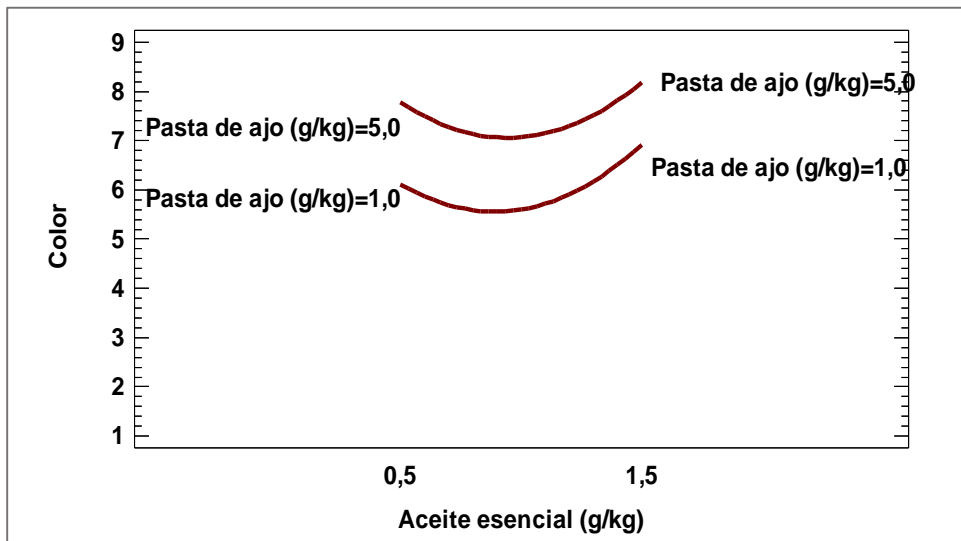


Figura 18. Análisis de las interacciones en la aceptabilidad del color con respecto al aceite esencial de orégano.

Fuente: Elaborado por el autor utilizando Statgraphics Centurión v 16, 2 016.

Una de las variables importantes a considerar es la interacción que generan los factores individuales. Analizando la Figura 19 es posible decir que no existe interacción en el área de exploración. Aunque existe una tendencia acentuada a esta en un rango de exploración mayor a una dosis de 5 g/kg, manteniendo el aceite esencial entre 0,5 a 1,5 g/kg. Esto también se observa en la tabla 21; donde el valor de probabilidad "p" es mucho mayor ($p=0,7125$) a 0,05; mostrando no ser significativa.

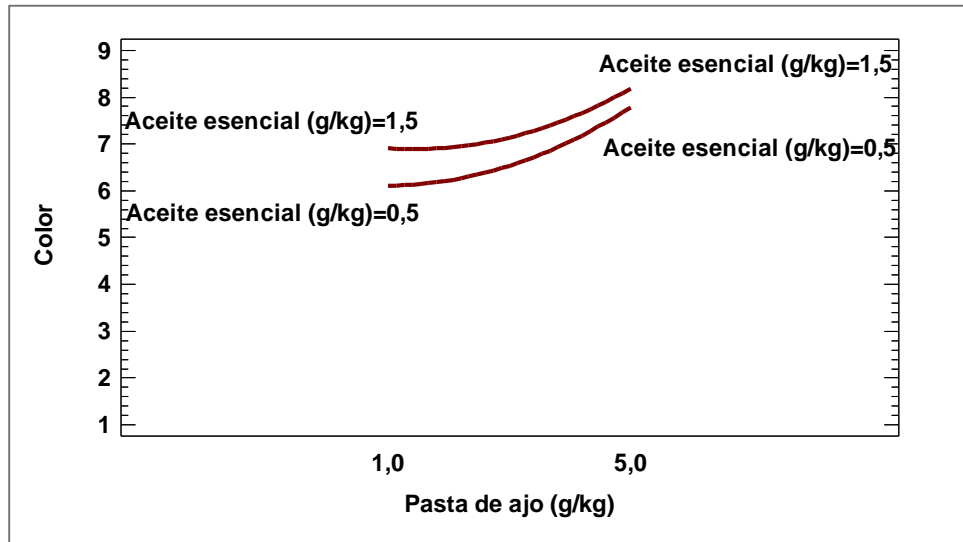


Figura 19. Análisis de las interacciones en la aceptabilidad del color con respecto a la pasta de ajo.

Fuente: Elaborado por el autor utilizando Statgraphics Centurión v 16, 2 016.

Finalmente con las matrices en niveles reales se despejaron los estimadores o coeficientes para el modelo de regresión:

$$[X'Y] = \begin{bmatrix} 73 \\ 73,9 \\ 227,8 \\ 230,1 \\ 85,45 \\ 876,2 \end{bmatrix} \quad [b] = \begin{bmatrix} 8,482 \\ -6,384 \\ -0,149 \\ -0,100 \\ 3,642 \\ 0,103 \end{bmatrix}$$

$$X_1 = \text{Concentración de aceite esencial de oregano } \left(\frac{g}{kg}\right)$$

$$X_2 = \text{Concentración de pasta de ajo } \left(\frac{g}{kg}\right)$$

$$Y_{Color} = 8,48158 - 6,38421X_1 - 0,149123X_2 - 0,1X_1X_2 + 3,64211X_1^2 + 0,102632X_2^2$$

En la Figura 20 de curva de nivel según Cuesta (2 009) del tipo valle, muestra una región de máxima aceptación del color (en rojo) del chorizo cuando es mayor la concentración de la pasta de ajo independientemente de la concentración del aceite esencial de orégano añadido. Demostrando el efecto favorable del ajo sobre la percepción del consumidor, probablemente las sustancias antioxidantes hayan influenciado produciendo muestras de chorizo con un color más agradable.

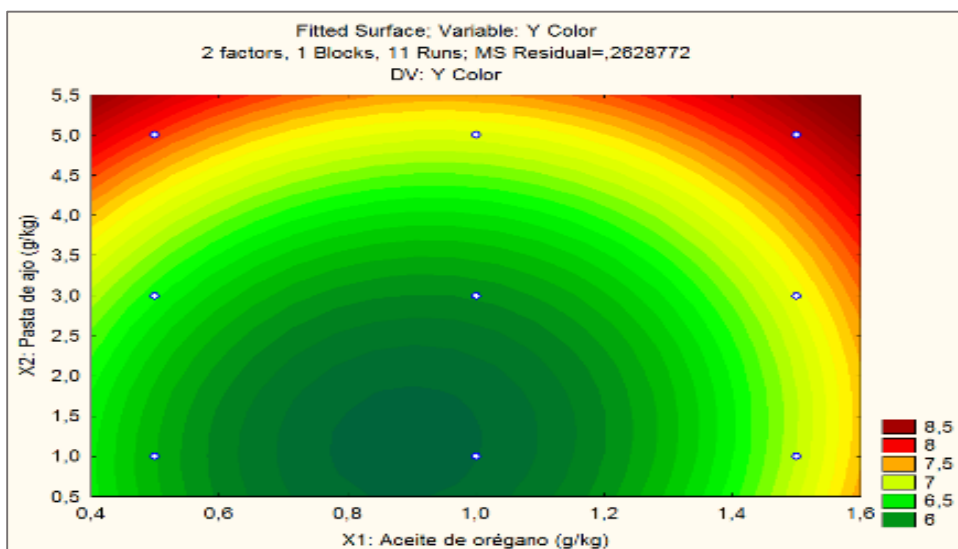


Figura 20. Curvas de nivel para la aceptabilidad del color.
Fuente: Elaboración propia, 2 016.

4.1.1.2 Sabor

Cálculos para hallar la suma de cuadrados y coeficiente de regresión con las matrices según niveles codificados:

$$\begin{aligned}
 [X] &= \begin{bmatrix} 7,6 \\ 4,8 \\ 7,8 \\ 7,4 \\ 7,2 \\ 6,6 \\ 6,2 \\ 7,4 \\ 6,8 \\ 6,8 \\ 7,4 \end{bmatrix} & [X'Y] &= \begin{bmatrix} 76 \\ -3,8 \\ 4 \\ 2,4 \\ 41,4 \\ 41,2 \end{bmatrix} & [b] &= \begin{bmatrix} 6,95789 \\ -0,63333 \\ 0,66667 \\ 0,60000 \\ 0,00526 \\ -0,09474 \end{bmatrix} & & \begin{matrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \end{matrix}
 \end{aligned}$$

$$[Y'] = [7,6 \quad 4,8 \quad 7,8 \quad 7,4 \quad 7,2 \quad 6,6 \quad 6,2 \quad 7,4 \quad 6,8 \quad 6,8 \quad 7,4]$$

$$[b'] = [6,95789 \quad -0,63333 \quad 0,66667 \quad 0,60000 \quad 0,00526 \quad -0,09474]$$

$$b'[X'Y] = 531,628$$

$$\frac{[\sum Y]^2}{n} = 525,091$$

$$[Y'Y] = 532,24$$

$$[Y_{réplicas}] = \begin{bmatrix} 6,8 \\ 6,8 \\ 7,4 \end{bmatrix}$$

$$[Y'_{réplicas}] = [6,8 \quad 6,8 \quad 7,4]$$

$$[Y'_{réplicas} \cdot Y_{réplicas}] = 147,24$$

$$\frac{[\sum Y_{réplicas}]^2}{n} = 147$$

$$\mathbf{Modelo} = b'[X'Y] - \frac{[\sum Y]^2}{n} = 531,62807 - 525,0909 = 6,5372$$

$$\mathbf{Error\ puro} = [Y'_{réplicas}Y_{réplicas}] - \frac{[\sum Y_{réplicas}]^2}{n} = 147,24 - 147 = 0,24$$

$$\mathbf{Total} = [Y'Y] - \frac{[\sum Y]^2}{n} = 532,24 - 525,0909 = 7,1419$$

$$R^2 = \frac{b^T[X'Y] - \frac{(\sum y)^2}{n}}{y^T y - \frac{(\sum y)^2}{n}} = \frac{6,54}{7,15} = 0,9144$$

El análisis de varianza de la Tabla 7 (ANVA) para el modelo de regresión ajustado de la variable aceptabilidad del sabor, mostró un coeficiente de determinación ajustado (R^2 aj) de 0,8288; y elevado valor de coeficiente de variación. El modelo presenta además regresión altamente significativa pues su p-valor resultado 0,0106 valor inferior para una probabilidad $\leq 0,05$.

Tabla 7
Análisis de varianza para la aceptabilidad sensorial del sabor

Fuente	Suma de Cuadrados	gl	Cuadrados Medios	Valor F	Valor-p	
					Prob > F	
Modelo	6,54	5	1,31	10,68	0,0106	significante
A-Aceite esencial de orégano	2,41	1	2,41	19,66	0,0068	
B-Pasta de ajo	2,67	1	2,67	21,79	0,0055	
AB	1,44	1	1,44	11,77	0,0186	
A^2	7,02E-05	1	7,02E-05	5,73E-04	0,9818	
B^2	0,023	1	0,023	0,19	0,6844	
Residuo	0,61	5	0,12			
Falta de ajuste	0,37	3	0,12	1,03	0,5262	no significante
Error puro	0,24	2	0,12			
Total	7,15	10				
Dev. Std. = 0,35		$R^2 = 0,9144$		$R^2 \text{ aj} = 0,8288$		
Media = 6,91		C.V. % = 5,06				

Fuente: Elaboración propia (2 016)

Seguidamente se calcularon los efectos parciales de los coeficientes a través de:

Matriz de covarianzas

$$CM EP * [X'X]^{-1} = \begin{bmatrix} 0,177704663 & 0 & 0 & 0 \text{ #jNUM!} & \text{#jNUM!} \\ 0 & 0,141421356 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,14142136 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,1732051 & 0 & 0 \\ \text{#jNUM!} & 0 & 0 & 0 & 0,217643 & \text{#jNUM!} \\ \text{#jNUM!} & 0 & 0 & 0 & \text{#jNUM!} & 0,217643 \end{bmatrix}$$

Contraste t

		Coefficientes	Error estándar	t (2)	p valor
constante	bo	6,95789	0,17770	39,1543	0,00065
A: Aceite esencial (g/kg)	b1	-0,63333	0,14142	-4,4783	0,04642
B: Pasta de ajo (g/kg)	b2	0,66667	0,14142	4,7140	0,04217
AB	b3	0,60000	0,17321	3,4641	0,07418
A ²	b4	0,00526	0,21764	0,0242	0,98290
B ²	b5	-0,09474	0,21764	-0,4353	0,70583

El análisis de los coeficientes del modelo, comprobado con la prueba de Pareto (Figura 21) muestra que solo los efectos parciales de los regresores de ambas variables resultaron no influyentes al nivel de significancia de 0,05.

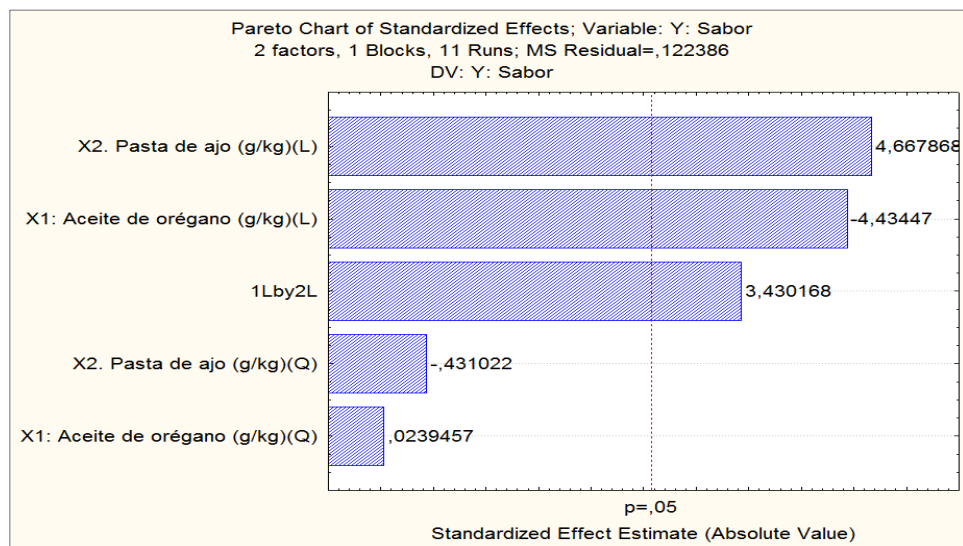


Figura 21. Diagrama de Pareto para la aceptabilidad del sabor.
Fuente: Elaborado por el autor utilizando Statgraphics Centurión v 16, 2 016.

Para verificar el efecto de cada factor individualmente, observamos la Figura 22 de efectos principales, donde se aprecia que las variaciones de la dosis de aceite esencial de orégano y pasta causan una variación muy significativa en la aceptabilidad del color del chorizo. El aumento de la dosis de ambos ingredientes a niveles máximos de estudio reportan el máximo valor de aceptabilidad del color.

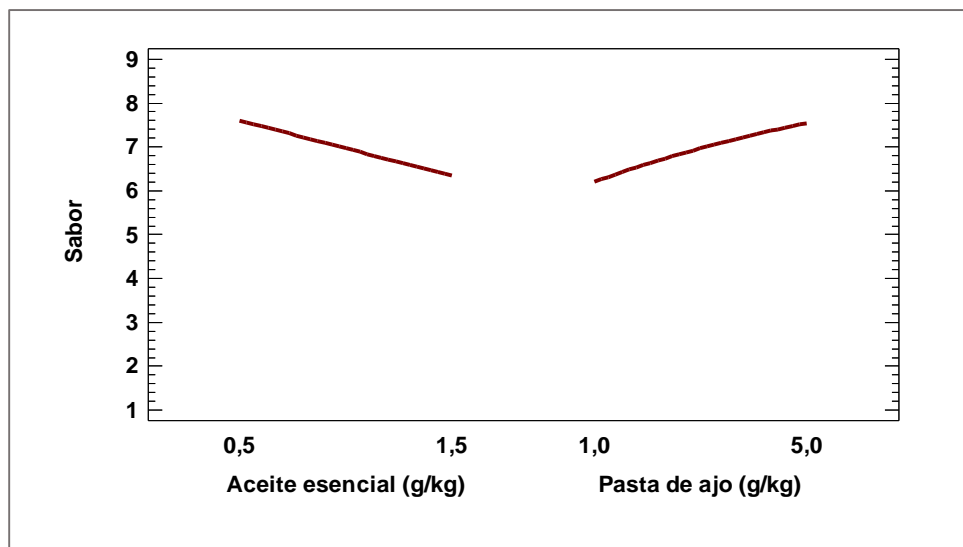


Figura 22. Diagrama de efectos principales para la aceptabilidad del sabor.
Fuente: Elaborado por el autor utilizando Statgraphics Centurión v 16, 2 016.

Una de las variables importantes a considerar es la interacción que generan los factores individuales. Analizando la Figura 23 es posible decir que no existe interacción en el área de exploración. Pero existe una tendencia acentuada a esta en un rango de exploración menor a una dosis de 0,5 g/kg, manteniendo

la pasta de ajo entre 1 a 5 g/kg. Esto también se pudo observar en la Tabla 8; donde el valor de probabilidad "p" es menor ($p=0,0186$) al nivel significativo 0,05; mostrando estar ser significativa.

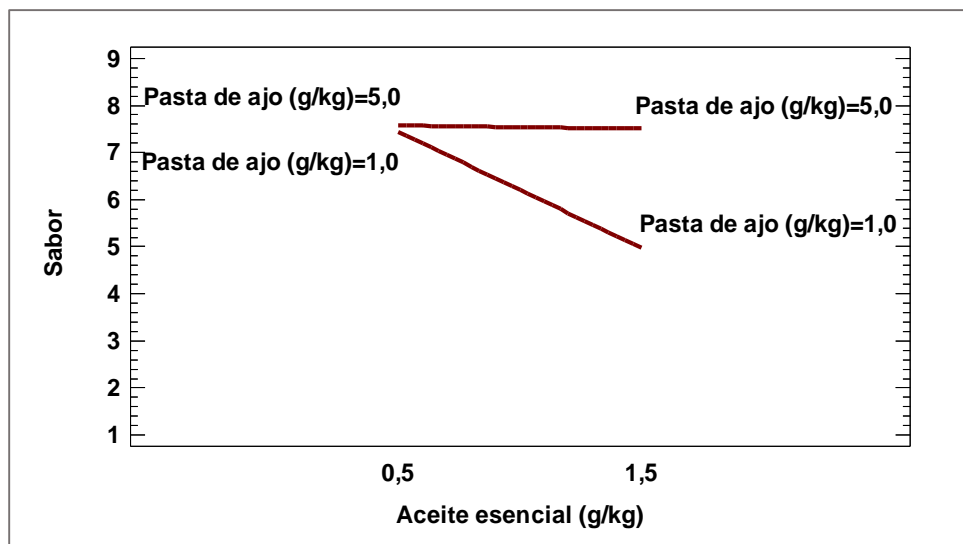


Figura 23. Análisis de las interacciones en la aceptabilidad del sabor con respecto al aceite esencial de orégano.
Fuente: Elaborado por el autor utilizando Statgraphics Centurión v 16, 2 016.

Otra de las variables importantes a considerar es la interacción que generan los factores individuales. Analizando la Figura 24 es posible decir que no existe interacción en el área de exploración. Pero existe una tendencia acentuada a esta en un rango de exploración mayor a una dosis de 5 g/kg, en el rango de la pasta de ajo entre 1 a 5 g/kg. Esto también se pudo observar en la tabla N°8; donde el valor de probabilidad "p" es menor

($p=0,0186$) al nivel significativo 0,05; mostrando estar ser significativa.

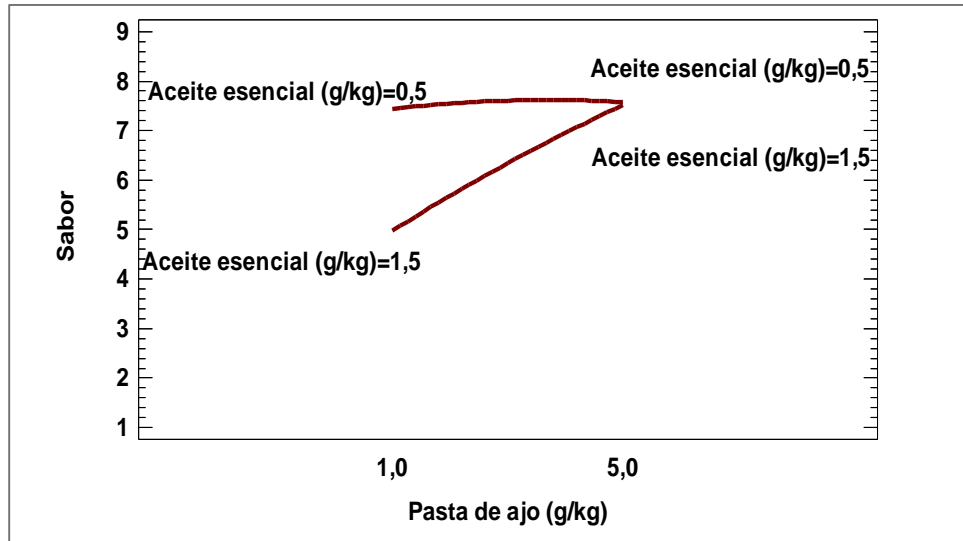


Figura 24. Análisis de las interacciones en la aceptabilidad del sabor con respecto a la pasta de ajo.
Fuente: Elaborado por el autor utilizando Statgraphics Centurión v 16, 2 016.

Con las matrices en niveles reales se despejaron los estimadores o coeficientes para el modelo de regresión del sabor,

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} 76 \\ 74 \\ 236 \\ 233 \\ 83 \\ 897 \end{bmatrix} \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} 8,83246 \\ -3,10877 \\ -0,12456 \\ 0,60000 \\ 0,02105 \\ -0,02368 \end{bmatrix} \quad \begin{matrix} b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \end{matrix}$$

$$X_1 = \text{Concentración de aceite esencial de oregano } \left(\frac{g}{kg}\right)$$

$$X_2 = \text{Concentración de pasta de ajo } \left(\frac{g}{kg}\right)$$

$$Y_{Sabor} = 8,83246 - 3,10877X_1 - 0,124561X_2 + 0,6X_1X_2 + 0,0210526X_1^2 - 0,0236842X_2^2$$

El modelo de regresión desarrollado presentó falta de ajuste no significativa con p-valor igual a 0,5262; por lo que en esta ecuación no requiere de la exclusión de sus coeficientes no significativos. Se construyó la Figura 25 de curva de nivel correspondiente al modelo ajustado según Cuesta (2 009) del tipo cresta, y muestra la variación de la aceptación del sabor en función del aceite de orégano y pasta de ajo, y se observa una región de máxima aceptación del sabor del chorizo de cerdo cuando las dosis son el mínimo de concentración de aceite esencial de orégano en combinación con el máximo de concentración de pasta de ajo.

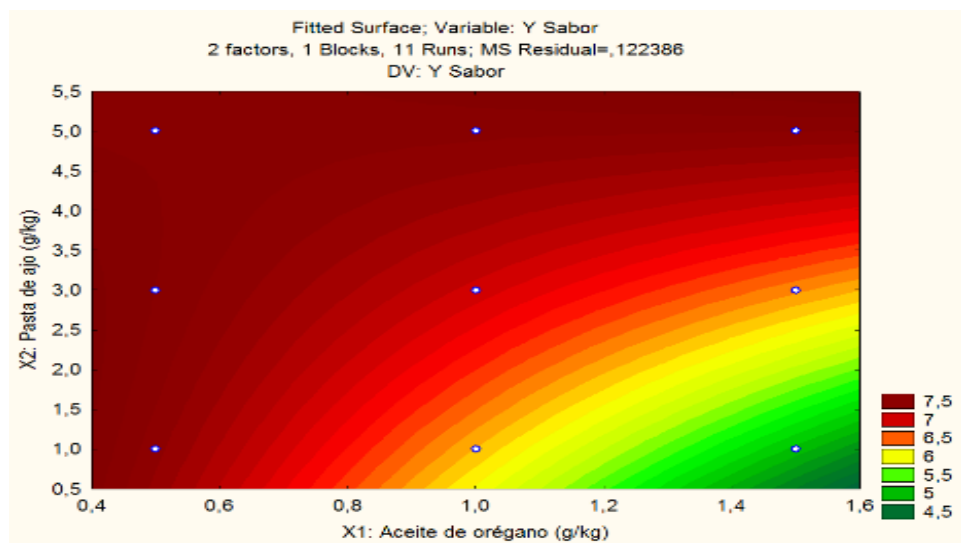


Figura 25. Curvas de nivel estimadas para la aceptabilidad del sabor
Fuente: Elaborado por el autor utilizando Statistica v 7, 2 016.

4.1.2 Estabilidad de las propiedades fisicoquímicas

Las Tablas 8 y 9 muestran los resultados en los días evaluados para la muestra estudiada en comparación con una muestra comercial.

Tabla 8
Resultados de estabilidad fisicoquímica de muestra estudiada.

Día	pH	Acidez (%)	IP
1	5,86	3,8	4
3	5,82	3,8	4,3
5	5,73	4,26	3,3
7	5,62	4,7	3,45
10	5,48	5,3	3,3
14	5,55	5	3,5
17	5,74	5,1	3,5
19	5,68	5,5	3,5
21	5,51	6,8	3,5
24	5,87	5,5	3,8
26	5,32	5,1	3,5
29	5,21	5,7	3,3
33	5,36	5,5	3,5
38	5,1	5,5	5,27
40	5,06	5,3	6,23
42	5,01	6	9,38
45	4,94	6,5	12,78
47	4,75	6,8	13,49
49	4,71	8,5	20,84
52	4,74	8,5	21,8

Fuente: Elaboración propia, 2 016.

Tabla 9*Resultados de estabilidad fisicoquímica de muestra comercial*

Días	pH	Acidez (%)	IP
1	6,97	2,98	4,79
5	6,71	6,4	12,9
7	6,7	6,8	13,68
9	5,1	7,3	21,3
12	4,1	9,01	29,9

Fuente: Elaboración propia, 2 016.

4.1.2.1 Acidez

En la Figura 26 se muestra la evolución de acidez a lo largo de los días de almacenamiento, demostrando que si bien los niveles de acidez han variado, la muestra de chorizo comercial alcanzó en menor tiempo, niveles de acidez que a la muestra optimizada le tomo más de 48 días en alcanzar, siendo estable por lo menos en 40 días sin muchas alteraciones.

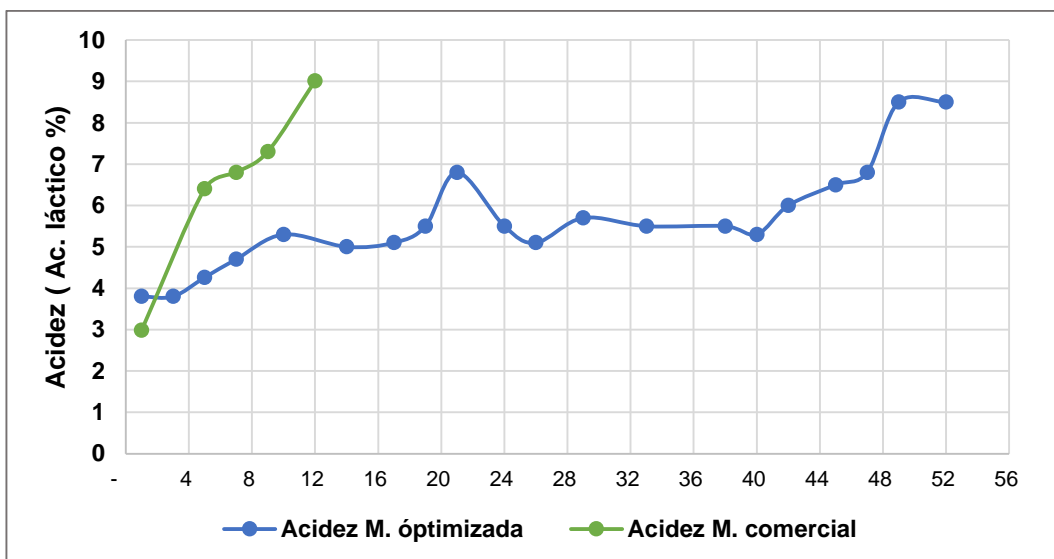


Figura 26. Evolución de la acidez durante el tiempo de almacenamiento.
Fuente: Elaboración propia, 2 016.

4.1.2.2 pH

La Figura 27 muestra los análisis de pH realizados durante el transcurso del tiempo de almacenamiento tanto a la muestra estudiada como a la muestra patrón (comercial), el pH de la muestra comercial, registra una variación amplia (7 a 4) mientras que la muestra estudiada registra una variación no tan amplia (6 a 5) y casi estable por más tiempo.

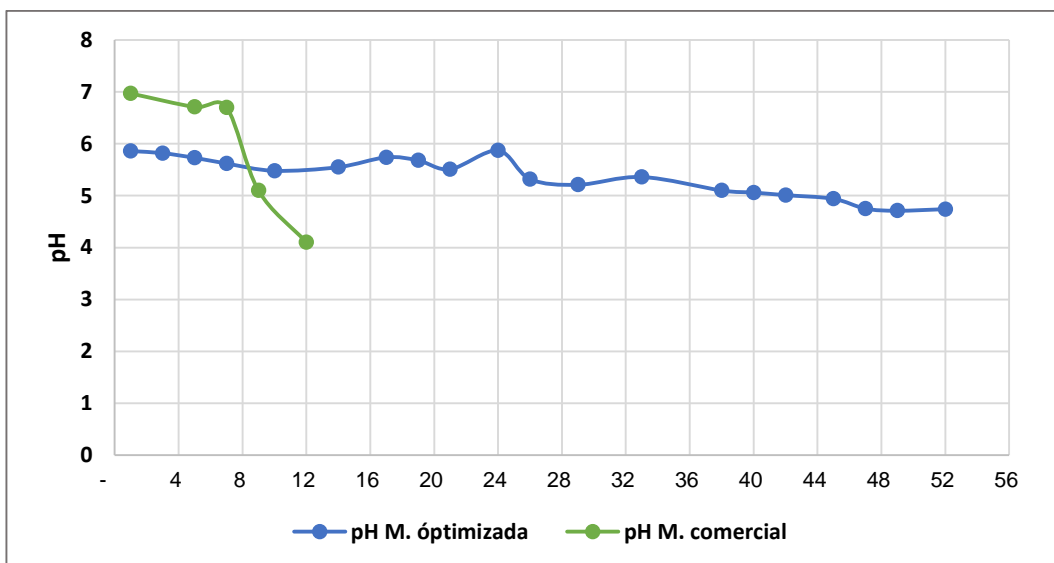


Figura 27. Evolución de la acidez durante el tiempo de almacenamiento.
Fuente: Elaboración propia, 2 016.

4.1.2.3 Índice de peróxidos

Esta propiedad indica la cantidad de oxígeno activo que tiene un alimento, refleja su riesgo de oxidación y su estado de conservación. Según la Norma Codex para Grasas Animales especificadas Codex Stan 211 (1 999) su valor no debe sobrepasar un índice de peróxidos de 10 meq de oxígeno por kilogramo de grasa.

En la Figura 28 se muestra los niveles de peróxidos de los chorizos optimizado y comercial durante el tiempo de almacenamiento y considerando que el límite máximo establecido por la Norma Codex para Grasas Animales especificadas Codex

Stan 211 (1 999), se puede afirmar que las condiciones de conservación han permitido mantener en el valor máximo tolerable de referencia hasta el día 40 de almacenamiento que es cuando empieza a hacer evidente que el incremento de las reacciones oxidativas que pueden ser hidrolíticas o autolíticas, mientras que la muestra comercial claramente muestra un deterioro paulatino alcanzando en apenas 12 días niveles de peróxidos de 30 meq/kg mientras que el chorizo optimizado registro a los 40 días 6,23 meq/kg.

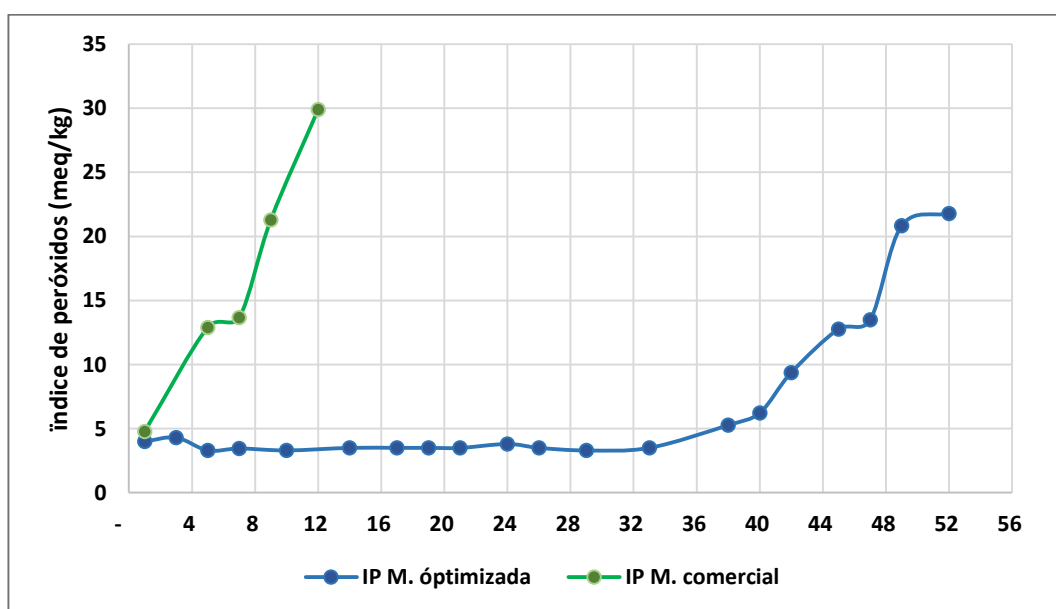


Figura 28. Evolución del índice de peróxidos durante el tiempo de almacenamiento. Fuente: Elaboración propia, 2 016.

4.1.2.4 Flujo definitivo

Muestra de chorizo con adición de aceite esencial de orégano y pasta de ajo donde se menciona las características fisicoquímicas a los 40 días de almacenamiento, como ser un pH final de 5; una acidez de 5 % e índice de peróxidos de 6,2 meq/kg. El flujo definitivo del proceso de elaboración del chorizo se muestra en la Figura 30.



Figura 29. Muestras de chorizo en estudio.
Fuente: Elaboración propia, 2 015.



Figura 30. Flujo definitivo para la evaluación del chorizo con adición de aceite esencial de orégano y pasta ajo.

Fuente: Elaboración propia, 2 016.

4.2 Discusiones

4.2.1 Con respecto al color

La valoración del color de las salchichas de pollo tomando en cuenta lo que señala Espinosa (2007), quien manifiesta que la importancia del color en la evaluación sensorial se debe fundamentalmente a la asociación que el consumidor realiza entre este y otras propiedades de los alimentos, ya que en ocasiones sólo por la apariencia y color del alimento un consumidor puede aceptarlo o rechazarlo, se establece que todos tuvieron una muy buena aceptación, por cuanto todos los grupos de chorizos evaluados recibieron una calificación por encima de 6 puntos sobre 9 de referencia, lo que determina que el los ingredientes utilizados como antioxidante naturales mantuvo el color de los chorizos lo que también puede deberse posiblemente a que este producto mantuvo su color estable debido a lo que en el curado de carne casi siempre se usa sal combinada con nitritos; cuyo propósito de la mezcla no solo es inhibir el crecimiento de bacterias y algunos microorganismos, además de que los nitritos producen una reacción química en las proteínas de la carne, que acentúa su color, mientras que los fosfatos se usan para mejorar la capacidad

de unión de los ingredientes con el agua que se agrega al producto.

Villa (2 011) encontró que la estabilidad de chorizo español elaborado únicamente con especias y sin presencia de sales curantes, mantuvieron estables sus propiedades a los 30 días de evaluación, ya que todas recibieron una calificación de buenas, es decir, no hubo diferencias en el color de los chorizos elaborados con los productos químicos con los naturales, cuando permanecieron los chorizos hasta 30 días en refrigeración, considerándose por tanto, que los aditivos y condimentos naturales (Pimienta negra, pimienta blanca, pimienta dulce, pimentón, orégano, canela, clavo de olor, nuez moscada, ajo fresco, ají, cebolla, vinagre, entre otros) y químicos (Nitrito de sodio y potasio, fosfatos y ácido ascórbico) empleados favorecen la vida de anaquel del chorizo, prolongando la acción oxidativa que posee la carne y la grasa, debido a la acción microbiana.

4.2.2 Con respecto al sabor

Es la característica que presentó mayor influencia de los niveles de aceite esencial de orégano y pasta de ajo como antioxidante natural, ya que las valoraciones asignadas

presentaron diferencias significativas, recibiendo los chorizos que se elaboraron registrándose ajustes desde 4 hasta 7 en la escala 9 de preferencia, variación que estadísticamente resulto significativa por lo que el análisis de la regresión determinó una tendencia de interacción significativa, de donde se desprende que cuando se utiliza menos de 0,8 g/kg de aceite esencial en la elaboración de los chorizos la aceptación de los consumidores se mejora, pero decae cuando se eleva el antioxidante natural a 1,2 g/kg teniendo mayor aceptación cuando se utiliza por encima del nivel 0,60 g/kg de aceite esencial, lo que puede deberse a lo que señala Armenteros et al. (2012) que se pudo comprobar que estas hierbas como ser el orégano, la salvia, el tomillo, la canela, la albahaca, la pimienta incorporadas en forma de extractos a la carne de cerdo previenen la oxidación lipídica quienes; asimismo se ha logrado identificar recientemente los mecanismos involucrados en las interacciones entre proteínas y compuestos fenólicos. Según estos autores, los compuestos fenólicos podrían ejercer acciones antioxidantes o pro-oxidantes sobre las proteínas, en función de su estructura química, la concentración en el producto, el estado oxidativo del mismo así como la estructura y características de las proteínas. De hecho, en sistemas cárnicos cocidos el uso de

compuestos fenólicos ya había sido usado con éxito para inhibir la oxidación de proteínas. Aunque también queda claro que un exceso de más 1,4 g/kg de aceite esencial ya no es muy tolerado por los consumidores.

4.2.3 Con respecto a la pH y la acidez

El índice de acidez no se refiere a lo que la palabra “ácido” significa normalmente. Como parámetro químico, la acidez se refiere a la proporción de ácidos grasos libres que contiene la muestra, expresada en porcentaje de ácido oleico (Fonseca y Martínez, 2009). La evolución de acidez a lo largo de los días de vida útil, demuestra que si bien los niveles de acidez han variado, estos valores desde un inicio de su almacenamiento, ya eran mayores en comparación con lo estipulado por la Norma Codex para Grasas Animales especificadas Codex Stan 211 (1 999) que establece al valor de 1,25 % en ácido oleico (0,478 % ácido láctico) como límite tolerable de acidez de una grasa de origen animal; es decir como criterio de deterioro.

El crecimiento y la supervivencia de los microorganismos están influenciados por el pH y el contenido de ácidos orgánicos del alimento; éstos determinan, de acuerdo a su valor, floras

contaminantes diferentes y y resistencias a los factores de conservación (Randazzo et al, 2013).

4.2.4 Con respecto a los peróxidos

En general la formación de peróxidos comienza lentamente y se va incrementando con mayor velocidad según pasen los días de almacenamiento, producto de la acción del oxígeno, luz o auto oxidación. Y considerando que el contenido de peróxidos, producto de la reacción entre las grasas y el oxígeno presentes en el aceite definen su estado de oxidación primaria y muestra una tendencia del enranciamiento confirma lo mencionado Ortiz (2 014), que dice que los peróxidos formados son inestables y se transforman luego en compuestos volátiles que imparten olores y sabores desagradables. Por tanto es probable se hayan percibido olores y sabores desagradables a partir del día 40 de almacenamiento puesto que ya su inestabilidad se hace más evidente.

Asimismo Amadio et al., (2 009), determino que en bajas concentraciones (35 mg/L) el aceite esencial de orégano es seis veces más efectivo, por su capacidad de captura de radicales libres el O. x aplii que el O. x majoricum y en mayores dosis (920 mg/L),

su actividad es similar: ambos capturan más del 90 % del DPPH. Además Montoya et al., (2 007), afirma que el carvacrol (Figura 38) presenta mayor velocidad de reacción.

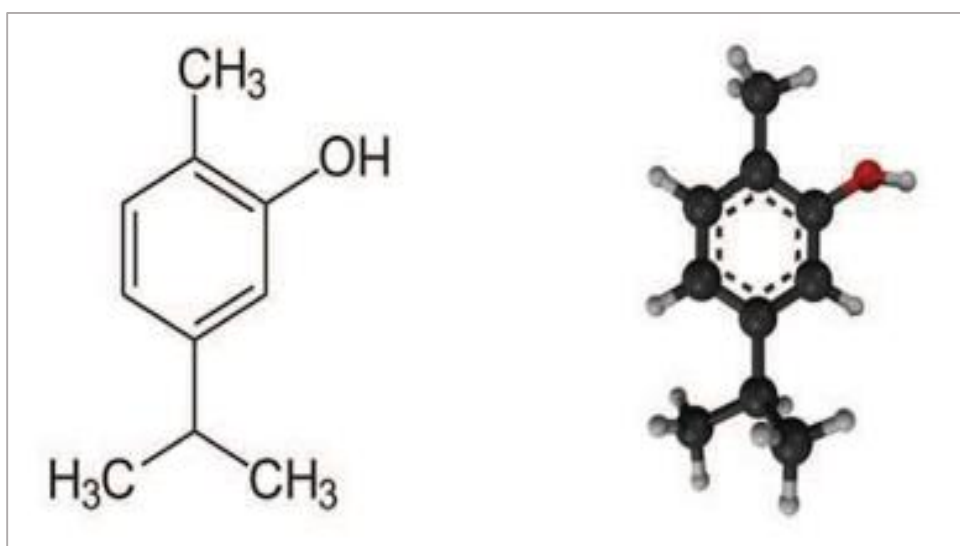


Figura 31. Estructura química del Carvacrol o Cymophenol.
Fuente: Garde, 2013.

El efecto antioxidante del carvacrol y/o timol PheOH sobre sustrato orgánico oxidable (DPPH⁰), origina radicales más estables tanto del sustrato DPPHH como del antioxidante PheO (Montoya et al., 2 007).

CONCLUSIONES

1. En la determinación de la Influencia sobre la aceptabilidad sensorial del chorizo, al nivel de significancia del 0,05 a pesar que individualmente ningún coeficiente resultara significativo, el modelo desarrollado si resultó significativo sobre la aceptabilidad del color; y sobre el sabor resultaron significativos el modelo y sus coeficientes individuales lineales del aceite esencial y la pasta de ajo. Los compuestos activos del aceite esencial de orégano y la pasta de ajo evidenciaron su efecto inhibitor sobre posibles alteraciones oxidativas producidas durante el proceso de elaboración.
2. La estabilidad fisicoquímica de la muestra según la variación de la acidez ha superado el valor recomendado por norma codex para grasas animales especificadas Codex Spam 211, (1 999), sin embargo en la variabilidad del índice de peróxidos se estableció un tiempo de vida útil de 40 días, que es cuando llega al límite ponderado por la norma 6.2 meq/kg, en condiciones de conservación o refrigeración.

3. La adición de aceite esencial de orégano conjuntamente con la pasta de ajo se plantea como una buena alternativa de producción para el mercado del chorizo, siendo factible su elaboración en forma natural, sin uso de preservante ni aditivos sintéticos; logrando un producto con buena aceptabilidad al consumidor, manteniendo su color y sabor característicos y con una estabilidad en el tiempo razonable.

RECOMENDACIONES

1. Evaluar la vida útil del chorizo en diferentes condiciones de temperatura de conservación según sus características sensoriales y fisicoquímicas.
2. Estudiar las características del chorizo de cerdo pero con adición de antioxidantes sintéticos como el BHT a fin de comparar sus efectos.
3. Evaluar el posible efecto del glutamato monosódico en las características sensoriales del color, olor y sabor del chorizo, bajo condiciones de tratamiento con antioxidantes naturales (aceite esencial).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, J. y Shivhare, U.S. (2001). Thermal Kinetics of Color Change, Rheology, and Storage Characteristics of Garlic Puree/Paste. *Journal of Food Science*. 66 (5): 754 -757.
- Albado Plaus Emilia, Saez Flores Gloria, Grabiell Ataucusi Sandra (2003) Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial del *Origanum vulgare* (orégano). Universidad Nacional Federico Villarreal. Perú pp. 3-4.
- Albado Plaus, Emilia. Sáenz flores, Gloria. Ataucusi Sandra. (2001) investigación "Composición química y actividad antibacteriana del aceites esencial del *origanum vulgare* (orégano)". Universidad Nacional Federico Villareal. Lima Perú. pp. 31-33.
- Amadio C., M. Zimmermann, R. Medina Susana Miralles, C. Dediol (2009) Aceite esencial de orégano: un potencial aditivo alimentario Rev. FCAUNCUYO. ISSN 0370-4661. Mendoza, Argentina
- Aparicio R. Harwood J. (2003) Manual del Aceite de Oliva 1era edición, Ediciones Mundi-Prensa. pp. 50-62.

- Armenteros M.; Ventanas S.; Morcuende D.; Estévez M. y Ventanas J. (2012) Empleo de antioxidantes naturales en productos cárnicos Universidad de Extremadura. España. Pag 72
- Aruoma OI. (1999) "Free radicáis, antioxidants and international nutrition" Asia and Pacific Journal of Clinical Nutrition, 8, 1 53-63
- Bou, R., Codony, R., Tres, A. y De ... , E.A. (2009). Dietary strategies to improve nutritional value, oxidative stability and sensory properties of poultry products. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 8: 800-822.
- Burdock, George A. (2005) Fenaroli's handbook of flavor ingredients. 5th edition. CRC Press, Boca Ratón, Florida, pp. 262, 1789-1794.
- COI/T.15/NC n°3/Rev 2 de 24-11-2006. Method of analysis international Olive Council. Madrid – España
- Collazos, C. (1993). La Composición de los Alimentos de Mayor Consumo en el Perú. Ministerio de Salud. 6ta edición. Lima. Pág. 35.
- Coretti, K. 1986. Embutidos: Elaboración y Defectos, Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España. Pp. 13-125.
- Crespo Francisco León y Millan Rafael (1977) Cambios Químicos Durante La Maduración Del Salchichón: Alteraciones En La Fracción Lipídica. pp. 27-31.

- Cuesta A. (2009) Metodología de Superficies de Respuesta, gran alternativa para incrementar la productividad de sus procesos. Universidad del Valle – Colombia
- De la Vara, R. y J. Domínguez (1988). "*Metodología de superficie de multirrespuesta*". Comunicación Técnica, 1-90-08, CHVLAT.
- Demeyer, D. J. Hoo/ee y H. Desdom, (1974) *Specificity of lipolysis during sausage ripening*. J. Food. Sci., 39: 293.
- De Oyarbide C. (2015) El ajo y sus usos medicinales alternativos. En: <http://www.vitadelia.com/el-ajo-y-sus-usos-medicinales-alternativos/>
- De Sá D. (2015) Cómo cuidar el orégano. En: <https://hogar.uncomo.com/articulo/como-cuidar-el-oregano-39959.html>
- Edris, A.E. (2007). *Pharmaceutical and Therapeutic Potentials of Essential Oils and their Individual Volatile Constituents: a Review*. Phytother Res., 21:308-323.
- Espinosa, J. (2007). Evaluación Sensorial de los Alimentos, sn. La Habana, Cuba. Editorial Universitaria. pp 16-24.
- Estévez, M. (2011). Protein carbonyls in meat systems: A review. Meat Science, 89: 259-279.
- Estévez, M., Kylli, P., Puolanne, E., Kivikari, R. y Heinonen, M. (2008). Oxidation of skeletal muscle myofibrillar proteins in oil-in-water

emulsions: inter-action with lipids and effect of selected phenolic com-pounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56:10933-10940.

Fellenberg María Angélica (2009) *Importancia y Prevención de la Oxidación de Carne de Pollo* pp. 12-23.

Fonseca, E. (2009) *Producción de Biodiesel Utilizando Aceite Vegetal de Desecho y Etanol*. Maracaibo. República Bolivariana de Venezuela. Universidad Rafael Urdaneta. pp. 41-52.

Garde Izquierdo Gaizka (2013) *Cuantificación de la retención de Carvacrol y Eugenol durante la formación de películas comestibles activas*. Universidad Pública de Navarra. España

Girard, J.P. (1991). *Tecnología de la Carne y de los Productos Cárnicos*. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza, España. Pp. 139-421.

Goren, A.; Bilsel, G.; Bilsel, M.; et al., (2003) *Analysis of essential oil of *Coridothymus capitatus* (L.) and its antibacterial and antifungal activity*. *Z Naturforsch.*, 58c, pp. 687-690.

Granato Daniel y Ares Gastón (2014) *Mathematical and statistical methods in food science and technology* / edited by WILEY Blackwell. West Sussex, UK. p. 9

Gutiérrez H. y De la Vara R. (2004) *Análisis y diseño de experimentos*. 1ra Ed. Mc Graw Hill. México pp. 114-115; 505

- Gutiérrez H. y De la Vara R. (2008) *Análisis y diseño de experimentos*. 2ra Ed. Mc Graw Hill. México
- Halliwell, B. y Gutteridge, J. M. (1990) *Role of free radicáis and catalytic metal ions in human disease: an overview*. *Methods in Enzymology*, 186: 1-85.
- Hernández-Hernández, E., E. Ponce-Alqueira, M.E. Jaramillo-Flores and I. Guerrero-Legarreta. (2009). Antioxidant effect rosemary (*Rosmarinas officinalis L*) and orégano (*Origanum vulgare L.*) extracts on TBARS and colour of model raw pork batters. *Meat Sci.* 81(2): 410-417.
- ICMSF (International Commission on Microbiological Specifications for Foods) (1985). *Microorganisms in Foods. 2. Sampling for microbiological analysis: Principies and specific applications*. 2nd Ed. In preparation.
- Illanes, B. (1992). *Prospección del Cultivo de Ajo en la Xa Región. I. Especies, Tipos de Ajo y Manejo del Cultivo*. Instituto de Investigación Agropecuarias. Centro de Investigación Remehue, Boletín Técnico N° 186. Osorno. Chile. 39p.
- Ingouj, K. U. (1969). Peroxy radicals. *Acct Chem Res.* 2. pp. 1-14.

- Irianda P. (2010) *Capacidad Antimicrobiana y Antioxidante de Extractos de Orégano Obtenidos Mediante Fluidos Supercríticos*. Universidad Politécnica de Valencia
- Jiménez M. (2015) *Superficies de Respuesta mediante un Diseño Central Compuesto*. Instituto de Estadística Teórica y Aplicada. La Paz-Bolivia.
- Kiger F., Figueroa F., (1993). "Industrialización del Ajo". Instituto de Investigaciones Tecnológicas. INTEC-CHILE. Av. Santa María 6400, Las Condes, Santiago, Chile. pp. 58-62.
- Larrea Céspedes M., Cerro Ruiz S., Salazar Castro G. (2003). Estudio Experimental Para la Elaboración De Galletas Tipo "Cookie" Con Adición de Fibra de Pulpa De Madera Pre Tratada Con Peróxido De Hidrógeno Alcalino (H₂O₂). Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna-Perú. pág. 15-23
- López Luis, Braña Diego, Isabel Hernández (2013) Estimación de la Vida de Anaquel de la Carne. Libro Técnico No.11. Queretaro. México pag 10.
- Lund, M.N., Heinonen, M., Barón, C.P. y Estévez, M. (2011). Protein oxidation in muscle foods: A review. *Molecular Nutrition & Food Research*, 55 1: 83-95.

Marx, J.L. (1987). Oxygen free radicáis linked to many diseases.
Science, 235:529-31.

Monge José (2013) Determinación de la fórmula óptima y atributos sensoriales en la elaboración de salsa de palta (*Persea americana mill*) variedad fuerte con ajo común (*Anum sativum*). Tesis Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna-Perú

Montgomery C. Douglas (1991). "Diseño y Análisis de Experimentos"
Grupo Editorial Iberoamérica. México. pág. 112-119

Montgomery D. (2008) *Diseño y Análisis de Experimentos* 2da Ed Limusa
Wiley Universidad Estatal de Arizona. USA

Montoya Guillermo, Londoño Julián, Yassin Lina, Gloria Vásquez (2007).
Monoterpenos Aromáticos Timol y carvacrol. Scientia el Technica Año XIII, No 33, Mayo de 2007. Universidad de Antioquia-Colombia

Moody, W. G. (1983). Food Technol. 37. 227.

Müller Siegfried G. Ardoíno Mario A. (2002) Procesamiento De Carnes Y Embutidos Elaboración Estandarización Control De Calidad Un Manual Práctico De Experiencias. Organización de los Estados Americanos OEA, Agencia Alemana para el Desarrollo, GTZ.

- Muñoz A., J. Vega, J. Ortecho (2014). *Efecto de la temperatura, oxígeno y luz en la oxidación de las grasas*. Universidad Nacional del Salta. Chimbote, Perú. p 7.
- Namiki, M. (1990). *Antioxidant/antimutagens in food*. Food Science and Nutrition, 29:273-300.
- Ortiz Ortuño Yael (2014) Compuestos volátiles de la rancidez oxidativa.
En: http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Seminario-Compuestosvolatilesdelarancidezoxidativa_26743.pdf. Pag 1
- Pérez Jiménez Jara (2008) "Metodología para la Evaluación de Ingredientes Funcionales Antioxidantes. Efecto de Fibra Antioxidante de Uva en status antioxidante y parámetros de riesgo cardiovascular en humanos" Universidad Autónoma De Madrid. "España". pp. 24-30.
- Pérez Pérez José Manuel (2008) Sabor en los Alimentos Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 10-21.
- Pettersen, M. K., Mielnik, M. B., Eie, T., Skrede, G. y Nilsson, A. (2004). Lipid oxidation in frozen, mechanically deboned turkey meat as affected by packaging pa-rameters and storage conditions. Poultry Science 83: 1240-1248.

- Randazzo, Griselda; Rinaldoni, Ana y otros. (2013) Desarrollo de quesos untables enriquecidos con proteínas de soja. Universidad Nacional de San Luis. San Luis, Argentina. pp. 25-28.
- Sankalia MG, Mashru RC., Sankalia JM. y Sutariya VB (2004) Evaluación y Optimización Simultánea de Papaína Inmovilizada en Gránulos de Alginato Entrecruzado Mediante Un Diseño Factorial 3x3 y la Función De Deseabilidad. University of Baroda, Vadodara-INDIA pág. 43-50
- Sante-Lhoutellier, V., Aubry, L., y Gatellier, R (2007). EfFect of oxidation on in vitro digestibility of skeletal muscle myofibrillar proteins. Journal of Agricultura! and Food Chemistry, 55 13: 5343-5348.
- Schieberle P. y Crosch W. (1981). Model experimemts about the fomation of volatile carbonyl com-pounds. J Am OH Chem Soc. pp 59.
- Schiffner, E., Ooppel, K., y D. Lórtzing. (1996). Elaboración Casera de Carne y Embutidos. Ed. Acribia. S.A. Zaragoza, España. Pp. 84-102.
- Simic, M. G., Jovanovic, S. V. y Noki, E. (1992). «Mechanism of lipid oxidative processes and their inhi-bition». In Lipid Oxidation in Foods, edited by A. J. Si. Angelo. Washimong. DC: American Chemical Society, pp. 14-32.
- Singh, R. (1999). Scientific principlies of shelf líe evaluation. En: "Shelf life

- evaluation of foods". Man, C.M.D., Aspen Publishers, Inc. Gaithersburg, Maryland. 1-31 pp.
- Téllez, J. (1992). Tecnología e industrias cárnicas. Tomo I. p 162-167. Ed. Acribia. Zaragoza.
- Ureña, M., Arrigo, M., Giron, M. (1999). Evaluación sensorial de los alimentos – Primera edición – Universidad Nacional Agraria La Molina – Lima, Perú. Pág. 30 – 40.
- Verbeke, W., Van Oeckel, Warnants, N., Viaene, J. y Boucque, C.V. (1999). Consumer perception, facts and possibilities to improve acceptability of health and sensory characteristics of pork. *Meat Science*, 53: 77-99.
- Villa, Gabriel (2011) Estudio de la Vida de Anaquel del Chorizo Español Elaborado con tres Tipos de Formulas a Base de Ingredientes Naturales. Tesis-Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Riobamba - Ecuador
- Vipraja Vaidya, Keith U. Ingold, and Derek A. Pratt. (2009) Garlic: Source of the Ultimate Antioxidants Sulfenic Acids. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 48,157 -160
- Vitafor (2011) Antioxidantes. Linea LAOX. Santa Fe. Argentina. p 7.
- Wilson, Erica (2012) Compuesto antimicrobiano derivado del ajo elimina biofilms con alta eficiencia. PROFITOCOOP pp. 5-6.

ANEXOS

Anexo 1. Cartilla de análisis sensorial según escala no estructurada.

FICHA DE EVALUACION SENSORIAL

ATRIBUTO: _____, NOMBRE: _____

Fecha: _____

Frente a usted están muestras de chorizo que debe probar y evaluar. Marque con una X según su preferencia basada en la escala hedónica.

Descriptivo	Muestras										
	702	703	455	882	887	483	202	878	434	888	595
Me gusta muchísimo											
Me gusta mucho											
Me gusta											
Me gusta un poco											
Me es indiferente											
Me disgusta un poco											
Me disgusta											
Me disgusta mucho											
Me disgusta muchísimo											

Anexo 2. Operaciones realizadas en la elaboración de chorizo



Figura 32. Extracción de aceite esencial de orégano
Fuente: Archivo fotográfico personal, 2 015.



Figura 33. Ingredientes para la elaboración de chorizo.
Fuente: Archivo fotográfico personal, 2 015.



Figura 34. Fase de Mezclado
Fuente: Archivo fotográfico personal, 2 015.



Figura 35. Proceso de embutido.
Fuente: Archivo fotográfico personal, 2 015.



Figura 36. Oreado de chorizos.
Fuente: Archivo fotográfico personal, 2 015.



Figura 37. Preparación de la muestra en estudio.
Fuente: Archivo fotográfico personal, 2 015.



Figura 38. Chorizos en conservación
Fuente: Archivo fotográfico personal, 2 015.

Anexo 3. Análisis fisicoquímicos y sensoriales realizados



Figura 39. Análisis fisicoquímico.
Fuente: Archivo fotográfico personal, 2015.



Figura 40. Análisis sensorial.
Fuente: Archivo fotográfico personal, 2015.

Anexo 4. Norma técnica referida a la grasa animal

CODEX STAN 211

Página 1 de 6

NORMA DEL CODEX PARA GRASAS ANIMALES ESPECIFICADAS

CODEX STAN 211 (1999)

El Apéndice de esta Norma tiene por finalidad su aplicación voluntaria por los socios comerciales y no su aplicación por los gobiernos

1. ÁMBITO DE APLICACIÓN

La presente Norma se aplica a las grasas que se indican en la sección 2, presentadas en un estado apto para el consumo humano.

2. DESCRIPCIÓN

2.1 Manteca de cerdo

2.1.1 Se entiende por manteca de cerdo pura fundida la grasa fundida de los tejidos grasos, frescos, limpios y sanos de cerdo (*Sus scrofa*) en buenas condiciones de salud en el momento de su sacrificio y apta para el consumo humano. Los tejidos no comprenderán huesos, piel desprendida, piel de la cabeza, orejas, rabos, órganos, tráqueas, grandes vasos sanguíneos, restos de grasa, recortes, sedimentos, residuos de prensado y similares, y estarán razonablemente exentos de tejido muscular y sangre.

2.1.2 La manteca de cerdo sujeta a elaboración puede contener manteca de cerdo refinada, estearina de manteca y manteca de cerdo hidrogenada, o estar sujeta a procesos de modificación siempre que se indique claramente en la etiqueta.

2.2 Grasa de cerdo fundida

2.2.1 Se entiende por grasa de cerdo fundida la grasa fundida procedente de los tejidos y huesos de cerdo (*Sus scrofa*) en buenas condiciones de salud en el momento de su sacrificio y apto para el consumo humano. Podrá contener grasa de huesos (convenientemente limpiada), de piel desprendida, de piel de la cabeza, de orejas, de rabos y de otros tejidos aptos para el consumo humano.

2.2.2 La grasa de cerdo fundida sometida a elaboración podrá contener también manteca refinada, grasa de cerdo fundida refinada, manteca hidrogenada, grasa de cerdo fundida hidrogenada, estearina de manteca y estearina de grasa de cerdo fundida, siempre que se indique claramente en la etiqueta.

2.3 Se entiende por primeros jugos (Oleo Stock) el producto que se obtiene fundiendo a baja temperatura la grasa fresca del corazón, de membranas, riñones y mesenterio de animales bovinos en buenas condiciones de salud en el momento de su sacrificio y aptos para el consumo humano, así como grasa de recortes.

2.4 Sebo comestible

2.4.1 Se entiende por sebo comestible el producto que se obtiene fundiendo tejidos grasos, limpios y sanos (incluidas las grasas de recortes) y de músculos o huesos adherentes de animales bovinos (*Bos taurus*) y/o corderos (*Ovis aries*) en buenas condiciones de salud en el momento de su sacrificio y aptos para el consumo humano.

2.4.2 El sebo comestible sujeta a elaboración podrá contener sebo comestible refinado, siempre que se indique claramente en la etiqueta.

3. COMPOSICIÓN ESENCIAL Y FACTORES DE CALIDAD

Gamas de composición de ácidos grasos determinadas mediante cromatografía de gas-líquido (expresadas en porcentajes)

Las muestras que se ajustan a las gamas adecuadas que se indican a continuación cumplen con la Norma.

	MANTECA DE CERDO GRASA DE CERDO FUNDIDA	PRIMEROS JUGOS, SEBO
C 6:0))
C 8:0))
C 10:0) < 0,5 en total) < 0,5 en total
C 12:0))
C 14:0	1,0-2,5	2-6
C 14:ISO	no detectado < 0,1	< 0,3
C 14:1	< 0,2	0,5-1,5
C 15:0	< 0,2	0,2-1,0
C 15:ISO	< 0,1) < 1,5 en total
C 15:ANTI ISO	< 0,1)
C 16:0	20-30	20-30
C 16:1	2,0-4,0	1-5
C 16:ISO	< 0,1	< 0,5
C 16:2	< 0,1	< 1,0
C 17:0	< 1	0,5-2,0
C 17:1	< 1	< 1,0
C 17:ISO	< 0,1) < 1,5 en total
C 17:ANTI ISO	< 0,1)
C 18:0	8-22	15-30
C 18:1	35-55	30-45
C 18:2	4-12	1-6
C 18:3	< 1,5	< 1,5
C 20:0	< 1,0	< 0,5
C 20:1	< 1,5	< 0,5
C 20:2	< 1,0	< 0,1
C 20:4	< 1,0	< 0,5
C 22:0	< 0,1	< 0,1
C 22:1	< 0,5	no detectado

4. ADITIVOS ALIMENTARIOS

4.1 Colores

Se permiten los siguientes colores a efectos de restablecer el color natural perdido en el proceso o a efectos de normalizar el color, siempre que el color añadido no engañe ni induzca a error al consumidor ocultando un estado de deterioro o una calidad inferior o haciendo que el producto parezca tener un valor superior al valor real:

		Dosis máxima
100	Curcumina o cúrcuma	5 mg/kg (calculado como curcumina total)
160a	Beta-caroteno	25 mg/kg
160b	Extractos de bija	10 mg/kg (calculado como bixina o norbixina totales)

4.2	<u>Antioxidantes</u>	<u>Dosis máximas</u>
304	Palmitato de ascorbilo)	500 mg/kg,
305	Estearato de ascorbilo)	solos o mezclados
306	Concentrado de tocoferoles mezclados	BPF
307	Alfa-tocoferol	BPF
308	Gama-tocoferol sintético	BPF
309	Delta-tocoferol sintético	BPF
310	Galato de propilo	100 mg/kg
319	Butilhidroquinona terciaria (BHQT)	120 mg/kg
320	Butil-hidroxianisol (BHA)	175 mg/kg
321	Butil-hidroxitolueno (BHT)	75 mg/kg
	Cualquier combinación de galato de propilo, BHA, BHT y/o BHQT	200 mg/kg pero sin exceder de los límites antes indicados
4.3	<u>Sinérgicos de antioxidantes</u>	
330	Acido cítrico	BPF
331	Citratos de sodio	BPF
384	Isopropil-citratos)	100 mg/kg, solos o mezclados
	Citrato monoglicérido)	

5. CONTAMINANTES

5.1 Metales pesados

Los productos regulados por las disposiciones de esta Norma se ajustarán a las dosis máximas para metales pesados establecidos por la Comisión del Codex Alimentarius, pero entretanto se aplicarán las siguientes dosis:

	<u>Concentración máxima permitida</u>
Plomo (Pb)	0,1 mg/kg
Arsénico (As)	0,1 mg/kg

5.2 Residuos de plaguicidas

Los productos a los que se aplican las disposiciones de la presente norma se ajustarán a las dosis máximas para residuos establecidos por la Comisión del Codex Alimentarius para dichos productos.

6. HIGIENE

6.1 Se recomienda que los productos regulados por las disposiciones de la Norma se preparen y manipulen de conformidad con las secciones pertinentes del Código Internacional Recomendado de Prácticas de Higiene - Principios Generales de Higiene de los Alimentos (CAC/RCP 1-1969, Rev. 3-1997) - y otros textos pertinentes del Codex, tales como los Códigos de prácticas y Códigos de prácticas de higiene.

6.2 Los productos deberán ajustarse a los criterios microbiológicos establecidos de conformidad con los Principios para el establecimiento y aplicación de criterios microbiológicos para los alimentos (CAG/GL 21-1997).

7. ETIQUETADO

7.1 Nombre del alimento

El producto se etiquetará con arreglo a la Norma General del Codex para el Etiquetado de los Alimentos preenvasados (CODEX STAN 1-1985, Rev. 1-1991; Codex Alimentarius, Volumen 1A). El nombre de la grasa deberá ajustarse a las descripciones que figuran en la sección 2 de la presente Norma.

7.2 Etiquetado de envases no destinados a la venta al por menor

La información relativa a los citados requisitos de etiquetado figurará en el envase o en los documentos que lo acompañan, pero el nombre del alimento, la identificación del lote y el nombre y la dirección del fabricante o envasador deberán figurar en el envase.

No obstante, la identificación del lote y el nombre y la dirección del fabricante o envasador podrán sustituirse por una señal de identificación, siempre y cuando dicha señal sea claramente identificable en los documentos que acompañan al envase.

8. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y MUESTREO

8.1 Determinación de las gamas de composición de ácidos grasos mediante CGL

De conformidad con los métodos de la UIQPA: 2.301, 3.302 y 2.304 o ISO 5508: 1990/5509: 1999.

8.2 Determinación del contenido de arsénico

De conformidad con el método de la AOAC 952.13, UIQPA 3.136, AOAC 942.17, o AOAC 985.16.

8.3 Determinación del contenido de plomo

De conformidad con el método de la UIQPA 2.632, AOAC 994.02 o ISO 12193: 1994.

Anexo 5. Determinación de los puntos críticos

Localización del punto estacionario: Suponga que quieren encontrarse los niveles que optimizan la respuesta predicha. Este punto, en caso de existir, será el conjunto de las x_1, x_2, \dots, x_k para las que las derivadas parciales $\frac{\delta y}{\delta x_k} = 0$. A este punto, llama punto estacionario. El punto estacionario podría representar 1) un punto de respuesta máxima, 2) un punto de respuesta mínima, o 3) un punto silla.

$$\frac{\partial y}{\partial x_k} = 0$$

$X_1 = \text{Concentración de aceite esencial de oregano } \left(\frac{g}{kg}\right)$

$X_2 = \text{Concentración de pasta de ajo } \left(\frac{g}{kg}\right)$

a) Aceptabilidad del color:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = 8,48158 - 6,38421X_1 - 0,149123X_2 - 0,1X_1X_2 + 3,64211X_1^2 + 0,102632X_2^2$$

Determinación de la primera derivada con respecto a cada factor e igualando a cero:

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = -6,38421 - 0,1X_2 + 2 * 3,64211X_1 = 0$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_2} = -0,149123 - 0,1X_1 + 2 * 0,102632X_2 = 0$$

$$X_1 = 0,89 \left(\frac{g}{kg}\right)$$

$$X_2 = 1,161 \left(\frac{g}{kg}\right)$$

Determinación de la segunda derivada para determinar si el valor crítico determinado es un mínimo o máximo

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2} = 7,28421$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_2^2} = 0,20526$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_1 \partial x_2} = -0,1$$

$$\Delta = 7,28421 * 0,20526 - (-0,1)^2 = 1,48518$$

El valor crítico es un punto estacionario mínimo

b) Sabor

$$\frac{\partial y}{\partial x} = 8,83246 - 3,10877X_1 - 0,124561X_2 + 0,6X_1X_2 + 0,0210526X_1^2 - 0,0236842X_2^2$$

Determinación de la primera derivada con respecto a cada factor e igualando a cero:

$$\frac{\partial y}{\partial x_1} = -3,10877 + 0,6X_2 + 2 * 0,0210526X_1 = 0$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_2} = -0,124561 + 0,6X_1 - 2 * 0,0236842X_2 = 0$$

$$X_1 = 0,613 \left(\frac{g}{kg}\right)$$

$$X_2 = 5,138 \left(\frac{g}{kg}\right)$$

Determinación de la segunda derivada para determinar si el valor crítico determinado es un mínimo o máximo

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_1^2} = +0,04210526$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial x_2^2} = -0,047368$$

$$\frac{\partial y}{\partial x_1 \partial x_2} = + 0,6$$

$$\Delta = 0,04210526 * (-0,047368) - (0,6)^2 = -0,36199$$

El valor crítico es un punto fuera del rango de estudio.