

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



“UTILIZACIÓN DE CARNE DE LLAMA (*Lama glama*) Y HARINA DE KIWICHA (*Amaranthus caudatus*) EN BUTIFARRA DULCE”

Presentada por:

ALISON GERALDINE LAVY CHOCCE

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Lima – Perú

2016

DEDICATORIA

Con amor a mis padres, Carlos y Sony, por su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTOS

- **A mi asesora, Dra. Bettit Salvá por su apoyo, guía y motivación durante toda esta investigación y por todas sus valiosas enseñanzas.**
- **Al proyecto KEF-LLAMAS del Programa de Investigación y Proyección Social en Ovinos y Camélidos Americanos de la facultad de Zootecnia, en especial al Dr. Gustavo Gutierrez, por el apoyo con el financiamiento de la materia prima.**
- **A mis jurados, Mg. Sc. Carlos Elías, Dra. Ritva Repo-Carrasco, Mg. Sc. Mirtha Martínez por su guía y revisión.**
- **A los técnicos de laboratorio Yelena, Zaharita y Juan, que me ayudaron durante la parte experimental.**
- **A mis amigas María del Carmen, Rosmery y Carmen, con quienes compartí durante mi vida universitaria y la experiencia de hacer una tesis; y a María del Rosario, mi mejor amiga, que me ha apoyado siempre.**
 - **A mis primos y tíos por su motivación constante.**
- **Al equipo de Investigación y Desarrollo de la empresa Inka Crops, por motivarme y apoyarme durante esta etapa.**
- **A todos los que, de alguna manera, me han apoyado en la realización de este trabajo.**

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1.	LLAMA	3
2.1.1.	ASPECTOS GENERALES	3
2.1.2.	PRODUCCIÓN DE LLAMA EN EL PERÚ	3
2.1.3.	VARIEDAD K'ARA	4
2.1.4.	CARNE DE LLAMA	5
2.2.	KIWICHA	8
2.2.1.	ASPECTOS GENERALES	8
2.2.2.	COMPOSICIÓN QUÍMICA	8
2.3.	BUTIFARRA DULCE	9
2.4.	ACTIVIDAD DE AGUA	11
2.4.1.	ALIMENTOS DE HUMEDAD INTERMEDIA	16
2.5.	TEXTURA DE UN ALIMENTO	16
2.5.1.	ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA (TPA-<i>TEXTURE PROFILE ANALYSIS</i>)	17
2.6.	MÉTODO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA	21
2.6.1.	DISEÑO DE MEZCLAS	22
2.6.2.	FALTA DE AJUSTE DEL MODELO ESTIMADO	24
2.6.3.	RESTRICCIONES MÚLTIPLES EN COMPONENTES DE LA MEZCLA	25
2.6.4.	EXPERIMENTOS DE MEZCLA D-OPTIMAL	25
2.6.5.	MEDICIÓN DEL EFECTO DE LOS COMPONENTES EN DISEÑOS DE MEZCLA CON RESTRICCIONES	27
2.6.6.	OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DE VARIAS RESPUESTAS	29
2.6.7.	FUNCION DE DESEABILIDAD GLOBAL	29
2.7.	EVALUACIÓN SENSORIAL	31
2.7.1.	PRUEBAS ORIENTADAS AL CONSUMIDOR (PRUEBAS AFECTIVAS)	32
2.7.2.	PRUEBAS DE ACEPTACIÓN	33

2.7.3. ESCALAS SEMÁNTICAS	34
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN.....	36
3.2. MATERIA PRIMA E INSUMOS	36
3.3. MATERIALES Y EQUIPOS	36
3.3.1. MATERIALES	36
3.3.2. EQUIPOS	37
3.3.3. SOFTWARE	37
3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	37
3.4.1. DISEÑO EXPERIMENTAL	37
3.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN	40
3.5.1. ANÁLISIS PROXIMAL	40
3.5.2. DETERMINACIÓN INSTRUMENTAL DE COLOR.....	41
3.5.3. DETERMINACIÓN DEL PERFIL DE TEXTURA	41
3.5.4. ANÁLISIS DE ACTIVIDAD DE AGUA	41
3.5.5. EVALUACIÓN SENSORIAL.....	42
3.6. DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES DEL PROCESO	42
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1. ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS	45
4.1.1. CARNE DE LLAMA	45
4.1.2. HARINA DE KIWICHA	46
4.2. COLOR	46
4.2.1. ESTABLECIMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	46
4.2.2. EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE EL COLOR.....	49
4.3. ACTIVIDAD DE AGUA.....	52
4.3.1. ESTABLECIMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	52
4.3.2. EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE LA ACTIVIDAD DE AGUA	54
4.4. TEXTURA.....	57
4.4.1. ESTABLECIMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	57
4.4.2. EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE LA ADHESIVIDAD.....	60

4.5. OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DE VARIABLES RESPUESTA	63
4.6. VALIDACIÓN DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA	67
4.7. ANÁLISIS PROXIMAL DE LA FORMULA ÓPTIMA	68
4.8. ANÁLISIS SENSORIAL	69
V. CONCLUSIONES.....	73
VI. RECOMENDACIONES.....	74
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	75
VIII. ANEXOS	82

ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1: Producción de carne de llama en unidades y toneladas durante el año 2010 según regiones	4
Cuadro 2: Contenido de aminoácidos en el músculo <i>Longissimus lumborum</i> de la llama genotipo <i>K'ara</i>	6
Cuadro 3: Ácidos grasos (g/100g) expresados como porcentaje en peso del total de ácidos grasos en la grasa intramuscular de la llama genotipo <i>K'ara</i>	7
Cuadro 4: Composición química de la kiwicha	9
Cuadro 5: Contenido de aminoácidos lisina, treonina y triptófano en los granos andinos y trigo (g de aminoácidos/100 g de proteínas).....	9
Cuadro 6: Presión de vapor relativa y crecimiento microbiano en los alimentos ..	14
Cuadro 7: Parámetros medidos por un Análisis de Perfil de Textura (TPA).....	20
Cuadro 8: Restricciones de los componentes de la masa principal.....	38
Cuadro 9: Formulaciones obtenidas al aplicar el programa <i>Design-Expert</i> ® 7.....	39
Cuadro 10: Formulación de la muestra patrón	40
Cuadro 11: Resultados del análisis proximal de la carne de llama (<i>Lama glama</i>) .	45
Cuadro 12: Resultados del análisis proximal de la harina de kiwicha.....	46
Cuadro 13: Resultados del croma (C*) de la mezcla de componentes de la butifarra dulce en las formulaciones experimentales.	47
Cuadro 14: Resultados de la actividad de agua de la mezcla de componentes de la butifarra dulce en las formulaciones experimentales.....	53
Cuadro 15: Resultados del análisis de perfil de textura (TPA) de la mezcla de componentes de la butifarra dulce en las formulaciones experimentales.	58
Cuadro 16: Resultados de los análisis de la butifarra dulce patrón.	63
Cuadro 17: Restricciones para la optimización de la fórmula.	64
Cuadro 18: Formulación óptima de la butifarra dulce de carne de llama.....	64
Cuadro 19: Comparación de los resultados teóricos obtenidos con el programa <i>Design-Expert</i> y los resultados experimentales.	67
Cuadro 20: Rangos de validación de las variables respuesta en el punto óptimo. .	67
Cuadro 21: Resultados del análisis proximal de la butifarra dulce de carne de llama y harina de kiwicha.....	68

Cuadro 22: Puntuación general de la prueba de aceptabilidad.....	69
Cuadro 23: Cantidad de personas que eligieron uno de los niveles de agrado en la escala hedónica de acuerdo a la característica sensorial evaluada.	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Llamas <i>k'ara</i>.....	5
Figura 2: Cambios que ocurren en los alimentos en función de la actividad de agua.....	13
Figura 3: Ciclos de mordida de un análisis de TPA	18
Figura 4: Curva típica de un análisis de perfil de textura	19
Figura 5: Espacio factorial restringido para mezclas de tres componentes.....	27
Figura 6: Ejemplo de gráfico de trazas	28
Figura 7: Diseño experimental de la investigación	37
Figura 8: Diagrama de flujo para la elaboración de butifarra dulce con carne de llama y harina de kiwicha	44
Figura 9: Ploteo de contornos del color expresado en croma de los componentes. 50	50
Figura 10: Superficie de respuesta tridimensional del color expresado en croma. 50	50
Figura 11: Trazos de Cox del color expresado en croma.....	51
Figura 12: Ploteo de contornos de la actividad de agua de los componentes.....	55
Figura 13: Superficie de respuesta tridimensional de la actividad de agua.....	55
Figura 14: Trazos de Cox de la actividad de agua	56
Figura 15: Ploteo de contornos de la adhesividad de los componentes	61
Figura 16: Superficie de respuesta tridimensional de la adhesividad	61
Figura 17: Trazos de Cox de la adhesividad	62
Figura 18: Deseabilidad y punto óptimo de los componentes carne de llama, azúcar y harina de kiwicha	65
Figura 19: Actividad de agua y punto óptimo de los componentes carne de llama, azúcar y harina de kiwicha	65
Figura 20: Croma y punto óptimo de los componentes carne de llama, azúcar y harina de kiwicha	66
Figura 21: Adhesividad y punto óptimo de los componentes carne de llama, azúcar y harina de kiwicha	66
Figura 22: Trazos de Cox de la deseabilidad de la mezcla óptima elegida	67
Figura 23: Porcentaje de cada nivel de agrado del color de la butifarra dulce.....	71
Figura 24: Porcentaje de cada nivel de agrado del sabor de la butifarra dulce.....	71
Figura 25: Porcentaje de cada nivel de agrado del olor de la butifarra dulce.....	72
Figura 26: Porcentaje de cada nivel de agrado de la textura de la butifarra dulce	72

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Cartilla de selección de panelistas	82
ANEXO 2: Cartilla de evaluación sensorial.....	83
ANEXO 3: Proceso de elaboración de butifarra dulce con carne de llama	84
ANEXO 4: Análisis instrumentales	85
ANEXO 5: Resultados del análisis de varianza y de la suma de errores cuadrados del color.	86
ANEXO 6: Resultados del análisis de varianza y de la suma de errores cuadrados de la actividad de agua.....	87
ANEXO 7: Resultados del análisis de varianza y de la suma de errores cuadrados de la adhesividad.....	88

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo determinar la formulación óptima para la elaboración de butifarra dulce con carne de llama y harina de kiwicha, aplicando el diseño de mezclas y la influencia de las proporciones de estos componentes sobre la actividad de agua, perfil de textura y color del producto. En la primera etapa se aplicó el diseño de mezclas de tipo *Optimal-D* con los tres componentes (carne de llama, azúcar y harina de kiwicha) obteniendo dieciséis formulaciones. Para cada formulación se evaluaron las variables respuesta mencionadas y con estos resultados se determinaron los modelos matemáticos a los que se ajustaba cada una, además de analizar la influencia de los componentes de la mezcla. En esta etapa también se obtuvo que, para el perfil de textura, solo la adhesividad se pudo ajustar a un modelo matemático. También se observó que la proporción de carne y la harina de kiwicha influyen en el color del producto, además que la actividad de agua disminuye cuando se incrementa la proporción de azúcar en la mezcla y esta, junto con la carne, incrementan la propiedad de adhesividad del producto. En la siguiente etapa se realizó la optimización de las variables respuesta tomando de referencia los resultados obtenidos de una muestra patrón; con el objetivo de minimizar la actividad de agua, mantener el color en un rango similar al patrón y buscar que la adhesividad tienda a un valor objetivo establecido, al finalizar el análisis se eligió la mezcla óptima con mayor deseabilidad que se componía de 60 por ciento de carne de llama, 38,86 por ciento de azúcar y 1,14 por ciento de harina de kiwicha. Finalmente se validó la formulación óptima y se evaluó sensorialmente para determinar el nivel de aceptabilidad del producto en consumidores, donde se obtuvo que el producto es aceptable sensorialmente.

Palabras clave: Diseño de mezclas, carne de llama, kiwicha, perfil de textura, actividad de agua, color.

SUMMARY

This research had as objective to determine the optimal formulation for the production of sweet sausage with llama meat and amaranth flour, applying the mixture design and the influence of the proportions of these components on water activity, texture profile and color. In the first stage a mixture design called Optimal-D type was applied to the three components (llama meat, sugar and amaranth flour) obtaining sixteen formulations. For each formulation the response variables mentioned were evaluated and with the results, the mathematical models that each one fit were determined, in addition to analyzing the influence of the components of the mixture. In this stage it was also obtained that for the texture profile, only the adhesiveness could be adjusted to a mathematical model. It was also noted that the proportion of meat and amaranth flour influence the color of the product and the water activity decreases when the proportion of sugar in the mixture is increased and this, along with the meat, increase the property of adhesiveness of the product. In the next stage the response variable optimization was performed taking as reference the results from a standard sample; the aim was to minimize water activity, maintain the color in a range similar to the reference and search for the adhesiveness to tend to a target value, at the end of the analysis the optimum mix with greater desirability was chosen and was composed of 60 percent of llama meat, 38,86 percent of sugar and 1,14 percent of amaranth flour. Finally, the optimal formulation was validated and sensorially evaluated to determine the product's level of acceptability in consumers, this evaluation obtained that the product is sensorially acceptable.

Keywords: Mixture design, llama meat, amaranth, texture profile, water activity, color.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú tiene el privilegio de ocupar el primer lugar en el mundo en la tenencia de alpacas y vicuñas y el segundo lugar en llamas, después de Bolivia. El aprovechamiento racional de esta ventaja comparativa es el reto que el país encara como el medio más efectivo de lucha contra la pobreza y la inseguridad alimentaria que afecta a las comunidades campesinas que viven de la crianza de estas especies (CONCYTEC, 2011).

La mayor parte del consumo de carne de camélidos se realiza en las zonas de mayor producción (Puno y Cusco), además de algunos segmentos de turistas nacionales y extranjeros que visitan esta zona muestran su preferencia por carne de animales jóvenes, principalmente de alpaca (CONCYTEC, 2011).

La dieta de la población altoandina se caracteriza por el consumo de tubérculos (papa, oca, mashua, olluco), raíces (arracacha, yacón, achira y maca) y granos (maíz, quinua, cañihua, kiwicha). En relación a la carne, las carnes de los camélidos sudamericanos, el cuy y el ovino, tienen especial importancia en la dieta de la población pues representan una fuente de proteínas de alto valor biológico. El consumo de carne es normalmente esporádico (Mateo *et al.*, 2011).

En la actualidad los niveles de consumo de carne de camélido se van incrementando como resultado de la migración de la población andina hacia la ciudad y por divulgación y promoción de los beneficios tanto nutricionales como digestivos por parte de organizaciones públicas y privadas. Además, hay un creciente interés en promover el consumo de carne de alpaca a través de la oferta de recetas y platos especiales menú de restaurantes tanto de Lima como de provincias (CONCYTEC, 2011). Más no existe el mismo interés en cuanto a la carne de llama.

La elaboración de embutidos a base de carne de camélidos aún no ha alcanzado gran magnitud pese el potencial que tiene esta forma de uso para abrir un mayor mercado a este tipo de carne y promover sistemas de crianza orientados al suministro de animales más

tiernos y de mayor calidad al mercado. Actualmente la utilización de la carne de camélidos en la producción comercial de embutidos es todavía limitada (FAO, 2005).

El cambio en los hábitos de los consumidores también ha generado nuevas tendencias en el consumo de alimentos. El bienestar, el impacto medioambiental, la calidad y la conveniencia, son elementos claves que afectan las decisiones de compra de los consumidores en América Latina (Tetra Pak, 2014). Debido a esto existe una mayor tendencia a preferir alimentos que necesiten poca elaboración o ready-to-eat, naturales, portátiles, saludables, etc.

La creciente demanda por productos bajos y/o reducidos en grasa proviene de la necesidad de tener dietas más saludables y ha llevado al desarrollo de nuevos productos que reemplazan la grasa en las formulaciones tradicionales. Una de las técnicas aplicadas en productos cárnicos para reducir la cantidad de grasa es elaborar los productos utilizando sustitutos de la grasa, mediante la adición de agua e ingredientes funcionales. Esto representa una gran oportunidad de agregar valor a los productos cárnicos mediante la adición de nuevos ingredientes, aditivos e investigación en procesos tecnológicos con el objetivo de elaborar productos más saludables (Schmiele *et al.* 2015).

Ante esta situación existe la necesidad de incentivar el consumo de la carne de llama y proponer alternativas para hacerla más atractiva para los consumidores, quienes actualmente buscan alimentos nutritivos, estables a temperatura ambiente y de consumo y preparación rápida. Una de estas alternativas es aplicar la tecnología para elaborar productos cárnicos a base de esta y también incluir en la formulación alimentos de origen andino, como la kiwicha.

El presente trabajo tiene como objetivo determinar la formulación óptima para la elaboración de butifarra dulce con carne de llama y harina de kiwicha, aplicando el diseño de mezclas. Además, tiene como objetivos específicos evaluar el color, perfil de textura y actividad de agua de la butifarra dulce con carne de llama y harina de kiwicha, así como la influencia de los componentes de la mezcla en las variables respuesta; y evaluar sensorialmente y determinar la composición proximal de la formulación óptima.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. LLAMA

2.1.1. ASPECTOS GENERALES

Es el más grande de los camélidos domésticos y se asemeja en muchos aspectos morfológicos y comportamentales a su progenitor silvestre, el guanaco. Del mismo modo que la especie silvestre, tiene un muy amplio rango de distribución geográfica; aunque en la actualidad es menor que el que se considera había antes de la llegada de la colonización europea. En la actualidad se distribuye desde Colombia, pasando por Ecuador, Perú, Bolivia, Argentina, hasta el centro de Chile, pero dado su característica de animal doméstico se encuentran hatos en Tierra del Fuego y Santa Cruz (Argentina), además de países como Estados Unidos de Norteamérica, Australia, Nueva Zelanda y varios europeos. Se pueden reconocer dos variedades fenotípicas, la mayoría son del tipo Q'ara o pelada, con poco desarrollo de fibra en el cuerpo y ausencia de fibras en la cara y piernas. El otro tipo, "Chaku" o lanuda, tiene mayor cantidad de fibras en el cuerpo, que se extienden al frente de la cabeza y sale de las orejas, pero no cubre las piernas (Wheeler, 1991 citado por De Lamo, 2011).

2.1.2. PRODUCCIÓN DE LLAMA EN EL PERÚ

La mayor concentración de llamas se encuentra en el departamento de Puno, seguido por Cusco y Huancavelica. La región Junín ocupa el cuarto lugar a diferencia de lo que ocurre en el caso de las alpacas en que esta región ocupa uno de los últimos lugares. La mayor concentración de llamas en un determinado departamento tiene que ver con las necesidades de uso de estos animales para el transporte de insumos agrícolas y de las cosechas, pero al mismo tiempo constituyen una importante fuente de proteínas para consumo humano (FAO, 2005).

En lo que respecta a razas, según la información disponible hay cierto grado de equilibrio entre las dos con un ligero predominio de K'ara que representa el 58 por ciento de la

población de llamas a nivel nacional. A diferencia de la alpaca cuyo número aumentó de 2,7 millones de cabezas en 1990 a poco más de 3 millones en el 2001, la población de llamas se ha mantenido más o menos constante durante ese tiempo, según datos de CONACS (FAO, 2005).

En Cuadro 1 se muestra la producción de carne de llama (en unidades y toneladas) en el Perú por región en el año 2010. En estos se muestra que la mayor producción se encuentra en la región Puno, seguida de Cusco y Ayacucho.

Cuadro 1: Producción de carne de llama en unidades y toneladas durante el año 2010 según regiones

Región	Unidades	Toneladas
Nacional	123 384	4 075
Lima	2 398	88
Pasco	3 189	89
Junín	3 896	109
Huancavelica	10 706	343
Arequipa	10 056	334
Moquegua	2 781	112
Tacna	3 491	106
Ayacucho	14 367	421
Apurímac	9 012	275
Cusco	21 448	628
Puno	42 040	1 569

FUENTE: Ministerio de Agricultura (2011)

2.1.3. VARIEDAD K'ARA

También llamada "Ccara", "Q'ara" o "Pelada". Es un animal cuyo cuerpo está cubierto de fibra corta, lo que le da el aspecto de encontrarse pelado; con una capa interna muy corta pero fina y una capa externa formada por pelos fuertes como los del guanaco (CONACS, 2005).

Es de variada pigmentación en el pelaje, el cual muda al concluir el año de edad. Posee un cuello largo y fuerte, con presencia de pelos ordenados en la región posterior del cuello, lo

que da la apariencia de "crin de caballo" y una característica distintiva a esta variedad. La cabeza y cara son limpias, de perfil acarnerado, con ojos grandes y mirada firme, extremidades bien aplomadas y de cañas fuertes (CONACS, 2005).

La coloración de pelaje varía desde el blanco hasta el negro, de diferentes tonalidades y a veces de color idéntico al del guanaco. Posee una formación armoniosa y balanceada de sus partes (cabeza y orejas proporcionadas al cuerpo del animal). Son animales de tamaño grande, robustos, con una alzada a la cruz que varía de 109 a 119 centímetros, con un peso vivo de 108,5 a 120 kilogramos y 130 a 155 kilogramos. Estas características indican que, a lo largo de la historia, la selección de esta especie ha estado dirigida a ser un animal de carga (CONACS, 2005).

En el país existen zonas importantes en la crianza y el manejo de esta especie, como lo es en los departamentos de Pasco y Junín (CONACS, 2005).

En la Figura 1 se muestra la apariencia de las llamas *k'ara*.



Figura 1: Llamas *k'ara*

FUENTE: Cano *et al.* (2012)

2.1.4. CARNE DE LLAMA

La carne de llamas posee características que le son propias y que la diferencian de otras. El sistema de pastoreo marginal genera una carne magra; característica que puede facilitar su difusión como un producto saludable (Bravo, 2008).

Polidori *et al.* (2007), estudiaron la composición química del músculo *Longissimus thoracis* de llamas provenientes de Arequipa. Los resultados más relevantes que obtuvieron

en cuanto a las características nutricionales de la carne fueron los bajos valores de grasa (3,51%), mientras que el contenido de proteína (22,42 por ciento) era cercano al de otras carnes rojas y el contenido de colesterol (58,16mg/100g) es muy similar al obtenido en ciervos rojos (Cristofanelli *et al.*, 2004 citado por Polidori *et al.*, 2007).

Según Mamani-Linares y Gallo (2013) los aminoácidos esenciales presentes en el músculo *Longissimus lumborum* de la llama variedad k'ara son lisina y leucina, además de ácido glutámico, ácido aspártico y prolina entre los no esenciales, como se muestra en el Cuadro 2.

Cuadro 2: Contenido de aminoácidos en el músculo *Longissimus lumborum* de la llama genotipo K'ara

Aminoácidos (% del total de aminoácidos)	Aminoácidos hidrolizados	Fracción de aminoácidos libres
Histidina	3,52±0,13	4,50±0,83
Isoleucina	3,26±0,21	3,20±0,46
Leucina	7,61±0,11	4,13±1,91
Lisina	11,65±0,66	11,38±0,82
Metionina	2,59±0,43	7,58±0,97
Fenilalanina	3,33±0,14	3,15±0,49
Treonina	4,49±0,38	8,43±0,93
Valina	4,93±0,26	6,55±0,40
Arginina	6,94±0,24	4,44±0,50
Alanina	3,41±0,13	9,99±0,77
Ácido Apartico	9,79±0,39	3,37±0,71
Cisteina	0,97±0,38	5,43±0,46
Ácido Glutámico	14,93±0,62	2,97±0,41
Glicina	4,54±0,32	9,28±0,98
Prolina	9,11±0,17	7,95±0,77
Serina	4,16±0,29	3,83±0,51
Tirosina	4,36±0,36	3,72±0,40

FUENTE: Mamani-Linares y Gallo (2013)

En cuanto a ácidos grasos, los ácidos grasos saturados representan el 43,72 por ciento, los monoinsaturados el 46,29 por ciento y los poliinsaturados, 7,75 por ciento (Mamani-Linares y Gallo, 2013). En el Cuadro 3 se muestra el contenido de ácidos grasos de la carne de llama.

Cuadro 3: Ácidos grasos (g/100g) expresados como porcentaje en peso del total de ácidos grasos en la grasa intramuscular de la llama genotipo *K'ara*

Ácidos grasos		Promedio	Desviación Estándar
Butírico	C 4:0	0,12	0,08
Caproico	C 6:0	0,14	0,07
Caprilico	C 8:0	0,13	0,05
Laurico	C 12:0	0,34	0,11
Tridecanoico	C 13:0	0,15	0,05
Mirístico	C 14:0	3,38	0,75
Pentadecanoico	C 15:0	0,66	0,29
Palmítico	C 16:0	25,09	2,48
Margárico	C 17:0	1,12	0,19
Estearico	C 18:0	11,73	4,21
Araquidico	C 20:0	0,12	0,02
Miristoleico	C 14:1n-5	1,01	0,18
Pentadecenoico	C 15:1n-5	0,26	0,03
Palmitoleico	C 16:1n-7	5,55	1,06
Palmitoleico	C 16:1	1,81	0,93
Heptadecenoico	C 17:1	0,34	0,04
Oleico (c9)	C 18:1n-9	33,71	5,50
Vaccenico	C 18:1n-7	3,39	0,91
Eicosenoico	C 20:1n-9	0,51	0,49
Linoleico (c9 c12)	C 18:2n-6	5,72	1,02
Linoleico (c9 t11)	C 18:2n-3	0,29	0,08
α -Linolenico (c9 c12 c15)	C 18:3n-3	0,64	0,44
Eicosadienoico	C 20:2n-6	0,11	0,05
Eicosatrienoico	C 20:3n-3	0,40	0,28
Eicosapentanoico (EPA)	C 20:5n-3	0,65	0,14
Docosapentanoico (DHA)	C 22:5n-3	0,48	0,06

FUENTE: Mamani-Linares y Gallo (2013)

2.2. KIWICHA

2.2.1. ASPECTOS GENERALES

La kiwicha (*Amaranthus caudatus*) es una planta comúnmente cultivada durante el tiempo de los incas y otras culturas anteriores en el Perú. En México los aztecas cultivaron otro amaranto, el *Amaranthus cruentus*. El color de las semillas varía de negro hasta rojo, siendo más común el blanco o marfil. El valor nutricional tanto de la kiwicha como de la quinua, es excepcional. Especialmente destacan sus proteínas de alto valor biológico, pero también poseen un contenido relativamente alto de aceite de buenas características nutricionales. Son también importantes fuentes de micronutrientes como calcio y hierro (Repo de Carrasco y Encina, 2008).

2.2.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA

El amaranto (kiwicha) es un pseudocereal que ha sido identificado como un cultivo alimentario muy prometedor, debido a su excepcional valor nutritivo por su contenido de proteínas, lípidos y minerales. Una de las características más importantes del grano es que su contenido de proteínas de almacenamiento es más alto y mejor balanceado en aminoácidos esenciales que el de los cereales (Ayala, 2004).

Su contenido de proteína cruda oscila entre 13 y 17 por ciento, es relativamente rica en lisina, triptófano y metionina y pobre en leucina e isoleucina (Ayala, 2004).

Los granos andinos se caracterizan por contener proteínas de alto valor biológico (aminoácidos esenciales disponibles al organismo animal para satisfacer su requerimiento durante una situación biológica) y valor nutricional (aminoácidos para síntesis de proteínas totales juntamente con otros nutrientes (Ayala, 2004).

En el Cuadro 4 se muestra el contenido de macronutrientes de la kiwicha y en el Cuadro 5, la comparación del contenido de aminoácidos de la kiwicha frente a otros granos andinos y el trigo.

Cuadro 4: Composición química de la kiwicha

	En 100g de alimento
Energía (kcal)	343
Agua (g)	9,2
Proteína (g)	12,8
Grasa (g)	6,6
Carbohidratos totales (g)	69,1
Carbohidratos disponibles (g)	59,8
Fibra cruda (g)	2,5
Fibra dietaria (g)	9,3
Cenizas (g)	2,3

FUENTE: Reyes *et al.* (2009)

Cuadro 5: Contenido de aminoácidos lisina, treonina y triptófano en los granos andinos y trigo (g de aminoácidos/100 g de proteínas)

Aminoácidos	Quinua	Cañihua	Kiwicha	Trigo
Lisina	6,8	5,9	6,7	2,9
Metionina	2,1	1,6	2,3	1,5
Treonina	4,5	4,7	5,1	2,9
Triptófano	1,3	0,9	1,1	1,1

FUENTE: FAO (1972), citado por Ayala (2014)

2.3. BUTIFARRA DULCE

Las butifarras son productos típicos de Cataluña, Baleares, País Valenciano y parte de la provincia de Murcia, todas estas localidades ubicadas en España; la butifarra más famosa es la de Cataluña (Bejarano, 2001).

Las butifarras más comunes son las cocidas o escaldadas y las butifarras frescas. El picado de la carne y grasa se realiza con placa de 6 – 8 mm, se embute en tripa natural de 28 a 32 mm (preferible de cerdo) y se ata haciendo piezas de 20 – 25 cm. Generalmente con un peso de 100 g (Bejarano, 2001).

La butifarra dulce o *botifarra dolça* es un producto cárnico tradicional de origen renacentista, de producción actual muy reducida en volumen y en distribución geográfica

como comarcas de la provincia de Girona (España): Empordà, La Selva y El Gironès. Tiene un sabor agridulce, con alto contenido en azúcar, se consume como plato principal cocido en su propio jarabe de cocción caramelizado, como postre o en su versión secada curada: *fuet dolç*, como producto listo para el consumo o *ready-to-eat* (Grèbol, 2008). Se diferencian de los otros embutidos por combinar la carne de cerdo con el azúcar, y constituye junto con la morcilla dulce de Canarias, Soria y la Rioja, el *Lup Cheong* de China, etc, un elemento de lo que podríamos denominar charcutería dulce (Arnau y Matas, 2004).

El *fuet dolç*, similar a la butifarra dulce, es otro producto no fermentado que es rápidamente estabilizado debido a que en su producción se añade 10-20 g de sal, ralladura de limón y 800-100 g de sacarosa por kilo de carne y llega a un valor de actividad de agua entre 0,83 y 0,85 luego del embutido. Esto permite un proceso de secado a altas temperaturas sin preocupaciones de seguridad. (Arnau y Matas, 2004 citado por Arnau *et al.*, 2007).

La butifarra dulce y el *fuet dolç* son embutidos elaborados sin necesidad de aditivos, en los que por cada kg de carne de cerdo se adicionan entre 0,6 y 1 kg de azúcar común (sacarosa), de 0 a 20 g de sal, la parte amarilla finamente picada de una piel de limón y en algunos casos una pequeña dosis de canela en polvo. El azúcar ralentiza el secado del embutido y le confiere el sabor dulce típico. Además de rebajar la actividad agua del nuevo producto a valores que permiten su conservación a temperatura ambiente, estabilizar el pigmento de la carne y disminuir la solubilidad del oxígeno en el producto (Grèbol, 2008). La sal da consistencia al embutido, y la piel de limón le da el aroma característico y enmascara las notas de carne cruda cuando se consume el producto curado. La butifarra dulce, por el contenido de azúcar y sal, tiene una actividad de agua que suele situarse entre 0,83 y 0,85, la cual es suficiente para frenar el crecimiento de los microorganismos patógenos y evitar la acidificación por las bacterias lácticas (Leistner y Gould, 2002 citados por Arnau y Matas, 2004). Se trata pues de uno de los pocos productos cárnicos de humedad intermedia en la gama de frescos y crudos adobados. Puede almacenarse a temperatura ambiente, pero debe mantenerse a una humedad baja para evitar el crecimiento de hongos en superficie. En los últimos años se han incluido otros ingredientes como las uvas pasas, piñones, ciruelas pasas, confitura de cabello de ángel, etc (Arnau, 1993 citado por Arnau y Matas, 2004), que combinan muy bien con este producto y permiten obtener una amplia gama de texturas y aromas (Arnau y Matas, 2004).

2.4. ACTIVIDAD DE AGUA

Los procesos de concentración y deshidratación se aplican para reducir el contenido de agua de un alimento, aumentando simultáneamente la concentración de solutos y reduciendo su alterabilidad o perecibilidad (Fennema, 2000).

No obstante, también se ha observado que diferentes tipos de alimentos con el mismo contenido de agua difieren significativamente en su estabilidad o vida útil. En consecuencia, el contenido de agua por sí solo no es un indicador real de la estabilidad. Esta situación se atribuye, en parte, a diferencias en la intensidad con que el agua se asocia con los constituyentes no acuosos, el agua implicada en asociaciones fuertes es menos susceptible o propensa para las actividades degradativas, tales como el crecimiento de microorganismos y las reacciones químicas de hidrólisis, que el agua débilmente asociada. El término “actividad del agua” (a_w) se implantó para tener en cuenta la intensidad con que el agua se asocia a los diferentes componentes no acuosos (Fennema, 2000).

Las propiedades coligativas, reológicas y de textura de un alimento dependen de su contenido de agua, aun cuando éste influye definitivamente en las relaciones físicas, químicas, enzimáticas y microbiológicas. Solo para efectos de simplificación, el agua se dividió en “libre” y en “ligada”; la primera sería la única disponible para el crecimiento de los microorganismos y para intervenir en las otras transformaciones, ya que la segunda está unida a la superficie sólida y no actúa por estar “no disponible o inmóvil” (Badui, 2006).

Es decir, solo una fracción del agua, llamada actividad del agua es capaz de propiciar estos cambios y es aquella que tiene movilidad o disponibilidad. Es con base en este valor empírico que se puede predecir la estabilidad y la vida útil de un producto, y no con su contenido de agua; refleja el grado de interacción con los demás constituyentes, además de que se relaciona con la formulación, el control de los procesos de deshidratación y de rehidratación, la migración de la humedad en el almacenamiento y muchos otros factores (Badui, 2006).

La estabilidad, sanidad y otras propiedades de los alimentos pueden predecirse de forma más realista a partir de la actividad de agua que en función del contenido de agua. Aun así, la actividad de agua no es un índice predictivo totalmente exacto. A pesar de eso, la actividad de agua se correlaciona suficientemente bien con las velocidades de crecimiento microbiano y muchas reacciones degradativas, por lo que es un indicador útil y práctico de la estabilidad del producto y de la seguridad microbiana (Fennema, 2000).

Fennema (2000) menciona que la noción de “actividad” procede rigurosamente de las leyes de equilibrio termodinámico de G.N. Lewis y en su aplicación a los alimentos. Se afirma que:

$$a_w = f/f_0$$

Donde f es la fugacidad del solvente de la solución (la fugacidad es la tendencia molecular de un solvente a escapar de una solución) y f_0 es la fugacidad del solvente puro. A bajas presiones (por ejemplo, ambiente), la diferencia entre f/f_0 y p/p_0 es menor del 1 por ciento, por lo que la definición de la actividad de agua en términos de p/p_0 es claramente justificable (p es la presión parcial del agua del alimento y p_0 es la presión parcial del agua pura a la misma temperatura). Por tanto:

$$a_w = p/p_0$$

Esta igualdad se basa en condiciones ideales (soluto ideal en solución diluida) y de equilibrio termodinámico. Los alimentos suelen violar ambas condiciones. Consecuentemente la ecuación anterior debe tomarse como una aproximación, siendo más apropiada la expresión

$$a_w \approx p/p_0$$

Por esta razón, se ha sugerido usar la presión de vapor relativa (p/p_0) como medida más exacta, en lugar de la actividad de agua. A pesar de esto, la actividad de agua se sigue empleando por sus beneficios prácticos, por la facilidad de su medición y por el bajo costo de los equipos requeridos (Badui, 2006).

La actividad de agua es la presión de vapor de las moléculas de agua en el espacio de cabeza en un recipiente cerrado, comparada con la presión de vapor de agua pura a la misma temperatura, después de alcanzar el equilibrio. Sus valores varían desde 1,0 para el agua pura, hasta cero para un producto totalmente seco (Badui, 2006).

Los diversos métodos de conservación se basan en el control de una o más variables que influyen en la estabilidad. En este sentido, la actividad de agua es de fundamental importancia, y con base en ella se puede conocer el comportamiento de un producto (Badui, 2006). En la Figura 2 se muestran los cambios en el alimento en función a la actividad de agua que presente.

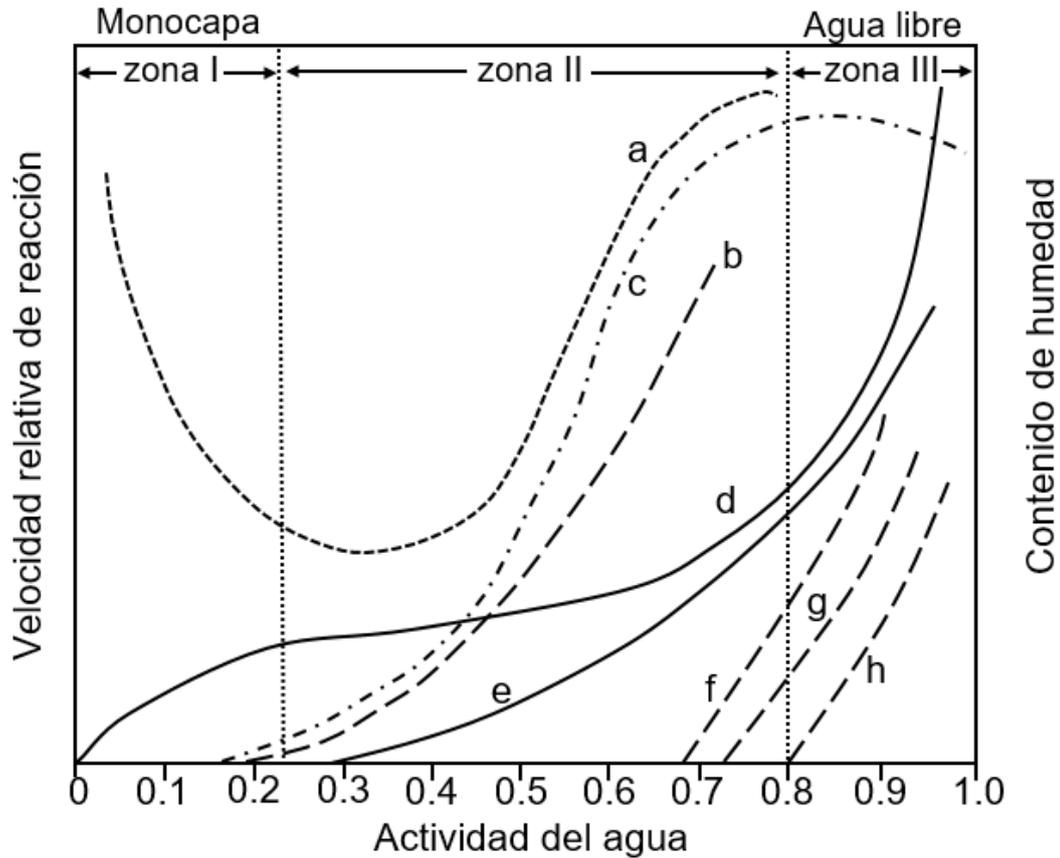


Figura 2: Cambios que ocurren en los alimentos en función de la actividad de agua (a) Oxidación de lípidos; (b) reacciones hidrolíticas; (c) oscurecimiento no enzimático; (d) isoterma de adsorción; (e) actividad enzimática; (f) crecimiento de hongos; (g) crecimiento de levaduras; (h) crecimiento de bacterias.

FUENTE: Badui (2006)

La estabilidad de los alimentos y el cociente p/p_0 están estrechamente relacionados en muchos casos. En el Cuadro 6, se indican diversos microorganismos comunes y el intervalo de presión de vapor relativa que permite su crecimiento. En el mismo cuadro se indica también la clasificación de alimentos comunes de acuerdo con su presión de vapor relativa (Fennema, 2000).

Cuadro 6: Presión de vapor relativa y crecimiento microbiano en los alimentos

Intervalo de p/p_0	Microorganismos generalmente inhibidos en el mínimo p/p_0 del intervalo	Alimentos comprendidos en el intervalo
1,00-0,95	<i>Pseudomonas</i> , <i>Escherichia</i> , <i>Proteus</i> , <i>Shigella</i> , <i>Klebsiella</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Clostridium perfringes</i> , algunas levaduras.	Alimentos altamente perecederos (frescos) y frutas, hortalizas, carne, pescado enlatados y leche; salchichas cocidas y pan de molde; alimentos hasta con aproximadamente el 40 % (en peso) de sacarosa o 7 % de cloruro sódico.
0,95-0,91	<i>Salmonella</i> , <i>Vibrio parahaemolyticus</i> , <i>C. botulinum</i> , <i>Serratia</i> , <i>Lactobacillus</i> , <i>Pediococcus</i> , algunos mohos, levaduras (<i>Rhodotorula</i> , <i>Pichia</i>).	Algunos quesos (manchego, cheddar, suizo, muenster, provolone), carne curada (jamón), algunos zumos de frutas concentrados; alimentos que contienen hasta el 55 % (en peso) de sacarosa o el 12 % de cloruro sódico.
0,91-0,87	Muchas levaduras (<i>Candida</i> , <i>Torulopsis</i> , <i>Hansenula</i>), <i>Micrococcus</i> .	Embutidos fermentados (salami), pastas esponjosas, quesos secos, margarina; alimentos que contienen hasta el 65 % de sacarosa (saturados) o 15 % de cloruro sódico.
0,87-0,80	La mayoría de los mohos (penicilios micotoxigénicos), <i>Staphylococcus aureus</i> , mayoría <i>Saccharomyces (bailii)</i> spp., <i>Debaryomyces</i> .	La mayoría de los zumos de frutas concentradas, leche condensada, jarabe de chocolate, jarabe de arce y de frutas; harina, arroz, legumbres hasta con el 15-17 % de humedad; tarta o pastel de fruta; jamón “country style”.
0,80-0,75	La mayoría de las bacterias halófilas, aspergilos micotoxigénicos.	Mermelada, jalea, mazapán, frutas glaseadas, algunas mieles.

continuación

0,75- 0,65	Mohos xerófilos (<i>Aspergillus chevalieri</i> , <i>A. candidus</i> , <i>Wallemia sebi</i>), <i>Saccharomyces bisporus</i> .	Avena con alrededor del 10% de agua; turrónes, dulces de azúcar, miel, gelatina, melazas, azúcar de caña sin refinar, algunas frutas desecadas, nueces.
0,65- 0,60	Levaduras osmófilas, (<i>Saccharomyces rouxii</i>), algunos mohos (<i>Aspergillus equinulatus</i> , <i>Monascus bisporus</i>).	Frutas desecadas con el 15-20 % de humedad; algunos caramelos.
0,50	No hay proliferación microbiana.	Pasta con aproximadamente el 12 % de humedad; especias conteniendo aproximadamente el 5 % de humedad.
0,40	No hay proliferación microbiana.	Huevos enteros en polvo con aproximadamente el 5 % de humedad.
0,30	No hay proliferación microbiana.	Bizcochos, galletas, corteza de pan, palitos, etc., con el 3-5 % de humedad.
0,20	No hay proliferación microbiana.	Leche entera en polvo con el 2-3 % de humedad; hortalizas desecadas con aproximadamente el 5 % de humedad; palomitas de maíz con aproximadamente el 5 % de humedad; bizcocho “ <i>country style</i> ”.

FUENTE:

Fennema

(2000)

En general, mientras más alta sea la actividad de agua y más se acerque a 1,0, menor será su estabilidad, por ejemplo, en carnes, frutas y vegetales frescos que requieren refrigeración por esta causa. Por el contrario, los alimentos estables a temperatura ambiente (excepto los tratados térmicamente y comercialmente estériles, como los enlatados), son

bajos en actividad de agua, como sucede con los de humedad intermedia en los que el crecimiento microbiano es retardado (Badui, 2006).

2.4.1. ALIMENTOS DE HUMEDAD INTERMEDIA

Los alimentos de humedad intermedia (AHI) se definen como aquellos que son estables básicamente por reducción de su actividad del agua (a_w). En los últimos años se ha observado un renovado interés por este tipo de productos que pueden ingerirse sin previa rehidratación y a pesar de ello, presentan suficiente estabilidad frente a la alteración microbiana como para no requerir ningún tratamiento térmico ni de refrigeración para su conservación (Gómez *et al.*, 1991).

Los alimentos de humedad intermedia tienen una larga vida en anaquel y no necesitan de rehidratación o de enfriamiento para conservarse, por lo que son adecuados para zonas y países en donde la refrigeración no existe o es muy costosa. No hay definición precisa de ellos, pero se les considera productos con actividad de agua de 0,65 a 0,86 y de 25 por ciento a 50 por ciento de agua. El valor de 0,86 se toma como límite, ya que es suficiente para inhibir bacterias patógenas, como el *Staphylococcus aureus*, aunque es insuficiente para evitar hongos y levaduras, por lo que en su elaboración añaden sorbatos y benzoatos (Badui, 2006).

Estos productos se fabrican quitándole agua al alimento o adicionándole solutos altamente hidratables que retienen agua y reducen consecuentemente la actividad de agua (Badui, 2006).

2.5. TEXTURA DE UN ALIMENTO

La palabra textura deriva del latín *textura*, que significa tejido y originalmente se tomó en referencia a la estructura, sensación y apariencia de los tejidos. La textura se define como “Todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles y, si es apropiado, visuales y auditivos”. Evidentemente, la textura de un alimento trata de la percepción, haciéndola por encima de todas las cosas una experiencia humana. Trata de nuestra percepción de un producto alimenticio que origina en la estructura del producto y cómo el producto se comporta cuando es manipulado o comido. Además, incorpora todos los atributos (mecánicos,

geométricos y superficiales) del alimento, sugiriendo que la experiencia de la textura es uno de los muchos estímulos trabajando en combinación (Rosenthal, 2001).

La textura del alimento es esencialmente una experiencia humana surgida de nuestra interacción con el alimento, su estructura y comportamiento cuando se manipula. Para comprender nuestra respuesta a la estructura del alimento y su rotura nos implica en una matriz de disciplinas, desde aspectos de fisiología y psicología de la percepción a estudios físicos y químicos de la composición y estructura de los productos alimenticios y su comportamiento cuando son deformados o cizallados (Rosenthal, 2001).

En el pasado, la mayoría de la investigación seria de la textura del alimento se llevaba a cabo por reólogos y científicos físicos. El lado sensorial del tema a menudo fue considerado como subjetivo y fue relegado a los psicólogos que estudiaron la percepción. En los últimos 30 años se han visto grandes avances en las técnicas y equipos (incluyendo el poder de los ordenadores) disponible tanto para los reólogos como los científicos sensoriales. La consecuencia de estos avances tecnológicos es una convergencia entre la medida instrumental física y las técnicas de la ciencia sensorial (Rosenthal, 2001).

2.5.1. ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA (TPA-TEXTURE PROFILE ANALYSIS)

El análisis de perfil de textura fue creado por la empresa *General Foods* a mediados de los años 60 y es un ensayo de tipo imitativo. Los ensayos imitativos intentan imitar la masticación con cierto tipo de máquina que mastica el alimento. La máquina está equipada para proporcionar medidas de esfuerzo y/o deformación durante la secuencia de ensayo (Rosenthal, 2001).

El análisis de perfil de textura está basado en el reconocimiento de la textura como una propiedad multiparamétrica y en la clasificación de algunas de sus características. La idea original de este método era realizar el mejor modelo de la masticación y sacar de ello un cierto número de parámetros característicos de la mandíbula sobre un alimento (Roudot, 2004).

El texturómetro de *General Foods* utilizó un émbolo acabado en plano para contactar con la muestra del alimento. El émbolo osciló hacia atrás y salió a una velocidad de 108 cm por minuto, y la muestra del alimento, con una altura estándar de 0,5 pulgadas (0.0127 m), se

deformó en un 75 por ciento. Se utilizó un ciclo con dos mordidas, y el esfuerzo que desarrolló en la muestra se midió a medida que la muestra era comprimida. Después de la “primera mordida”, se sacó la carga de la muestra y se permitió que se relajase algo. A medida que el émbolo se soltaba de la superficie de la muestra, se observó cierta tensión debida a la pegajosidad de la muestra. La segunda mordida comprimió la muestra otra vez antes de que se permitiese su relajación por segunda vez. La resistencia durante la deformación del alimento fue registrada durante estos dos ciclos de mordida. En la Figura 3 se muestra una curva ideal de TPA de esfuerzo-deformación diferenciando la primera y segunda mordida (Rosenthal, 2001).

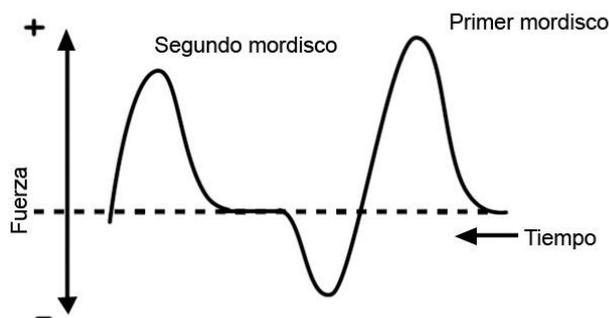


Figura 3: Ciclos de mordida de un análisis de TPA

FUENTE: Rosenthal (2001)

Actualmente, el perfil de textura se efectúa también en los analizadores de textura universales que, entre otras cosas, permiten la variación continua de la velocidad en el momento del máximo de deformación (Roudot, 2004).

Desde que se creó este ensayo, la curva obtenida ha sido utilizada para definir varios parámetros de textura del alimento estudiado, bien por medida directa o bien por cálculo de superficies. Estos parámetros han evolucionado poco desde el origen y pueden ser considerados prácticamente como normas de facto. La curva típica obtenida es de la forma representada en la Figura 4 (Roudot, 2004).

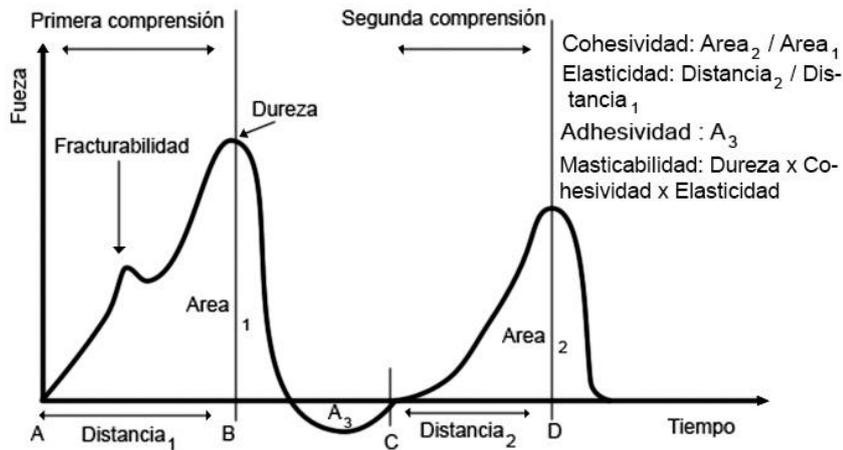


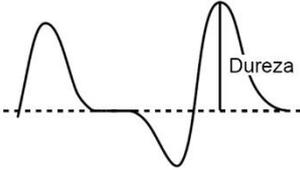
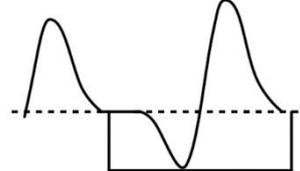
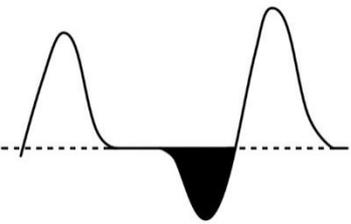
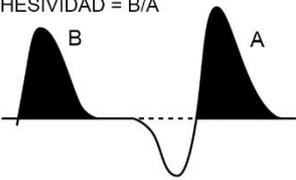
Figura 4: Curva típica de un análisis de perfil de textura

FUENTE: De la Ossa y Rivera (2012)

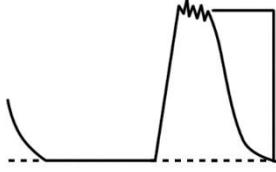
En una serie de artículos, Szczesniak (1963) y sus colaboradores definieron una variedad de términos de textura, que están expuestos en el Cuadro 7. Utilizando nueve evaluadores entrenados a los que les eran familiares estos términos, varios productos fueron clasificados primero y luego indexados. Para cada uno de los atributos sensoriales, se seleccionaron nueve productos que fueron juzgados por existir distancias iguales de unos a otros y que abarcaban el continuo sensorial. Por ejemplo, su escala de dureza variaba desde el queso crema (con un índice de 1), pasando por clara de huevo dura hervida, salchicha de Frankfurt, queso amarillo, aceitunas, cacahuets, zanahorias crudas, turrón de cacahuete (la parte de caramelo) y azúcar cande (indexado como 9). Para cada estándar definieron los detalles de preparación o nombres de la marca, así como los detalles de la temperatura de ensayo. Por lo tanto, se establecieron los patrones que permitieron que cualquiera pueda considerar uno de los atributos de textura a los diferentes niveles definidos (Rosenthal, 2001).

Es evidente que el perfil de textura aporta una ayuda indiscutible en la apreciación de la textura de los productos alimentarios. Sin embargo, es necesario tener cuidado en no considerar los resultados más que en el marco de las comparaciones y como relativos (Roudot, 2004).

Cuadro 7: Parámetros medidos por un Análisis de Perfil de Textura (TPA)

Parámetro	Definición sensorial	Definición instrumental
Fracturabilidad	Es la fuerza necesaria para la primera ruptura (primer pico).	-
Dureza	Es el valor de la fuerza máxima obtenida después de la primera compresión (segundo pico). Fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares. También llamada firmeza.	
Elasticidad	La extensión a la que un alimento comprimido retorna a su tamaño original cuando se retira la fuerza.	 <p>Ciclo = Segundo contacto - Primer contacto Elasticidad = Ciclo para un material Inelastico - Ciclo para el alimento</p>
Adhesividad	El trabajo requerido para retirar el alimento de la superficie. Corresponde al área de la curva situada bajo el eje de abscisas.	
Cohesividad	La fuerza que los enlaces internos hacen sobre el alimento. Se obtiene como el cociente entre el área del segundo pico y el área del primer pico.	<p>COHESIVIDAD = B/A</p> 

continuación

Fragilidad	La fuerza a la que el material se fractura. Los alimentos frágiles nunca son adhesivos.	
Masticabilidad	La energía requerida para masticar un alimento sólido hasta que está listo para ser tragado.	= Dureza x Cohesividad x Elasticidad
Gomosidad	La energía requerida para desintegrar un alimento semisólido de modo que esté listo para ser tragado.	= Dureza x Cohesividad

FUENTE: Rosenthal (2001) y Roudot (2004)

2.6. MÉTODO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

Es la estrategia experimental y de análisis que permite resolver el problema de encontrar las condiciones de operación óptimas de un proceso, es decir, aquellas que dan por resultado “valores óptimos” de una o varias características de calidad del producto (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

La metodología de superficie de respuesta implica tres aspectos: *diseño*, *modelo* y *técnica de optimización*. El diseño y el modelo se piensan al mismo tiempo, y dependen del tipo de comportamiento que se espera en la respuesta. De manera específica, el modelo puede ser de primero o segundo orden (plano o con curvatura); por ello, el tipo de diseño utilizado y el método de optimización se clasifican, según sea el caso, como de primero o segundo orden (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

El aspecto *diseño* implica que para optimizar un proceso se debe aplicar el diseño de experimentos, en particular aquellos que sirven para ajustar un modelo de regresión lineal múltiple. El aspecto del *modelo* utiliza el análisis de regresión lineal múltiple, junto con sus

elementos básicos que son: parámetros del modelo, modelo ajustado, significancia del modelo, prueba de falta de ajuste, residuos, predichos, intervalos de confianza para predichos y coeficiente de determinación. Por último, el aspecto de *optimización* está formado por algunas técnicas matemáticas que sirven para que, dado un modelo ajustado, explorarlo a fin de obtener información sobre el punto óptimo (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

2.6.1. DISEÑO DE MEZCLAS

Son diseños en los que factores son los componentes o ingredientes de una mezcla y los niveles de dichos ingredientes no son independientes. Las variables de respuesta dependen de las proporciones con las que participan los ingredientes en la mezcla y no de la cantidad de mezcla (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

La principal diferencia entre los experimentos de mezclas y los experimentos de variables independientes es que, en el anterior, las variables de entrada o componentes son cantidades proporcionales no negativas de la mezcla, y si se expresa como fracciones de la mezcla, deben sumar uno. Si por alguna razón la suma es menor a uno, las proporciones de las variables pueden ser reescritas como fracciones escaladas, de manera que las fracciones escaladas sumen uno (NIST/SEMATECH, 2012).

Gutiérrez y De la Vara (2008) mencionan que entre los objetivos de un experimento con mezclas se encuentran:

- Determinar cuáles de los ingredientes de la mezcla o interacciones entre ellos tienen mayor influencia sobre una o varias respuestas de interés.
- Modelar las respuestas de interés en función de las proporciones de los componentes de la mezcla.
- Usar dichos modelos para determinar en qué porcentaje debe participar cada uno de los ingredientes para lograr que la fórmula tenga las propiedades deseadas.

Los supuestos que se utilizan en experimentos factoriales también se realizan para diseños de mezcla. En particular, se asume que los errores son independientes e idénticamente distribuidos con promedio igual a cero y varianza común. Otra asunción es que la

superficie de respuesta es continua a lo largo de la región que está siendo estudiada (NIST/SEMATECH, 2012).

Según Cornell y Piepel (1994), citados por NIST/SEMATECH (2012), planear un experimento de mezclas implica los siguientes pasos:

- a. Definir los objetivos del experimento.
- b. Seleccionar los componentes de la mezcla y otros factores a ser estudiados. Entre esos factores se puede incluir las variables del proceso o la cantidad total de mezcla.
- c. Identificar todas las restricciones de la mezcla de componentes u otros factores a fin de especificar la región experimental.
- d. Identificar las variables respuesta a ser medidas.
- e. Proponer el modelo apropiado para modelar el área de respuesta en función de los componentes de la mezcla y otros factores seleccionados para el experimento.
- f. Seleccionar el diseño experimental que sea adecuado no solo para ajustarse al modelo propuesto, sino que también permita una prueba de adecuación al modelo.

En general, en un problema de experimentos con mezclas se tendrán q componentes o ingredientes y cada tratamiento en el experimento consiste en una combinación particular o mezcla de dichos ingredientes. Si se denotan por x , las proporciones en las que participan los componentes de la mezcla deben satisfacer dos restricciones:

$$0 \leq x_i \leq 1, \text{ para cada componente } i$$
$$\sum_{i=1}^q x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1$$

La primera indica que las proporciones tienen que ser cantidades entre cero y uno, y la segunda condiciona a que las q proporciones sumen siempre la unidad, lo cual causa que los niveles de los componentes x no sean independientes entre sí (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

Cuando los componentes de la mezcla están sujetos a la restricción de que deben sumar uno, se utilizan diseños estándar que se ajustan a los modelos estándar (NIST/SEMATECH, 2012).

Los principales diseños de mezcla estándar son Simplex reticular (Simplex-Lattice) y Simplex con centroide (Simplex-Centroid). Los diseños Simplex reticulares también se conocen como $\{q, m\}$ diseños simplex reticulares. La q significa el número de componentes, y las proporciones de $0, 1/m, 2/m, \dots, 1$ son utilizadas para cada componente x_i . Los diseños Simplex con centroide tienen 2^{q-1} número de puntos distintos, contienen todo subconjunto no vacío de los q componentes donde los componentes están presentes en iguales proporciones (Adeyeye y Oyawale, 2008).

2.6.2. FALTA DE AJUSTE DEL MODELO ESTIMADO

Existen diversos procedimientos que pueden ser usados para evaluar la falta de ajuste (*lack of fit*) del modelo de regresión estimado. Uno de dichos procedimientos requiere que se tomen observaciones repetidas en uno o más puntos experimentales, donde el número de puntos experimentales diferentes es mayor al número de términos del modelo estimado. Cuando esto ocurre, la suma de cuadrados del residual, proveniente del análisis de varianza del modelo estimado, puede ser dividida en dos sumas de cuadrados: la suma de cuadrados debida a la falta de ajuste del modelo y la suma de cuadrados del error puro; donde esta última es calculada usando las repeticiones. Estas sumas de cuadrados, cuando son divididas por sus respectivos grados de libertad, son posteriormente comparadas en la forma de una relación F (Draper y Smith, 1981; Draper y Herzberg, 1971; Kuri y Cornell, 1998 citados por Cornell, 2002).

Adicionalmente a las repeticiones, para evaluar la falta de ajuste es necesario el uso de “puntos de comprobación”. Todo el análisis está constituido básicamente por tres fases. La primera de estas consiste en ajustar un modelo a la data recolectada en los puntos experimentales iniciales. Luego de que el modelo ajustado es obtenido, la segunda fase consiste en recolectar observaciones adicionales en otros puntos, diferentes a los puntos experimentales anteriores, que son los denominados puntos de comprobación. La tercera fase consiste en comparar la data observada en los puntos de comprobación con los valores de la respuesta que el modelo ajustado predice en estos mismos puntos. Si las predicciones hechas con el modelo ajustado son cercanas a los valores observados de la respuesta en los puntos de comprobación, entonces se asume que el modelo es adecuado para fines de predicción. Si los valores predichos no son cercanos a los valores observados, entonces el modelo es considerado como no adecuado, debido a una falta de ajuste (Cornell, 2002).

2.6.3. RESTRICCIONES MÚLTIPLES EN COMPONENTES DE LA MEZCLA

Cuando los componentes de la mezcla están sujetos a restricciones adicionales, como a un máximo y/o mínimo valor para cada componente, se utilizan diseños diferentes a los estándar, como los diseños de mezcla restringidos o diseños de Vértices extremos (*Extreme-Vertices*), que son más apropiados (NIST/SEMATECH, 2012).

Es común que algunos componentes en un experimento de mezclas se restrinjan de la siguiente manera:

$$0 \leq a_i \leq x_i \leq b_i \leq 1$$

Donde a_i es la restricción inferior para el componente x_i de la mezcla, y b_i es la restricción superior.

En esencia, a_i representa la mínima proporción del i -ésimo componente que debe existir en cualquiera de las mezclas que se probarán en el experimento, y b_i representa el nivel o proporción máxima del i -ésimo componente.

En general, las restricciones delimitarán la región experimental factible a una zona o subregión del simplex. Cuando la región experimental factible no tiene la forma del simplex, resulta un polígono o hiperpolígono irregular. En esos casos los diseños del tipo simplex no pueden ser usados, por lo que es necesario recurrir a otros criterios considerados usualmente en los sistemas computacionales. También es posible utilizar los criterios D -óptimo para seleccionar los puntos. Este criterio fundamentalmente selecciona puntos de una lista de puntos candidatos, de manera tal que las varianzas de los coeficientes de regresión en el modelo con mezclas son minimizadas. La efectividad de este método depende de la lista de los puntos candidatos, de la adecuación del modelo propuesto y del número de puntos de diseño seleccionados (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

2.6.4. EXPERIMENTOS DE MEZCLA D-OPTIMAL

La metodología de superficie de respuesta tiene como función explorar la combinación de niveles de los factores que proporcionan una condición operativa óptima del proceso o producto. Sin embargo, cuando en el experimento de mezcla la respuesta depende del uso restringido de las proporciones de los ingredientes de la fórmula, los diseños factoriales y

la metodología de superficie de respuesta no pueden adaptarse al problema (Espinoza *et al.*, 2006).

La solución se logra mediante una variante de los métodos de superficie de respuesta llamada teoría del diseño óptimo (D-optimal). El diseño D-optimal, es un algoritmo de computación que utiliza como criterio para la selección de los puntos de diseño la minimización del determinante de la inversa de la matriz de información $|(X'X)^{-1}|$ y al hacer esto, también minimiza la varianza de los coeficientes de regresión estimados para el modelo seleccionado (Espinoza *et al.*, 2006).

El diseño D-optimal se puede aplicar a regiones experimentales irregulares, ocasionadas por las restricciones en los niveles superior e inferior de las composiciones, además, es una alternativa económica frente a los diseños tradicionales, porque el número de ensayos requeridos es sustancialmente menor y los resultados obtenidos frecuentemente son buenas aproximaciones al óptimo (Espinoza *et al.*, 2006).

Espinoza *et al.* (2006) menciona que en los experimentos de mezcla la respuesta que se obtiene es una propiedad de la mezcla resultante y deben ser satisfechas las siguientes restricciones: Si x_1, x_2, \dots, x_p son las variables que representan las proporciones de los p componentes de la mezcla, los valores de las x_i están restringidas de forma tal que se cumple:

$$0 \leq x_i \leq 1 \quad i= 1, 2, \dots, p \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^p x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_p = 1 \quad (2)$$

La geometría de la región experimental queda definida por las restricciones. En la Figura 5, puede observarse como los 8 puntos de un factorial se reducen a 3 cuando se aplica la restricción para una mezcla. La región experimental que originalmente es un cubo, se convierte en la superficie bidimensional de un plano triangular. Los modelos polinomiales fueron adaptados por Scheffé a la restricción (2), transformándola de acuerdo con cada modelo en: lineal, cuadrático, cúbico especial o cúbico (Espinoza *et al.*, 2006).

Dentro de este contexto, la estimación de los parámetros del polinomio del modelo de mezcla tanto para los componentes puros (β_i) como los del efecto de interacción (β_{ij}, β_{ijk}), se realiza mediante el análisis de regresión múltiple, aplicando el método de los Mínimos Cuadrados. Sin embargo, existen riesgos de mala estimación en la regresión si no se

verifica la homogeneidad de la varianza del error experimental. Cuando se trabaja con múltiples variables respuesta independientes, la obtención del óptimo queda sujeta al espacio común de soluciones. Si se construye una función de deseabilidad para cada variable respuesta y luego se calcula la media geométrica de los valores de las funciones para cada una de las condiciones en el diseño, entonces, aquellos valores de deseabilidad próximos al uno corresponderán a las mejores soluciones factibles (Espinoza *et al.*, 2006).

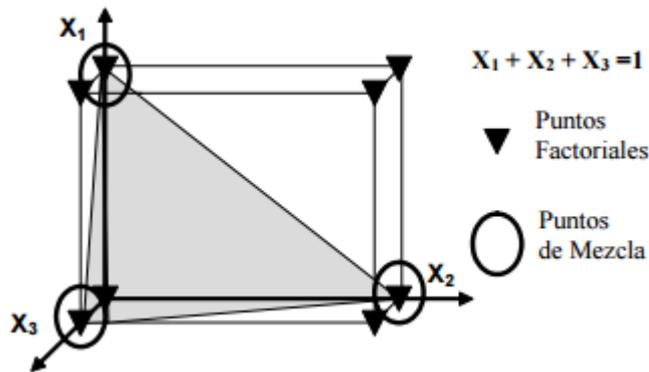


Figura 5: Espacio factorial restringido para mezclas de tres componentes.

FUENTE: Espinoza *et al.* (2006).

2.6.5. MEDICIÓN DEL EFECTO DE LOS COMPONENTES EN DISEÑOS DE MEZCLA CON RESTRICCIONES

Cuando las proporciones de los componentes de la mezcla están restringidas por límites inferiores y superiores de la forma $0 \leq L_i \leq x_i \leq U_i \leq 1$, los rangos $R_i = U_i - L_i$, $i = 1, 2, \dots, q$, rara vez son iguales, o incluso cercanos entre ellos. Rangos desiguales producen valores desiguales de los errores estándar de los coeficientes estimados. Adicionalmente, casi siempre el centroide de la región restringida es diferente del centroide simple; por ello, las direcciones dispuestas por los ejes de los componentes pueden no ser las mejores para medir los efectos de los componentes. Cuando se mide el efecto del componente i y se usa una mezcla de referencia diferente al centroide del simple, es más apropiada una dirección alternativa a la definida por eje del i -ésimo componente. Esta dirección alternativa es una línea imaginaria proyectada desde la mezcla de referencia (la cual es usualmente el centroide de la región restringida) hacia el vértice $x_i = 1$. Tal dirección, que es usada para medir el efecto del componente 1 (Cornell, 2002).

Conforme el valor de x_i se incrementa (o decrece), los valores de x_2 y x_3 decrecen (o se incrementan), pero la razón x_2 sobre x_3 permanece constante. Por ello, esta dirección permite medir el efecto de un componente como si se tratase del caso de un simplex y no de una región restringida. Esta dirección fue introducida por Cox en 1971, cuando él sugirió que se podía utilizar una forma de modelo alternativo a los de Scheffé para medir los efectos de los componentes. Por tal motivo, esta nueva dirección es denominada como “dirección o trazo de Cox” (Cornell, 2002).

El llamado gráfico de traza (*trace*) es una forma de evaluar la importancia de los distintos componentes de una mezcla. Esta gráfica inicia con una mezcla de referencia (usualmente con el centroide de la región experimental), y va mostrando la manera en que la respuesta (Y) se modifica conforme uno de los componentes aumenta o disminuye su participación de la mezcla. Cuando uno de los componentes cambia, el resto se incrementa o disminuye en forma proporcional. De esta manera, la forma del gráfico de trazas muestra la importancia relativa de los componentes (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

En la Figura 6 se muestra el gráfico de trazas para un ejemplo de una mezcla de tres componentes, cada uno en proporciones iguales. Se observa que el componente con mayor efecto es el x_2 , ya que cuando éste es modificado se logran los mayores cambios en y_1 . En seguida se ubicaría al componente x_3 y con menor efecto el x_1 . Se observa que, de acuerdo a este gráfico, aun cuando el coeficiente de x_3 es menos que el coeficiente de x_1 , x_3 tiene más efecto que x_1 . También se puede ver que el valor máximo de la variable respuesta se alcanza con la mezcla pura $x_2=1$, mientras que el valor mínimo se logra con la mezcla pura $x_3=1$ (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

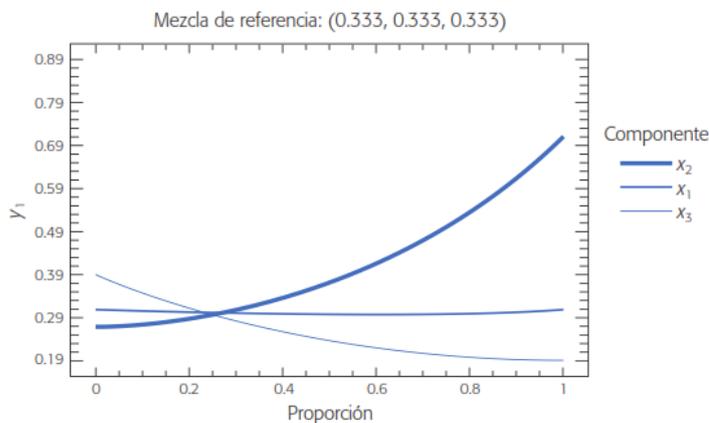


Figura 6: Ejemplo de gráfico de trazas

FUENTE: Gutiérrez y De la Vara (2008)

2.6.6. OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DE VARIAS RESPUESTAS

En muchos problemas de optimización experimental, es inusual encontrar sólo una respuesta que necesite ser optimizada, en cambio, frecuentemente deben ser consideradas varias respuestas. El objetivo de la optimización es la selección, independientemente de la multiplicidad de soluciones potenciales, de la mejor solución con respecto a algún criterio bien definido. La elección de este criterio, el objetivo, es un paso esencial en un estudio. Una función objetivo es aquella que expresa el objetivo en términos de los factores del sistema y/o respuestas. Las funciones objetivo basadas en estrategias económicas tienden a ser altamente complejas, mientras que las basadas en consideraciones técnicas y de calidad son comúnmente simples (Walters *et al.*, 1999 citados por Nuñez de Villavicencio, 2002).

La aproximación de la función deseabilidad o conveniencia es uno de los métodos más utilizados en la industria para la optimización de procesos de múltiples respuestas. Se basa en la idea de que la "calidad" de un producto o proceso que tiene múltiples características de calidad, con una de ellas fuera de ciertos límites "deseados", es completamente inaceptable. El método asigna una "puntuación" a un conjunto de respuestas y elige la configuración de factores que maximizan esa puntuación, por lo que proporciona los "más deseables" valores de respuesta (NIST/SEMATECH, 2012).

2.6.7. FUNCION DE DESEABILIDAD GLOBAL

Hay varias formas en las cuales se pueden combinar las conveniencias individuales, una de ellas podría ser la media aritmética. Sin embargo, en la realidad existe una premisa básica: si una característica es tan pobre que no es conveniente el uso del producto, tal producto no debe ser aceptado, sin tener en cuenta el resto de las características. La reacción del consumidor a un producto está basada en gran medida en las características menos deseables de tal producto debido a que son un foco de problemas potenciales (Nuñez de Villavicencio, 2002).

El modelo matemático análogo a esta reacción psicológica es la media geométrica de los valores de conveniencia individuales (Harrington, 1965; Derriger y Suich, 1980, citados por Nuñez de Villavicencio, 2002). Como se muestra:

$$D = \left(\prod_{i=1}^n d_i \right)^{\frac{1}{n}}$$

Es evidente que si algún valor de d_i es cero, el valor de D asociado será cero. La forma de la función D depende del tipo de función de conveniencia individual que se asuma (Nuñez de Villavicencio, 2002).

Para cada respuesta $Y_i(x)$, la función deseabilidad $d_i(Y_i)$ asigna números entre 0 y 1 a los posibles valores de Y_i , con $d_i(Y_i)=0$ representando un valor completamente indeseable de Y_i y $d_i(Y_i)=1$ representando un valor completamente deseable o ideal. Las deseabilidades individuales son luego combinadas usando el promedio geométrico, el cual da la deseabilidad general D (NIST/SEMATECH, 2012), cuya ecuación es:

$$D=(d_1(Y_1)d_2(Y_2)\cdots d_k(Y_k))^{1/k}$$

Con k designando el número de respuestas. Nótese que si alguna respuesta Y_i es completamente indeseable ($d_i(Y_i) = 0$), entonces la deseabilidad general es cero. En la práctica, los valores respuesta ajustados \hat{Y}_i se utilizan en lugar del Y_i (NIST/SEMATECH, 2012).

Dependiendo si la respuesta particular Y_i será maximizada, minimizada o asignada a un valor objetivo, se podrán utilizar diferentes funciones de deseabilidad $d_i(Y_i)$. Unos tipos de funciones de deseabilidad útiles fueron propuestas por Derringer y Suich (1980). En las cuales L_i , U_i y T_i son los valores mínimos, máximos y objetivo, respectivamente, que son deseados para la respuesta Y_i , siendo $L_i \leq T_i \leq U_i$ (NIST/SEMATECH, 2012).

Cuando la respuesta es de tipo “valor objetivo” (*target*), entonces su función deseabilidad individual es

$$d_i(\hat{Y}_i) = \begin{cases} 0 & \text{si } \hat{Y}_i(x) < L_i \\ \left(\frac{\hat{Y}_i(x) - L_i}{T_i - L_i}\right)^s & \text{si } L_i \leq \hat{Y}_i(x) \leq T_i \\ \left(\frac{\hat{Y}_i(x) - U_i}{T_i - U_i}\right)^t & \text{si } L_i \leq \hat{Y}_i(x) \leq U_i \\ 0 & \text{si } \hat{Y}_i(x) > U_i \end{cases}$$

Con los exponentes s y t se determina que tan importante es llegar al valor objetivo. Si $s = t = 1$, la función deseabilidad incrementará linealmente hacia T_i ; para $s < 1$, $t < 1$, la función es convexa, y para $s > 1$, $t > 1$, la función es cóncava (NIST/SEMATECH, 2012).

Si la respuesta será maximizada, la deseabilidad individual se define como

$$d_i(\hat{Y}_i) = \begin{cases} 0 & \text{si } \hat{Y}_i(x) < L_i \\ \left(\frac{\hat{Y}_i(x) - L_i}{T_i - L_i}\right)^s & \text{si } L_i \leq \hat{Y}_i(x) \leq T_i \\ 1.0 & \text{si } \hat{Y}_i(x) > T_i \end{cases}$$

Siendo T_i en este caso interpretada como un valor suficientemente grande para la respuesta (NIST/SEMATECH, 2012).

Finalmente, si lo que se busca es minimizar la respuesta, se puede utilizar:

$$d_i(\hat{Y}_i) = \begin{cases} 1.0 & \text{si } \hat{Y}_i(x) > T_i \\ \left(\frac{\hat{Y}_i(x) - U_i}{T_i - U_i}\right)^s & \text{si } L_i \leq \hat{Y}_i(x) \leq U_i \\ 0 & \text{si } \hat{Y}_i(x) < U_i \end{cases}$$

Siendo T_i interpretada como un valor suficientemente pequeño para la respuesta (NIST/SEMATECH, 2012).

El procedimiento descrito proporciona una vía para transformar los valores predichos para múltiples variables dependientes en un valor simple de conveniencia global. El problema de la optimización simultánea de varias variables respuestas será entonces el de seleccionar las proporciones de los componentes de la mezcla (variables predictoras) que maximicen la conveniencia global (Nuñez de Villavicencio, 2002).

En resumen, la aproximación de la deseabilidad consiste en los siguientes pasos: Realizar experimentos y modelos de respuesta de ajuste para todas las respuestas k , definir las funciones de deseabilidad individuales para cada respuesta y maximizar la deseabilidad general D con respecto a los factores controlables (NIST/SEMATECH, 2012).

2.7. EVALUACIÓN SENSORIAL

En el diseño de cualquier producto alimenticio nuevo o modificado es importante considerar lo que agrada, lo que desagrada y las preferencias de los grupos consumidores a quienes se destinan. Hacerlo optimiza la probabilidad de conseguir un efecto positivo, especialmente para beneficio de los productores, elaboradores y consumidores (Ramírez-Navas, 2012).

El análisis sensorial es la disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de alimentos y otras sustancias, que son

percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído. Esta disciplina comprende un conjunto de técnicas para la medida precisa de las respuestas humanas a los alimentos e intenta aislar las propiedades sensoriales y aportar información útil para el desarrollo de productos, control durante la elaboración, vigilancia durante el almacenamiento, entre otras. Las pruebas de análisis sensorial permiten traducir las preferencias de los consumidores en atributos bien definidos para un producto. La información sobre los gustos y aversiones, preferencias y requisitos de aceptabilidad, se obtiene empleando métodos de análisis denominados pruebas orientadas al consumidor. Estas pruebas deben realizarse exclusivamente con consumidores y no con evaluadores entrenados. Las consultas a consumidores, se manejan con un enfoque diferente al perfil sensorial descriptivo, pretendiendo estimar la respuesta de la población potencial de consumidores del producto respecto al gusto. El catador evalúa simplemente el grado de aceptabilidad del producto y su preferencia (Ramírez-Navas, 2012).

2.7.1. PRUEBAS ORIENTADAS AL CONSUMIDOR (PRUEBAS AFECTIVAS)

Las pruebas orientadas al consumidor incluyen las pruebas de preferencia, pruebas de aceptabilidad y pruebas hedónicas (grado en que gusta un producto). Estas pruebas se consideran pruebas del consumidor o pruebas afectivas, ya que se llevan a cabo con paneles de consumidores no entrenados. Aunque a los panelistas se les puede pedir que indiquen directamente su satisfacción, preferencia o aceptación de un producto, a menudo se emplean pruebas hedónicas para medir indirectamente el grado de preferencia o aceptabilidad (Watts *et al.*, 1992).

Las pruebas afectivas o hedónicas se refieren al grado de preferencia y aceptabilidad de un producto. Este tipo de pruebas nos permiten no solo establecer si hay diferencias entre muestras, sino el sentido o magnitud de la misma. Esto nos permite mantener o modificar la característica diferencial. Dentro de las pruebas afectivas o hedónicas podemos encontrar: pruebas de preferencia (preferencia pareada y categorías de preferencia) y pruebas de aceptabilidad (Liria, 2007).

Muchas veces se confunden el término preferencia con aceptabilidad, sin embargo, son terminologías diferentes. Aceptabilidad se refiere al grado de gusto o disgusto de una persona sobre un producto. Se basa en una escala de medición de una persona y su comportamiento. Mientras que preferencia se refiere a la elección entre varios productos

sobre la base del gusto o disgusto. Se basa en la elección de una persona entre un conjunto de alternativas (dos o más productos). Cuando se usan dos productos se refiere a una prueba pareada. Cuando se usan dos o más productos se refieren a una prueba de ranking (Liria, 2007).

Comúnmente se utilizan pruebas hedónicas para evaluar la preferencia y/o aceptabilidad de un producto. Se requieren entre 75 a 150 panelistas por prueba, los cuales son reclutados por ser usuarios del producto (Liria, 2007).

Una de las principales ventajas es que provee de información esencial del producto. Asimismo, permite identificar el grado de gusto o disgusto de un producto y relaciona el perfil descriptivo y otras variables para poder optimizar o mejorar el producto (Liria, 2007).

Dentro de las limitaciones es que los resultados pueden no ser claros y pueden dar un pobre diagnóstico, debido a que se trata de la apreciación en relación a los gustos y preferencias de panelistas. Puede resultar ser difícil obtener un panel representativo de la población objetivo y finalmente los datos o categorías de preferencia pueden ser ambiguos (Liria, 2007).

El uso de las pruebas afectivas o hedónicas dependen del tipo de prueba que se realice: pruebas de preferencia o pruebas de aceptabilidad. Las pruebas de preferencia ayudan a identificar un producto elegido entre dos o más alternativas, decidir cuál será la mejor opción entre la elaboración de diversos productos en los que se ha utilizado diferentes formulaciones, todas igualmente convenientes y para medir factores psicológicos y factores que influyen en el sabor del alimento. Las pruebas de aceptabilidad son usadas para identificar las características de un producto traducidas en grados de aceptabilidad de diferentes cualidades del mismo, por ejemplo: la aceptabilidad del sabor, color, consistencia, grado de dulzor, etc., se pueden realizar incluso ante situaciones adversas en el ambiente, es decir, se pueden realizar en el hogar, en ambientes no especialmente diseñados para la prueba (Liria, 2007).

2.7.2. PRUEBAS DE ACEPTACIÓN

Estas pruebas están indicadas especialmente para situaciones en las que los estímulos químicos no se solapan o interfieren. La medida de aceptación se efectúa bien para evaluar

simultáneamente más de dos muestras, o bien para obtener más información sobre un producto. En consecuencia, es una prueba que, a diferencia de las pruebas de preferencia, no necesariamente requiere la comparación con otros productos. Con esta medición se intenta cuantificar la preferencia de los sujetos por un producto midiendo cuanto les gusta o les disgusta, es decir el grado de satisfacción. En la práctica, el procedimiento más eficiente suele ser la utilización escalas de aceptación en una prueba multiproducto y posteriormente determinar las preferencias indirectamente a partir de dichas escalas. Para llevar a cabo las medidas de aceptación se utilizan escalas hedónicas. Con dichas escalas se miden el grado de placer o displacer que produce un alimento. Las escalas hedónicas pueden ser bien semánticas o bien gráficas. (Ibáñez y Barcina, 2001).

2.7.3. ESCALAS SEMÁNTICAS

Mediante estas escalas se describe verbalmente la sensación generada por los productos. Este tipo de escalas se han desarrollado y se han utilizado con gran variedad de productos y con bastante éxito. Son fáciles de entender y de realizar y pueden ser reproducibles con distintos grupos de sujetos. Se recomienda que contenga un número impar de puntos, de tal modo que el punto medio corresponda a la opción “ni me gusta ni me disgusta”. Si bien el número máximo de puntos que pueden disponerse en este tipo de escala es nueve (son posibles las escalas de 11 puntos) y el mínimo de tres, son más apropiadas las escalas de cinco o siete puntos. Ello se debe a que, en el caso de una escala de nueve o más puntos, los sujetos tienen dificultades para decidir entre dos puntos sucesivos. Por el contrario, las escalas de tres puntos, si bien resultan más sencillas, solo pueden aplicarse en la evaluación de dos muestras como máximo. La escala hedónica de nueve puntos es aplicable cuando se evalúan más de dos productos o cuando es posible que dos productos generen la misma sensación (agradable o desagradable) (Ibáñez y Barcina, 2001).

Para en tratamiento estadístico de los resultados obtenidos mediante esta escala, se pueden transformar las respuestas en números, existiendo dos alternativas: Asignar valores entre uno, para el extremo inferior “altamente desagradable”, y nueve para el extremo superior “altamente agradable” o asociar la clasificación de cero al punto medio “ni agradable ni desagradable”, de manera que los puntos que estén por encima de este valor sean valores positivos y los que estén por debajo sean negativos (Ibáñez y Barcina, 2001).

Al tratar este tipo de escalas, es condición indispensable que las diferencias entre intervalos sucesivos sean iguales para que el tratamiento estadístico por métodos paramétricos clásicos sea válido. Sin embargo, las pruebas basadas en estas escalas han sido criticadas tanto porque las distancias entre puntos sean realmente iguales como por la dificultad para determinar los intervalos. A pesar de esto, esta escala continúa utilizándose, probablemente por su facilidad de uso para el sujeto como por la ausencia de números que puedan conducirle al error (Ibáñez y Barcina, 2001).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación se llevó a cabo en el campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina (Lima), en los siguientes laboratorios de la Facultad de Industrias Alimentarias:

- Planta Piloto de Alimentos.
- Laboratorio de Investigación.
- Laboratorio de análisis fisicoquímicos.

3.2. MATERIA PRIMA E INSUMOS

- Carne de llama proveniente de Yanamate (Cerro de Pasco).
- Azúcar marca Costeño®
- Harina de kiwicha marca Naturandes®
- Canela molida marca Sibarita®
- Sal marca Emsal®
- Sal de cura adquirida en Montana S.A
- Tripas de intestino delgado de cerdo de calibre 30mm

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS

3.3.1. MATERIALES

- Cuchillos.
- Tablas de picar.
- Recipientes de plástico y/o acero inoxidable.
- Pañuelos desechables triple hoja.
- Pabilo.
- Guantes descartables.
- Vasos y platos descartables.

3.3.2. EQUIPOS

- Colorímetro marca Konica Minolta®, modelo CR400 (Japón).
- Balanza Analítica (0 - 500 +/- 0,0001g) marca Ohaus®, modelo Adventurer TM (Estados Unidos).
- Balanza de precisión marca H.W Kessel S.A., modelo GR-200 (Perú).
- Texturometro marca Brookfield®, modelo QTS25 (Estados Unidos).
- Medidor de actividad de agua marca AquaLab®, modelo 3TE (Estados Unidos)
- Moledora de carne, marca Mainca®, s/m (España).
- Embutidora, s/m (Perú).
- Cámara de refrigeración.

3.3.3. SOFTWARE

- Design-Expert® 7 *Software for Design of Experiments* (DOE)

3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.4.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

Esta investigación consistió en cinco etapas que se resumen en la Figura 7.

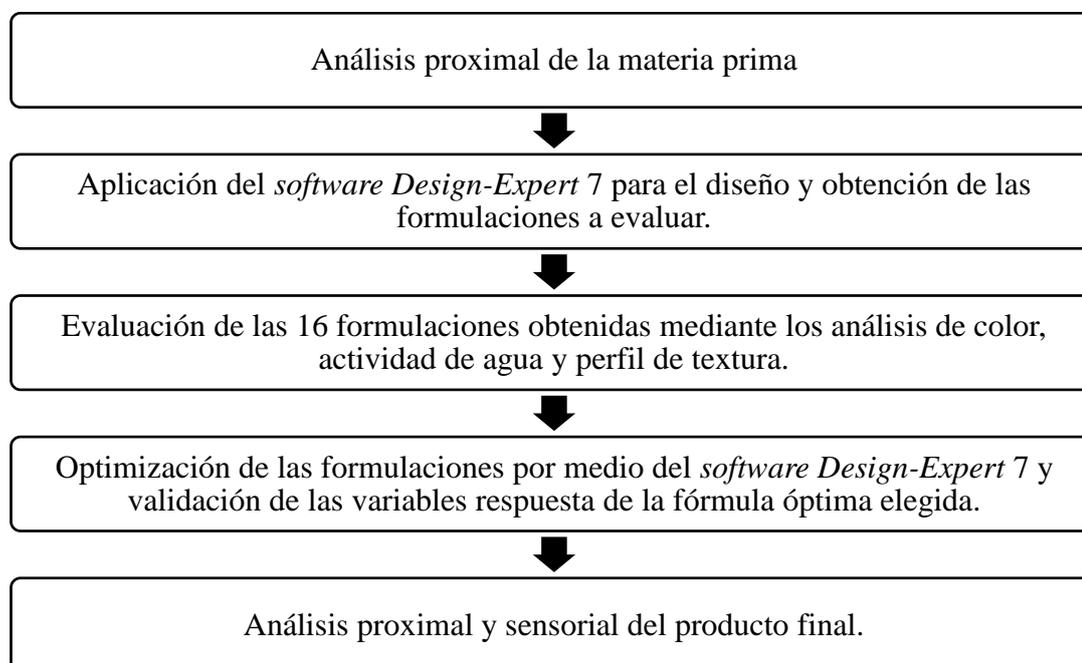


Figura 7: Diseño experimental de la investigación

Primera etapa: Caracterización de la materia prima

Se realizó el análisis proximal de la carne de llama y la harina de kiwicha.

Segunda etapa: Diseño de formulaciones y elaboración de las butifarras dulces

Se utilizó el *software Design-Expert® 7* para obtener de las formulaciones a evaluar.

El rango en que se utilizó cada componente estuvo de acuerdo a lo obtenido en pruebas preliminares y estos valores se ingresaron al programa. Se eligió el diseño de tipo *Optimal-D*, el cual, de acuerdo al *software*, es útil cuando se tiene modelos con varias restricciones.

Las restricciones de los ingredientes de la masa principal se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 8: Restricciones de los componentes de la masa principal

Componente	Mínimo	Máximo
Carne de llama	60%	80%
Azúcar	20%	40%
Harina de Kiwicha	0%	5%

Con estos datos y de acuerdo al diseño elegido, el programa eligió al azar un total de 16 formulaciones (6 puntos experimentales, 5 puntos para la evaluación de la suficiencia de ajuste del modelo matemático y 5 puntos repetidos) que se encontraron dentro de la región delimitada por las restricciones. Las formulaciones se muestran en el Cuadro 9.

Los demás ingredientes, como la sal (1 por ciento) y la canela (0,2 por ciento), se mantuvieron constantes en sus proporciones.

Cuadro 9: Formulaciones obtenidas al aplicar el programa *Design-Expert*® 7

	Carne de llama	Azúcar	Harina de kiwicha
1	71,07	24,99	3,95
2	60,00	36,64	3,36
3	60,00	40,00	0,00
4	69,51	29,38	1,10
5	60,00	40,00	0,00
6	80,00	20,00	0,00
7	60,00	36,64	3,36
8	62,91	32,10	5,00
9	65,45	34,55	0,00
10	62,66	37,21	0,13
11	80,00	20,00	0,00
12	76,38	20,00	3,62
13	76,38	20,00	3,62
14	74,61	25,39	0,00
15	62,91	32,10	5,00
16	66,88	28,12	5,00

Tercera etapa: Evaluación de las formulaciones de la butifarra dulce de carne de llama y harina de kiwicha

A cada formulación se le realizó los análisis de color, perfil de textura y actividad de agua. Posteriormente se comparó los tratamientos mediante el análisis de varianza respectivo. Se realizaron tres repeticiones por análisis, cuyo promedio se muestra en los cuadros de resultados del siguiente capítulo.

Cuarta etapa: Elección de la formulación óptima

Para elegir la formulación óptima se trabajó con una muestra patrón elaborada con carne de cerdo, cuya formulación se detalla en el Cuadro 10 y le realizaron los mismos análisis que

a las formulaciones dadas por el *software*. Los resultados obtenidos sirvieron para definir los valores deseados de las variables respuesta y que el software pudiese escoger las formulaciones con las que se obtenían los valores más cercanos. Cuando se obtuvo la lista de formulaciones que cumplían con las restricciones, se eligió la que tuvo mayor deseabilidad y se replicó para validar los resultados.

Cuadro 10: Formulación de la muestra patrón

Componente	Porcentaje
Carne de cerdo	60%
Azúcar	40%
Sal	1%*
Canela en polvo	0,2%*

*Cantidades en base a la masa principal

Quinta etapa: Caracterización del producto final

Se realizó un análisis proximal al producto con la formulación óptima y posteriormente se evaluó sensorialmente.

3.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN

3.5.1. ANÁLISIS PROXIMAL

Se realizó un análisis proximal de la carne de llama y de la fórmula de la butifarra dulce optimizada obtenida mediante el diseño de mezclas, con los siguientes métodos oficiales de la A.O.A.C. (2007):

- **Determinación de Humedad:** según el método AOAC 950.46.
- **Determinación de Proteína:** según el método AOAC 928.08.
- **Determinación de Cenizas:** según el método AOAC 920.153.
- **Determinación de Grasa:** según el método AOAC 960.39.

Para la harina de kiwicha el análisis proximal se determinó por los métodos oficiales de la A.O.A.C. (2007), según corresponda a cada caso:

- **Determinación de Humedad:** según el método AOAC 934.01.
- **Determinación de Proteína:** según el método AOAC 992.15.

- **Determinación de Cenizas:** según el método AOAC 920.153
- **Determinación de Grasa:** según el método AOAC 920.85.
- **Determinación de fibra:** según el método AOAC 920.86.

3.5.2. DETERMINACIÓN INSTRUMENTAL DE COLOR

Se realizó utilizando el Colorímetro Minolta modelo CR-400, de acuerdo las recomendaciones propuestas por Honikel (1998) y AMSA (2012). El Colorímetro fue calibrado mediante la función ubicada en el panel de selección y la placa blanca de calibración. Se programó el colorímetro para realizar tres disparos. Se colocó la muestra sobre una superficie plana y se realizó la medición de color directamente sobre la muestra, sin dejar espacio entre el producto y el lente del colorímetro. Se realizaron tres mediciones, cada una en un punto diferente de la superficie de la butifarra. Se reportaron los resultados utilizando el sistema CIELab que expresa el color como L*(luminosidad), a*(tendencia al rojo), b*(tendencia al amarillo) y con estos datos se obtuvo el Cromo (C*).

3.5.3. DETERMINACIÓN DEL PERFIL DE TEXTURA

Se realizó utilizando el texturómetro QTS 25 (Brookfield® CNS Farnell, Middelboro, MA, USA) con la sonda cilíndrica Perspex de 25 mm de diámetro por 35 mm de altura y una celda de carga de 25 g. Se programó a una velocidad de 60 mm/min. La distancia de penetración fue del 50 por ciento de la altura. Las muestras fueron cocidas durante 25 minutos, luego se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente y se cortaron en cilindros de 20 mm de altura para su medición (Szczeniak, 1973 y Petersson *et al.*, 2013).

3.5.4. ANÁLISIS DE ACTIVIDAD DE AGUA

La actividad de agua del producto se midió mediante el equipo AquaLab Water Activity Meter (Decagon Devices Inc®). Dos gramos de la muestra de butifarra dulce previamente molida fueron depositados en la cubeta de plástico del equipo, se esperó a que la temperatura del producto se estabilice con la del equipo y se midió, se realizaron tres repeticiones calculando luego el promedio de los resultados. Las medidas se efectuaron a temperatura ambiente (~ 25 °C) (Rebatta, 2014).

3.5.5. EVALUACIÓN SENSORIAL

Se realizó una prueba orientada al consumidor (prueba de aceptabilidad con escala hedónica). En esta prueba se evaluó el nivel de agrado de la fórmula óptima mediante una escala hedónica de siete puntos, para evitar que los panelistas tengan problemas para decidir o se confundan entre dos puntos sucesivos de la escala (Ibáñez y Barcina, 2001). Para este tipo de pruebas se requieren al menos setenta panelistas (Ramírez-Navas, 2012), por lo que se evaluó a cien personas. En este tipo de prueba no se emplean panelistas entrenados ni seleccionados por agudeza sensorial (Espinosa *et al.*, 1998); sin embargo, los panelistas fueron usuarios del producto.

La selección de panelistas se realizó a través de cartillas, como se muestra en el Anexo 1. Estos debieron ser consumidores de embutidos y estar comprendidos en el rango de edades de 18 a 35 años.

A los panelistas se les pidió evaluar muestras codificadas de los productos, indicando su nivel de agrado en cuanto a las características de color, olor, sabor y textura del alimento. Cada muestra fue de 20 g aproximadamente que equivalen a dos rodajas de 2 cm y se presentaron en platos descartables color blanco. A cada panelista se le brindó un vaso de agua durante la prueba. El formato de las cartillas para la prueba se muestra en el Anexo 2. Debido a que solo se evaluó una muestra, los resultados se expresaron en porcentaje.

3.6. DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES DEL PROCESO

En la Figura 8, se muestra el flujo de elaboración de la butifarra dulce y el proceso se detalla a continuación:

- Trozado: Se cortó la carne en trozos de aproximadamente 2.5 cm para luego pasar al curado.
- Curado: La carne de llama fue curada con sal (20 g/kg), azúcar (4 g/kg) y nitritos (150 ppm) con el objetivo de favorecer la coloración y conservación del producto (Price *et al.*, 1976 citado por Rebatta, 2014). Se realizará el método de curado en seco, manteniendo la carne trozada a 5 °C durante 24 horas (Rebatta, 2014).
- Molienda: Tiene como objetivo disminuir el tamaño de partícula de la masa y aumentar así la superficie de contacto. Este proceso se llevó a cabo con la materia prima refrigerada a 5 °C. De no ser así se produce un sobrecalentamiento de la masa, ocasionando un picado deficiente, con desgarramientos de la carne, que ocasiona

excesivas pérdidas por exudado. Esto conlleva defectos en la posterior maduración y desecación del producto, dando lugar a superficies de corte poco definidas (Jiménez y Carballo, 1989).

- Mezclado: Se realizó con la finalidad de mezclar homogéneamente la carne y los demás ingredientes.
- Reposo: Se realizó para que los ingredientes de la mezcla se compenentren. La masa cárnica se mantuvo en refrigeración por 24 horas.
- Embutido: La masa obtenida se introdujo, utilizando la embutidora, en tripas de cerdo de calibre 30 mm, realizando presión durante el proceso con el fin de evitar introducir aire (Rebatta, 2014).
- Almacenamiento: Tuvo por finalidad asegurar la conservación del producto. Se mantuvo en refrigeración por dos días y se procedió a realizar los análisis.

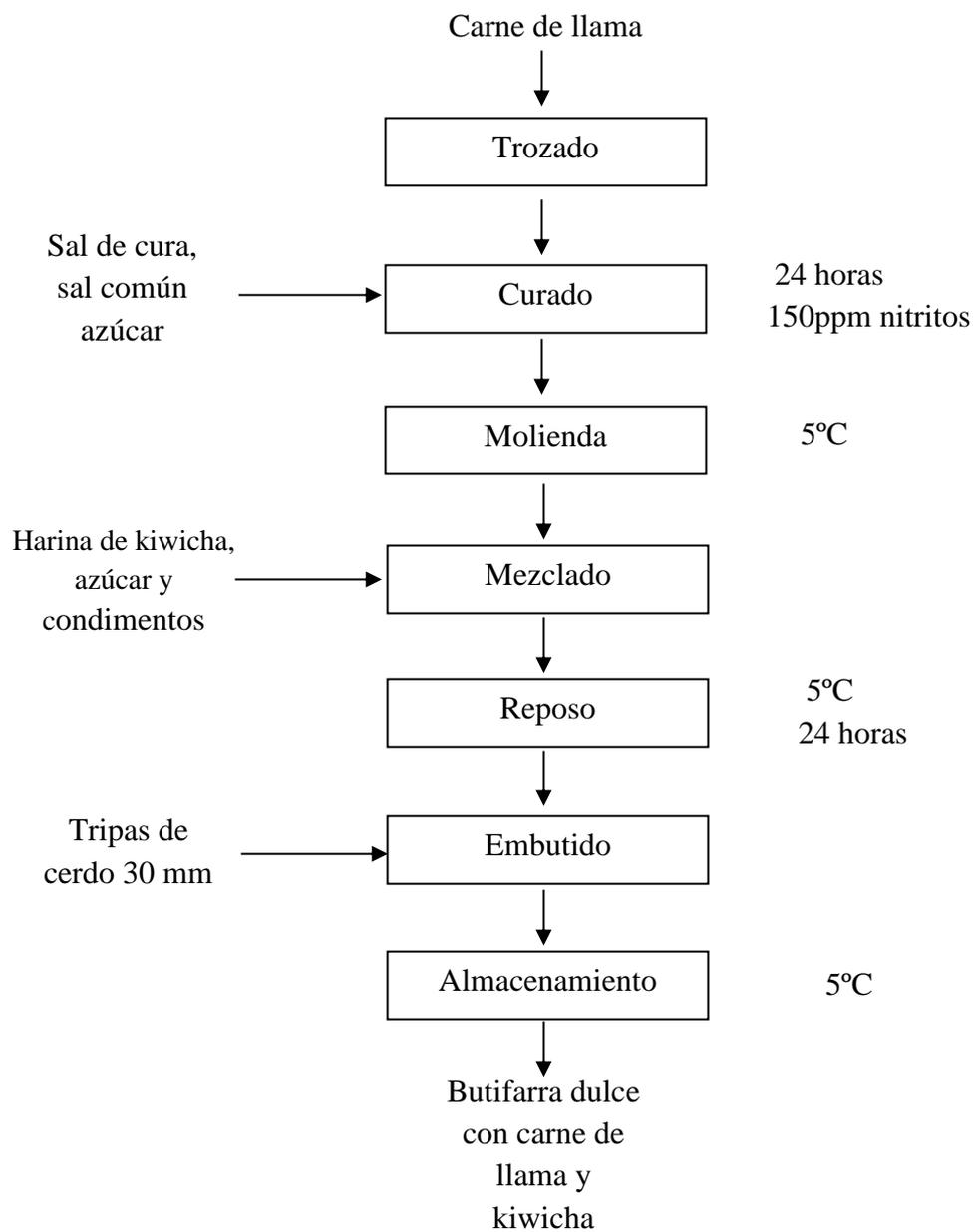


Figura 8: Diagrama de flujo para la elaboración de butifarra dulce con carne de llama y harina de kiwicha

FUENTE: Adaptado de AESAN (2012)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS

4.1.1. CARNE DE LLAMA

En el Cuadro 11 se muestran los resultados obtenidos del análisis proximal a la carne de llama, los mismos que son similares a los obtenidos por Mamani-Linares y Gallo (2013) que analizaron carne de llama de la variedad Kh'ara, procedentes del norte de Chile con una composición de 73,34 por ciento de humedad, 23,88 por ciento de proteína, 1,56 por ciento de grasa, y 1,21 por ciento de ceniza; y a los resultados presentados por Cristofanelli *et al.* (2004) que obtuvieron 73,94 por ciento de humedad, 23,12 por ciento de proteína, 0,51 por ciento de grasa y 2,43 por ciento de ceniza para llamas procedentes de Arequipa (Perú). Cristofanelli *et al.* (2004) también mencionan que tanto la carne de llama como la de alpaca tienen un bajo contenido de grasa (0,49–2,05 por ciento) a comparación de otras carnes rojas. Las ligeras diferencias entre los resultados de los autores citados y los obtenidos en esta investigación pueden deberse a diversos factores como la procedencia del animal, el estado fisiológico, sexo, el método de crianza, la alimentación, etc.

Cuadro 11: Resultados del análisis proximal de la carne de llama (*Lama glama*)

Componente	Porcentaje (%)*
Humedad	75,61
Proteína	22,9
Grasa	0,28
Cenizas	1,16

*Resultados presentados en base húmeda y obtenidos a partir de un promedio de tres repeticiones.

4.1.2. HARINA DE KIWICHA

Los resultados obtenidos del análisis proximal de la harina de kiwicha mostrados en el Cuadro 12 son similares a los obtenidos por Reyes *et al.* (2009) que dan a la kiwicha peruana una composición de 9,2 por ciento de humedad, 12,8 por ciento de proteína, 6,6 por ciento de grasa total, 69,1 por ciento de carbohidratos, 2,5 por ciento de fibra cruda y 2,3 por ciento de ceniza. Los resultados también son cercanos a los señalados por Collazos *et al.* (1996) que dan una composición de 0,7 por ciento de humedad, 14,5 por ciento de proteína, 7,8 por ciento de grasa, 74,3 por ciento de carbohidratos, 3 por ciento de ceniza y 2,7 por ciento de ceniza, la kiwicha presentada por el autor también es de origen peruano. Ambos autores citados presentaron sus resultados en tablas de composición de alimentos.

Cuadro 12: Resultados del análisis proximal de la harina de kiwicha

Componente	Porcentaje (%)*
Humedad	5,6
Proteína	16,5
Grasa	7,7
Carbohidratos totales	67,8
Fibra cruda	7,37
Cenizas	2,4

*Resultados presentados en base húmeda y obtenidos a partir de un promedio de tres repeticiones.

4.2. COLOR

4.2.1. ESTABLECIMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el Cuadro 13 se presentan los valores del color expresado en croma (C*) correspondientes a cada una de las formulaciones estudiadas. El valor de C* también es conocido como valor de saturación e indica el nivel de brillo o intensidad del color.

Cuadro 13: Resultados del croma (C*) de la mezcla de componentes de la butifarra dulce en las formulaciones experimentales

Fórmula N°	Carne de llama (%)	Azúcar (%)	Harina kiwicha (%)	Color (C*) *
1	71,068	24,986	3,946	6,206 ± 0,33
2	60,000	36,643	3,357	5,394 ± 0,49
3	60,000	40,000	0,000	7,251 ± 0,43
4	69,514	29,384	1,102	6,034 ± 0,13
5	60,000	40,000	0,000	6,324 ± 0,38
6	80,000	20,000	0,000	5,417 ± 0,14
7	60,000	36,643	3,357	5,266 ± 0,37
8	62,909	32,096	4,995	6,338 ± 0,38
9	65,452	34,548	0,000	7,818 ± 0,19
10	62,661	37,206	0,133	8,061 ± 0,20
11	80,000	20,000	0,000	5,635 ± 0,17
12	76,381	20,000	3,619	9,384 ± 0,29
13	76,381	20,000	3,619	9,471 ± 0,13
14	74,612	25,388	0,000	7,134 ± 0,34
15	62,909	32,096	4,995	6,351 ± 0,19
16	66,877	28,123	5,000	7,607 ± 0,19

*Resultados obtenidos a partir de un promedio de tres repeticiones.

Según Gutiérrez y De la Vara (2008) una vez obtenidos los resultados experimentales de un diseño de mezcla es necesario ajustar un modelo estadístico para investigar el efecto de los componentes sobre la respuesta.

Es por ello que los valores observados fueron sometidos al análisis de regresión múltiple correspondiente, con el cual el modelo se ajustó a la siguiente ecuación cúbica especial:

$$\hat{y} = - 0,104 37*A - 0,745 40*B + 12,568 21*C + 0,017 958*A*B + 0,005 930 55*A*C + 0,471 40*B*C - 0,013 822*A*B*C$$

Donde \hat{y} representa el valor del croma de la mezcla de componentes estimada, mientras que A, B y C corresponden a los porcentajes de carne de llama, azúcar y harina de kiwicha, respectivamente.

Un diseño se puede ajustar a un modelo cúbico especial cuando se tienen tres variables y el modelo cuadrático no es suficiente para describir la respuesta. Este modelo agrega el término $x_1x_2x_3$, el cual cuantifica el efecto de la mezcla ternaria en el interior del simplex (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

El valor- p (o p -value) prueba si el modelo es significativo o aporta elementos en la explicación de la respuesta al compararlo con el modelo anterior de más bajo orden (Gutiérrez y De la Vara, 2008). Cornell (2002) citado por Ortiz (2015) menciona que cuando el valor p es mayor a 0,05 o 0,01 (dependiendo del nivel de significación escogido), el coeficiente asociado a dicho valor es no significativo. En el caso del modelo analizado, se puede afirmar que los coeficientes son significativos, ya que el valor p es, a un nivel de confianza del 95 por ciento, menor a 0,0001 como se muestra en el Anexo 5.

De manera adicional, para la selección del modelo se tiene el criterio de los coeficientes de determinación: R^2 y R^2_{adj} (coeficiente de determinación ajustado), los cuales muestran el porcentaje de la variación en y_I que es explicada por el correspondiente modelo (Gutiérrez y De la Vara, 2008). De acuerdo a lo mencionado, el coeficiente de determinación (R^2) para el modelo seleccionado es 0,9268, por lo tanto 92,68 por ciento de la variación de la respuesta es explicada por el modelo seleccionado; con ello se puede afirmar que el modelo es significativo y suficiente para representar la relación existente entre la respuesta (color) y las variables estudiadas (carne de llama, azúcar y harina de kiwicha). Con referencia al coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), Cornell (2002) citado por Andrade (2012), menciona el uso en reemplazo de R^2 como una medida de bondad de ajuste de la ecuación de regresión a las observaciones experimentales, mencionando que cuando su valor es cercano a 1, el grado de correlación entre los valores observados y predichos por el modelo es alto. En el caso del modelo elegido, el valor de R^2_{adj} es 0,8779, el cual es cercano a 1 por lo que el grado de correlación entre los valores observados y predichos es alto.

En el Anexo 5 se detallan los resultados del análisis de varianza (ANOVA). Asimismo, se presentan los resultados de la suma de cuadrados utilizando en análisis de varianza. En este se observa que la suma de cuadrados del error puro es menor que la suma de cuadrados total, lo cual evidencia que el experimento tuvo una buena reproducibilidad. Para lo cual Cornell (2002) citado por Ortiz (2015) señala que esta interpretación es válida, ya que para

la determinación de la suma de cuadrados del error puro se utilizan repeticiones consideradas en el diseño experimental.

4.2.2. EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE EL COLOR

Se analizó la influencia de los componentes de la mezcla estudiados en el color del producto final mediante ploteos de la superficie de respuesta (Figuras 9 y 10) y gráfico de trazas (Trazos de Cox) como se ve en la Figura 11.

En las Figuras 9 y 10 se observa que el color del gráfico cambia de azul a rojo, pasando por el color verde, de acuerdo al incremento de la variable respuesta (como se indica en el mismo gráfico), siendo de color azul los niveles más bajos, verde los intermedios y rojos los más altos. En este caso, el mayor valor de color (*C) es de 9,47 y el menor, 5,28. También se observa que las variables que tienen mayor influencia sobre el color son la carne (A) y la harina de kiwicha (C).

Para analizar detalladamente la influencia de los componentes de la mezcla en la respuesta analizada, se utilizaron los gráficos de traza o Trazos de Cox, el cual según Gutiérrez y De la Vara (2008) es una forma de evaluar la importancia de los distintos componentes de una mezcla. Esta gráfica inicia con una mezcla de referencia (usualmente con el centroide de la región experimental), y va mostrando la manera en que la respuesta (Y) se modifica conforme uno de los componentes aumenta o disminuye su participación en la mezcla. Cuando uno de los componentes cambia, el resto se incrementa o disminuye en forma proporcional. De esta manera, la forma del gráfico de trazas muestra la importancia relativa de los componentes. En la Figura 11 se muestran los trazos de Cox del color (C*) en función a los componentes de la mezcla.

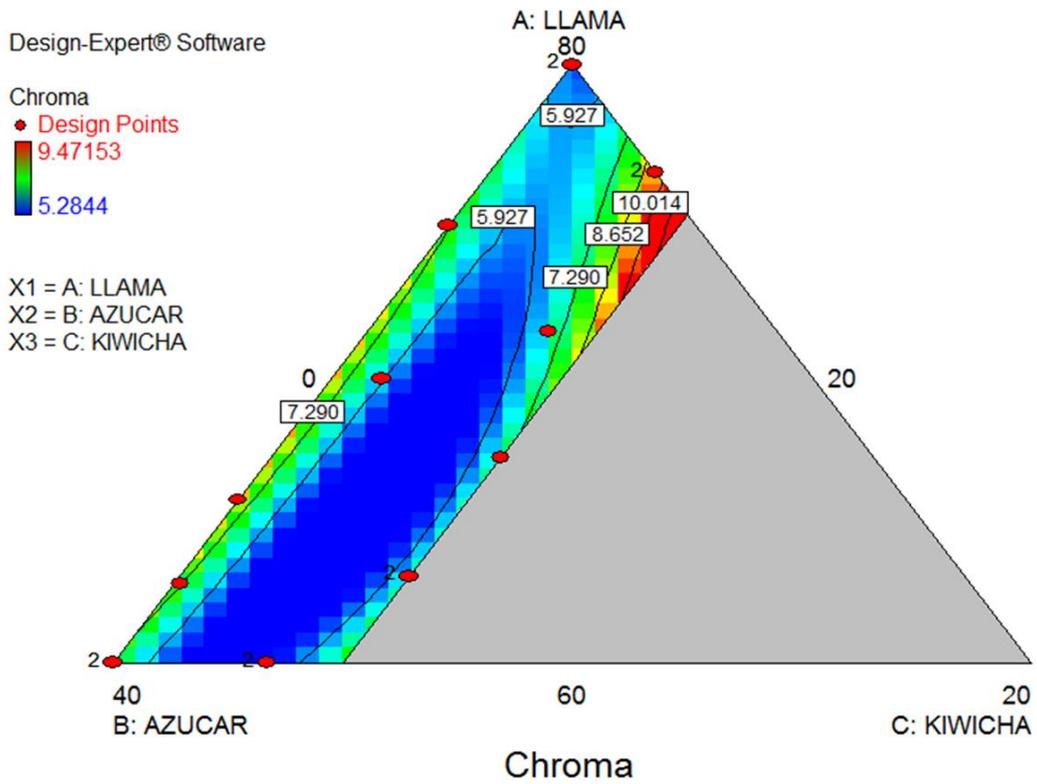


Figura 9: Ploteo de contornos del color expresado en croma de los componentes

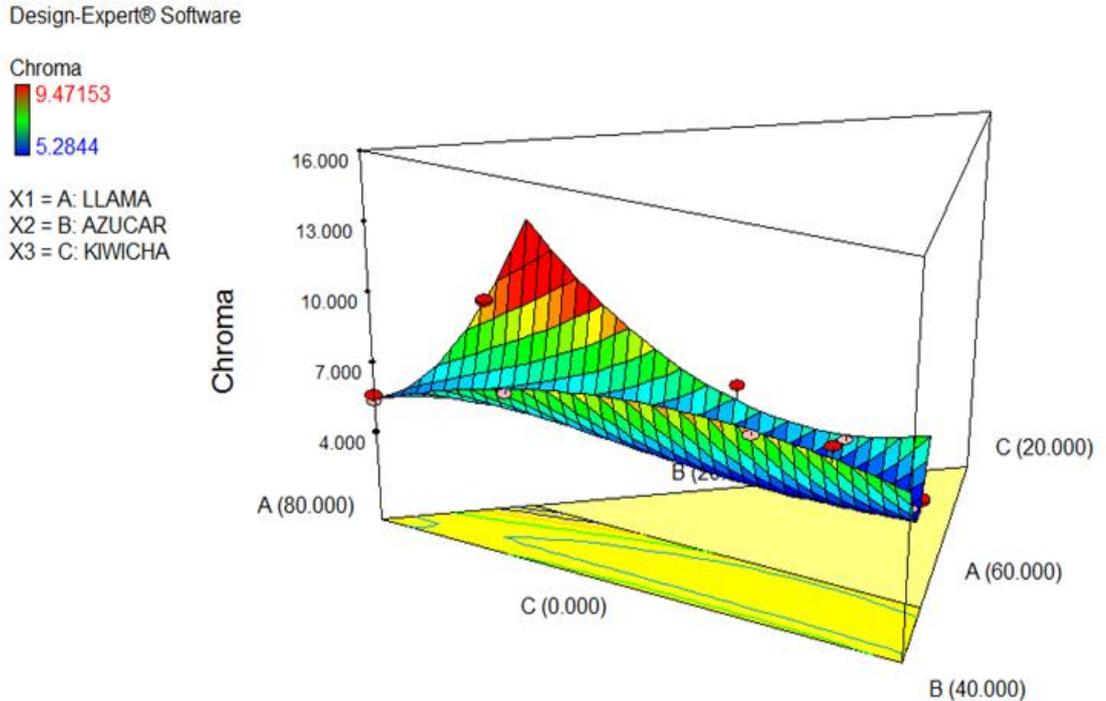


Figura 10: Superficie de respuesta tridimensional del color expresado en croma

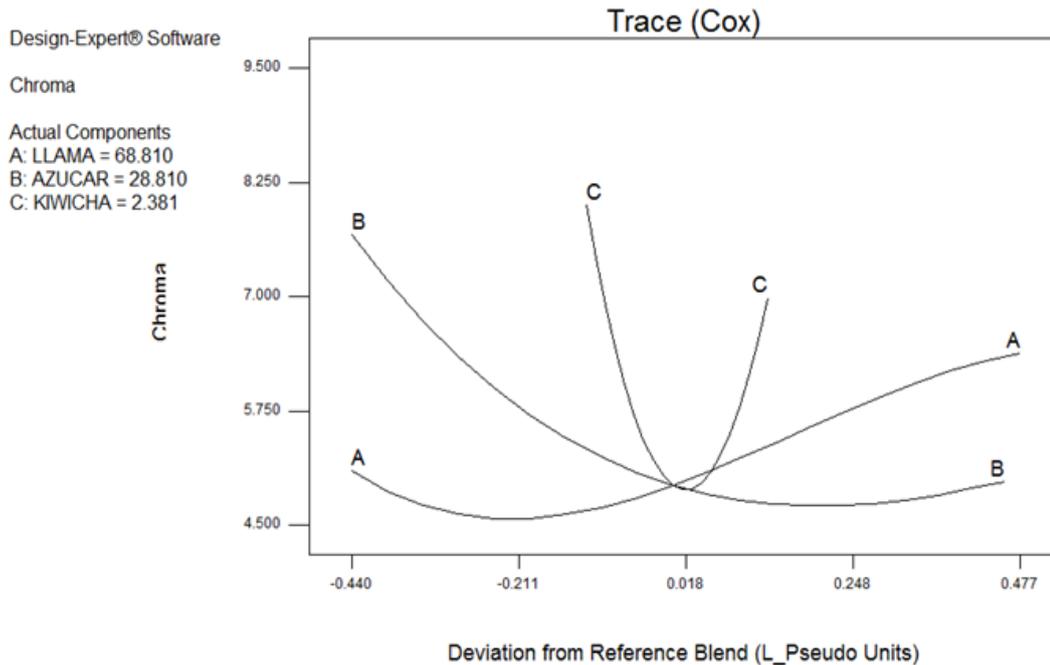


Figura 11: Trazos de Cox del color expresado en croma

Se puede apreciar en el trazo de la carne de llama (A), que a medida que se incrementa la proporción de carne en la mezcla, el valor del croma disminuye hasta llegar a un punto en el que esta relación es directamente proporcional. Aun así, se observa que existe una pendiente positiva en la mayor parte del trazo. En el caso del azúcar (B), conforme la proporción de azúcar aumenta, se obtienen valores menores de croma, hasta llegar a un punto mínimo en el que aumenta mínimamente, pero la mayoría del trazo tiene una pendiente negativa. En cuanto a la harina de kiwicha (C), se observa que, al igual que el azúcar, a medida que aumenta su proporción en la mezcla, el color disminuye hasta un punto mínimo y luego aumenta; sin embargo, posee pendientes más pronunciadas, lo que indicaría que un mínimo cambio en la proporción puede repercutir en el color de la mezcla.

Las mezclas con mayor proporción de carne obtuvieron valores más altos de $+a^*$ (color rojo) y valores mínimos de $-b^*$ (color azul), mientras que las que tuvieron mayor cantidad de harina de kiwicha presentaron mayores valores de $+a^*$ y $+b^*$ (color amarillo). En el caso de la luminosidad (L^*), los mayores valores se evidenciaron a medida que disminuía la proporción de azúcar y/o cuando incrementaba la cantidad de harina de kiwicha.

En carnes y productos cárnicos, la luminosidad (L^*) suele ser uno de los parámetros más informativos para el cambio de color, aunque el color rojo (a^*) también es importante. En

general, bajos niveles de grasa y alto contenido de agua conllevan a altos valores de a^* y bajos valores de L^* (Gimeno *et al.*, 2000). Los mismos autores señalan que en la bibliografía se ha encontrado que a medida que el contenido de proteína disminuye, el valor de a^* es menor, estos autores explican este proceso debido a la dilución de la mioglobina consecuente con el menor contenido de proteína.

Estos resultados también sugieren que la harina de kiwicha incrementa la luminosidad del producto y los colores rojo y amarillo, así como la saturación o intensidad de los mismos (C^*). Muthia *et al.* (2010) al utilizar harina de tapioca o trigo en salchicha de pato mostró incrementos en la luminosidad y a^* , Ali *et al.* (2011) también observó un incremento de la luminosidad al agregar harina de arroz a las salchichas de cerdo, pollo y pato, pero en todas el valor de a^* disminuía. Por otra parte, encontró que la adición de salvado de avena disminuía la luminosidad de la salchicha de cerdo; resultados similares a los analizados por en los que la adición de harinas disminuía la luminosidad de las salchichas de pato, pero los valores de a^* y b^* variaban de acuerdo al tipo de harina utilizado.

En general, el color (croma C^*) se ve influenciado por la mayor proporción de carne de llama y en segundo lugar de la harina de kiwicha.

4.3. ACTIVIDAD DE AGUA

4.3.1. ESTABLECIMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el Cuadro 14 se presentan los valores de la actividad de agua (A_w) correspondientes a cada una de las formulaciones estudiadas.

Los valores observados fueron sometidos al análisis de regresión múltiple, con el cual el modelo se ajustó a una ecuación lineal:

$$\hat{y} = + 0.009\ 921\ 50*A + 0,007\ 577\ 90*B + 0,009\ 074\ 50*C$$

Donde \hat{y} representa la actividad de agua de la mezcla de componentes estimada, mientras que A, B y C corresponden a los porcentajes de carne de llama, azúcar y harina de kiwicha, respectivamente.

Cuadro 14: Resultados de la actividad de agua de la mezcla de componentes de la butifarra dulce en las formulaciones experimentales

Formula N°	Carne de llama (%)	Azúcar (%)	Harina kiwicha (%)	Actividad de agua (Aw)*
1	71,068	24,986	3,946	0,931 ± 0,0031
2	60,000	36,643	3,357	0,905 ± 0,0035
3	60,000	40,000	0,000	0,896 ± 0,0035
4	69,514	29,384	1,102	0,922 ± 0,0017
5	60,000	40,000	0,000	0,895 ± 0,0025
6	80,000	20,000	0,000	0,942 ± 0,0010
7	60,000	36,643	3,357	0,904 ± 0,0006
8	62,909	32,096	4,995	0,909 ± 0,0026
9	65,452	34,548	0,000	0,916 ± 0,0000
10	62,661	37,206	0,133	0,906 ± 0,0021
11	80,000	20,000	0,000	0,944 ± 0,0020
12	76,381	20,000	3,619	0,945 ± 0,0012
13	76,381	20,000	3,619	0,940 ± 0,0015
14	74,612	25,388	0,000	0,936 ± 0,0026
15	62,909	32,096	4,995	0,915 ± 0,0025
16	66,877	28,123	5,000	0,921 ± 0,0021

*Resultados obtenidos a partir de un promedio de tres repeticiones.

El valor- p (o p -value) prueba si el modelo es significativo o aporta elementos en la explicación de la respuesta al compararlo con el modelo anterior de más bajo orden (Gutiérrez y De la Vara, 2008). Cornell (2002) citado por Ortiz (2015) menciona que cuando el valor p es mayor a 0,05 o 0,01 (dependiendo del nivel de significación escogido), el coeficiente asociado a dicho valor es no significativo. En el caso del modelo analizado, se puede afirmar que los coeficientes son significativos, ya que el valor p es, a un nivel de confianza del 95 por ciento, menor a 0,0001 como se muestra en el Anexo 6.

De manera adicional, para la selección del modelo se tiene el criterio de los coeficientes de determinación: R^2 y R^2_{adj} (coeficiente de determinación ajustado), los cuales muestran el porcentaje de la variación en y_i que es explicada por el correspondiente modelo (Gutiérrez y De la Vara, 2008). De acuerdo a lo mencionado, el coeficiente de determinación (R^2)

para el modelo seleccionado es 0,9776, por lo tanto 97,76 por ciento de la variación de la respuesta es explicada por el modelo seleccionado; con ello se puede afirmar que el modelo es significativo y suficiente para representar la relación existente entre la respuesta (actividad de agua) y las variables estudiadas (carne de llama, azúcar y harina de kiwicha). Con referencia al coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), Cornell (2002) citado por Andrade (2012), menciona el uso en reemplazo de R^2 como una medida de bondad de ajuste de la ecuación de regresión a las observaciones experimentales, mencionando que cuando su valor es cercano a 1, el grado de correlación entre los valores observados y predichos por el modelo es alto. En el caso del modelo elegido, el valor de R^2_{adj} es 0,9742, el cual es cercano a 1 por lo que el grado de correlación entre los valores observados y predichos es alto.

En el Anexo 6 se detallan los resultados del análisis de varianza (ANOVA). Asimismo, se presentan los resultados de la suma de cuadrados utilizando en análisis de varianza. En este se observa que la suma de cuadrados del error puro es menor que la suma de cuadrados total, lo cual evidencia que el experimento tuvo una buena reproducibilidad. Para lo cual Cornell (2002) citado por Ortiz (2015) señala que esta interpretación es válida, ya que para la determinación de la suma de cuadrados del error puro se utilizan repeticiones consideradas en el diseño experimental.

4.3.2. EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE LA ACTIVIDAD DE AGUA

Se analizó la influencia de los componentes de la mezcla estudiados en la actividad de agua del producto final mediante ploteos de la superficie de respuesta (Figuras 12 y 13) y gráfico de trazas (Trazos de Cox) como se ve en la Figura 14.

En las Figuras 12 y 13 se observa que el mayor valor de actividad de agua es de 0,94 (color rojo) y el menor, 0,89 (color azul). También se observa que los componentes con mayor influencia sobre este parámetro son la carne de llama (A) y el azúcar (B).

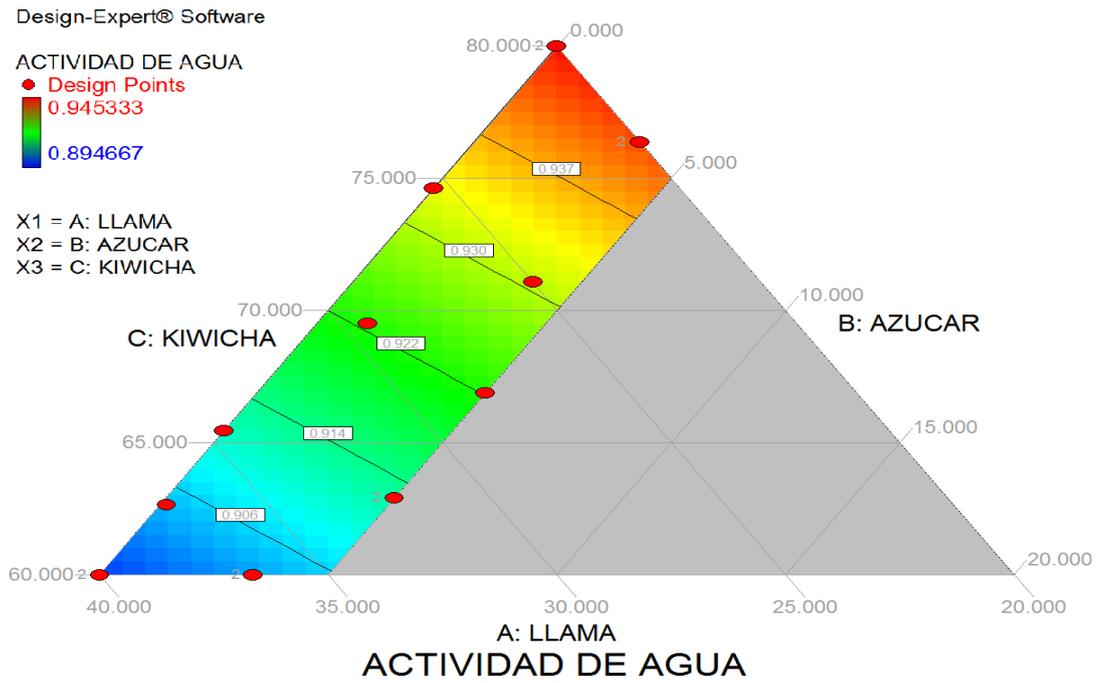


Figura 12: Ploteo de contornos de la actividad de agua de los componentes

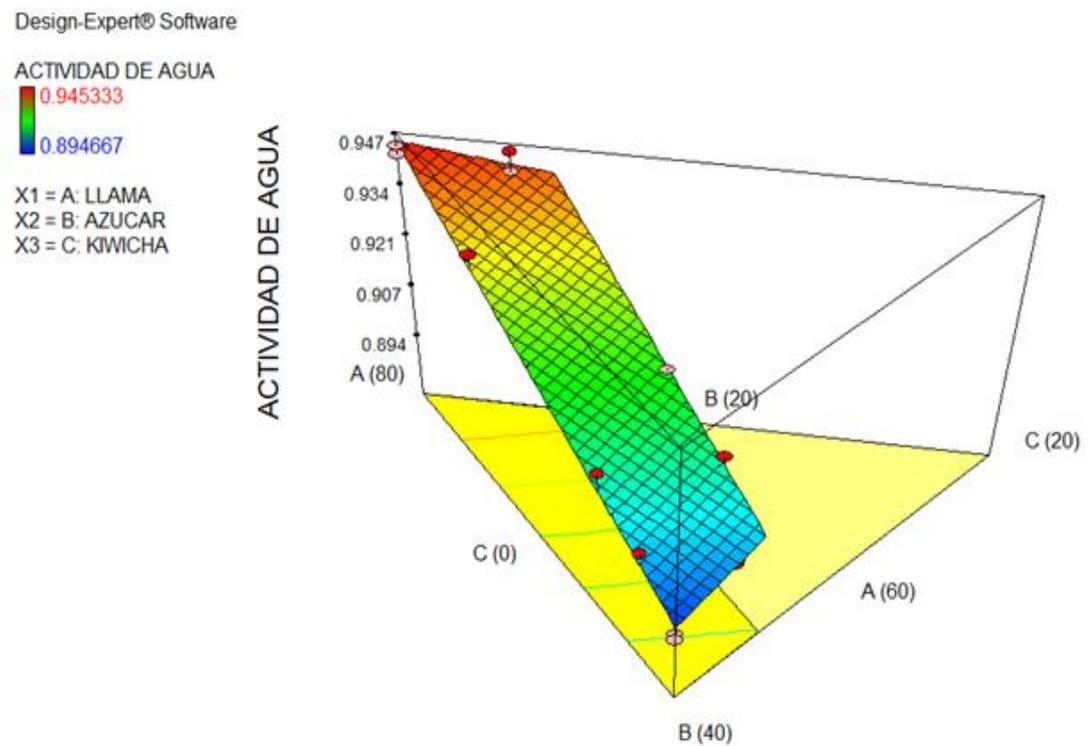


Figura 13: Superficie de respuesta tridimensional de la actividad de agua

En el gráfico de Trazos de Cox (Figura 14) se observa claramente la influencia de la carne de llama (A) y el azúcar (B) en la actividad de agua de la mezcla. A medida que la proporción de carne de llama aumenta, la actividad de agua aumenta en relación directa; caso contrario con el azúcar, en el cual se observa una relación inversamente proporcional. La influencia de la harina de kiwicha (C) en la actividad de agua es prácticamente nula, ya que se observa una línea recta con una mínima pendiente negativa.

No se ha reportado en la literatura el uso de harina de kiwicha en embutidos frescos, pero se han encontrado trabajos que utilizan otras harinas de diversas fuentes como un sustituto parcial de la carne, ya sea para abaratar costos u ofrecer propiedades funcionales y en los cuales se observa la influencia de estos componentes en la actividad de agua del producto. Akwetey *et al* (2012) compararon la actividad de agua de diferentes concentraciones de harina de caupí (frijol castilla) en salchicha, sin obtener diferencias significativas frente a una muestra control. Esto podría indicar que la adición de harinas no influye en la actividad de agua de los embutidos, en concordancia con los resultados obtenidos en este trabajo.

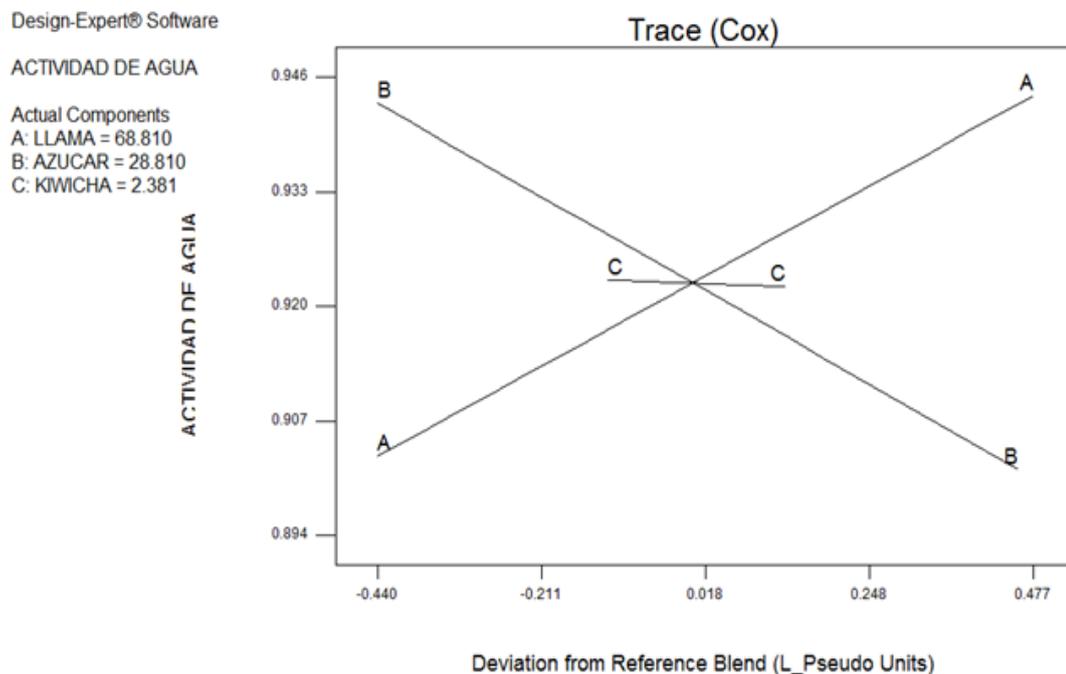


Figura 14: Trazos de Cox de la actividad de agua

Según Arnau y Matas (2004), la butifarra dulce, por el contenido de azúcar y sal, tiene una actividad de agua que suele situarse entre 0,83 y 0,85, la cual es suficiente para frenar el crecimiento de los microorganismos patógenos y evitar la acidificación por las bacterias

lácticas. Se trata pues de uno de los pocos productos cárnicos de humedad intermedia en la gama de frescos y crudos adobados. Puede almacenarse a temperatura ambiente, pero debe mantenerse a una humedad baja para evitar el crecimiento de hongos en superficie. Los resultados obtenidos en este estudio muestran valores de actividad de agua mayores a los mencionados por los autores, por lo que el producto obtenido no podría considerarse dentro de los productos con humedad intermedia como se esperaba. Esto pudo deberse a una diferencia en el proceso de elaboración, ya que Arnau y Matas (2004) mencionan que la mezcla debe dejarse reposar por una semana o más y luego embutir, pero para esta investigación se utilizó el procedimiento proporcionado por Grèbol (2009), el cual menciona que la mezcla se deja reposar por un día y luego se embute; es posible que el tiempo dado para el reposo de la mezcla no fuera suficiente para que el azúcar reduzca la actividad de agua del producto a los niveles esperados. García (2010) observó resultados similares en embutidos secos fermentados bajos en grasa y con adición de fibras de cereales y frutas, en el primer día la actividad de agua estaba alrededor de 0,97, pero al finalizar la fermentación disminuyó hasta 0,86 y 0,84 en algunos casos.

4.4. TEXTURA

4.4.1. ESTABLECIMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el Cuadro 15 se presentan los resultados obtenidos del análisis de perfil de textura correspondiente a cada una de las formulaciones estudiadas.

Con el análisis de perfil de textura se demostró que los componentes de la mezcla no influyeron en los atributos de dureza, cohesividad, gomosidad, masticabilidad y elasticidad ($R^2=0,30$; $R^2=0,32$; $R^2=0,57$; $R^2= 0,41$; $R^2=0,55$; respectivamente), el único que presentó diferencias significativas fue la adhesividad, por lo que solo se continuó utilizando los resultados de este atributo en los siguientes pasos de la metodología.

Cuadro 15: Resultados del análisis de perfil de textura (TPA) de la mezcla de componentes de la butifarra dulce en las formulaciones experimentales

Nº	Dureza	Cohesividad	Gomosidad	Masticabilidad	Adhesividad	Elasticidad
	(N)	-	(N)	(Nmm)	(Ns)	(mm)
1	118,72 ± 9,9	0,47 ± 0,032	45,33 ± 17,5	465,26 ± 27,6	-0,379 ± 0,31	9,300 ± 0,59
2	87,22 ± 10,4	0,481 ± 0,027	38,08 ± 9,1	311,32 ± 73,3	-0,671 ± 0,44	8,183 ± 0,05
3	107,38 ± 8,9	0,569 ± 0,044	57,16 ± 2,5	439,90 ± 36,7	-0,107 ± 0,05	8,413 ± 0,62
4	98,58 ± 1,7	0,458 ± 0,064	34,69 ± 0,7	360,46 ± 3,8	-0,008 ± 0,01	10,22 ± 0,17
5	87,34 ± 1,3	0,574 ± 0,009	50,12 ± 0,4	391,89 ± 10,4	-0,080 ± 0,05	7,960 ± 0,42
6	121,91 ± 1,2	0,614 ± 0,015	67,84 ± 1,9	621,72 ± 10,3	-0,003 ± 0,01	9,297 ± 0,02
7	86,49 ± 7,8	0,482 ± 0,038	41,05 ± 2,8	325,98 ± 8,8	-0,308 ± 0,24	8,157 ± 0,28
8	78,75 ± 0,9	0,526 ± 0,039	41,09 ± 2,2	336,33 ± 13,1	-0,883 ± 0,39	6,250 ± 0,43
9	124,71 ± 1,7	0,541 ± 0,001	68,81 ± 4,5	568,98 ± 9,9	0,000 ± 0,00	8,383 ± 0,39
10	73,90 ± 0,9	0,530 ± 0,009	38,84 ± 2,9	281,42 ± 10,8	-0,002 ± 0,00	7,370 ± 0,23
11	56,97 ± 0,7	0,664 ± 0,027	45,03 ± 7,9	265,37 ± 7,9	-0,003 ± 0,00	6,567 ± 0,21
12	57,94 ± 6,1	0,674 ± 0,044	26,83 ± 8,6	157,38 ± 16,2	-0,059 ± 0,05	5,533 ± 0,38
13	65,59 ± 0,9	0,350 ± 0,028	24,13 ± 2,8	153,98 ± 4,3	-0,129 ± 0,12	8,400 ± 0,22
14	127,47 ± 10,8	0,475 ± 0,006	61,49 ± 5,6	514,66 ± 32,8	0,000 ± 0,00	9,123 ± 0,46
15	47,26 ± 2,3	0,379 ± 0,036	18,15 ± 0,4	113,06 ± 7,8	-1,046 ± 0,19	6,303 ± 0,46
16	46,91 ± 0,8	0,371 ± 0,007	17,72 ± 0,4	108,18 ± 11,1	-1,290 ± 0,20	6,173 ± 0,12

*Resultados obtenidos a partir de un promedio de tres repeticiones.

Los valores observados de la adhesividad fueron sometidos al análisis de regresión múltiple, con el cual el modelo se ajustó a una ecuación cuadrática:

$$\hat{y} = +0,004\ 271\ 21*A + 0,015\ 775*B - 6,853\ 51*C - 0,000\ 395\ 303*A*B + 0,071\ 744*A*C + 0,066\ 182*B*C$$

Donde \hat{y} representa la adhesividad de la mezcla de componentes estimada, mientras que A, B y C corresponden a los porcentajes de carne de llama, azúcar y harina de kiwicha, respectivamente.

El valor- p (o p -value) prueba si el modelo es significativo o aporta elementos en la explicación de la respuesta al compararlo con el modelo anterior de más bajo orden (Gutiérrez y De la Vara, 2008). Cornell (2002) citado por Ortiz (2015) menciona que cuando el valor p es mayor a 0,05 o 0,01 (dependiendo del nivel de significación escogido), el coeficiente asociado a dicho valor es no significativo. En el caso del modelo analizado, se puede afirmar que los coeficientes son significativos, ya que el valor p es, a un nivel de confianza del 95 por ciento, menor a 0,0001 como se muestra en el Anexo 7.

De manera adicional, para la selección del modelo se tiene el criterio de los coeficientes de determinación: R^2 y R^2_{adj} (coeficiente de determinación ajustado), los cuales muestran el porcentaje de la variación en y_i que es explicada por el correspondiente modelo (Gutiérrez y De la Vara, 2008). De acuerdo a lo mencionado, el coeficiente de determinación (R^2) para el modelo seleccionado es 0,9135, por lo tanto 91,35 por ciento de la variación de la respuesta es explicada por el modelo seleccionado; con ello se puede afirmar que el modelo es significativo y suficiente para representar la relación existente entre la respuesta (adhesividad) y las variables estudiadas (carne de llama, azúcar y harina de kiwicha). Con referencia al coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), Cornell (2002) citado por Andrade (2012), menciona el uso en reemplazo de R^2 como una medida de bondad de ajuste de la ecuación de regresión a las observaciones experimentales, mencionando que cuando su valor es cercano a 1, el grado de correlación entre los valores observados y predichos por el modelo es alto. En el caso del modelo elegido, el valor de R^2_{adj} es 0,8703, el cual es cercano a 1 por lo que el grado de correlación entre los valores observados y predichos es alto.

En el Anexo 7 se detallan los resultados del análisis de varianza (ANOVA). Asimismo, se presentan los resultados de la suma de cuadrados utilizando en análisis de varianza. En este se observa que la suma de cuadrados del error puro es menor que la suma de cuadrados total, lo cual evidencia que el experimento tuvo una buena reproducibilidad. Para lo cual Cornell (2002) citado por Ortiz (2015) señala que esta interpretación es válida, ya que para la determinación de la suma de cuadrados del error puro se utilizan repeticiones consideradas en el diseño experimental.

4.4.2. EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE LA ADHESIVIDAD

Se analizó la influencia de los componentes de la mezcla estudiados en la adhesividad del producto final mediante ploteos de la superficie de respuesta (Figuras 15 y 16) y gráfico de trazas (Trazos de Cox) como se ve en la Figura 17.

En las Figuras 15 y 16 se observa que el mayor valor de adhesividad es de 0 (color rojo) y el menor, -1,289 (color azul). También se observa que los componentes con mayor influencia sobre este parámetro son la carne de llama (A) y el azúcar (B).

En los trazos de Cox de la adhesividad se observa que el trazo de la carne de llama (A) posee una pendiente positiva, por lo que a mayor cantidad de esta en la mezcla el valor de la adhesividad aumenta. Si bien el valor numérico de la adhesividad aumenta, esta al ser un área de la curva de TPA por debajo del eje de las abscisas posee un valor negativo, por lo que el mayor valor será 0; es por ello que se puede afirmar que la proporción de carne de llama en la mezcla es inversamente proporcional a la adhesividad del producto. En el caso del azúcar (B), a medida que aumenta su proporción en la mezcla, el valor de la adhesividad tiende a disminuir, por lo que, debido a lo explicado anteriormente, este atributo de la textura tiende a aumentar. La influencia de la harina de kiwicha es en la mayor parte del trazo similar a la del azúcar, pero con una pendiente más pronunciada; también este comportamiento indicaría que un mínimo cambio en la proporción de harina de kiwicha puede repercutir en la adhesividad de la mezcla.

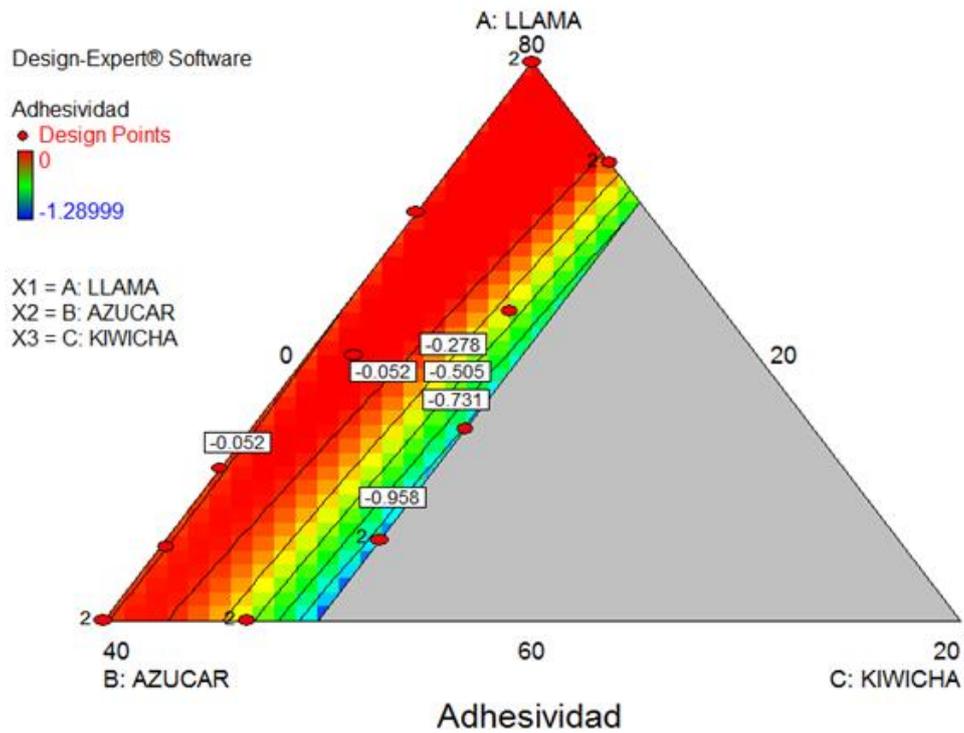


Figura 15: Ploteo de contornos de la adhesividad de los componentes

Design-Expert® Software

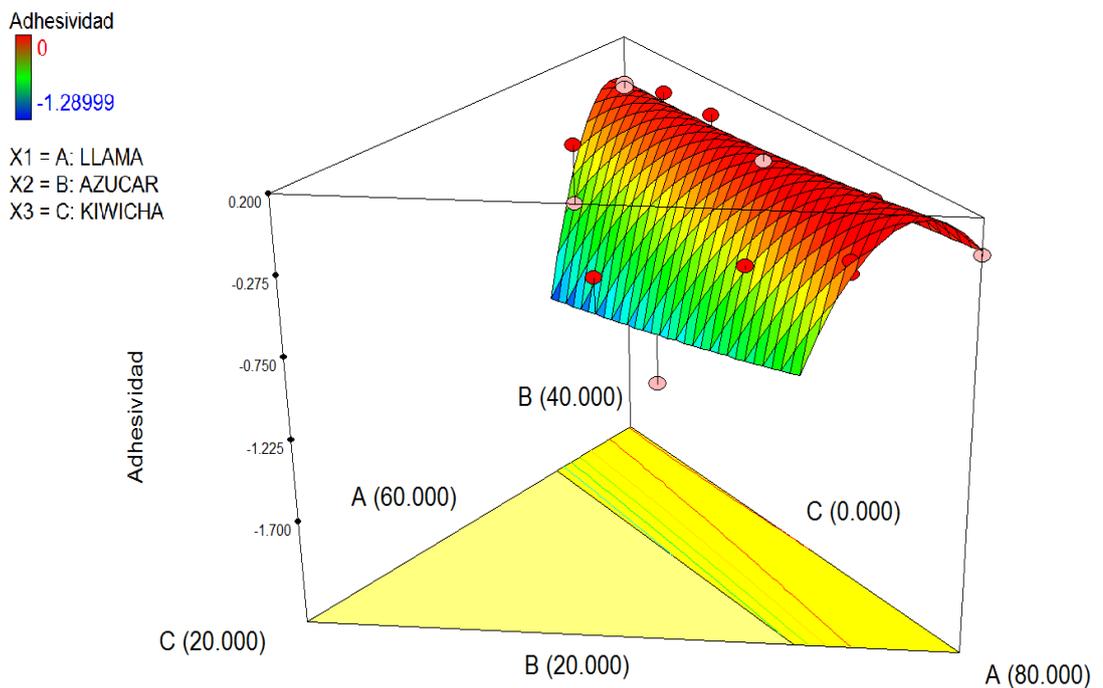


Figura 16: Superficie de respuesta tridimensional de la adhesividad

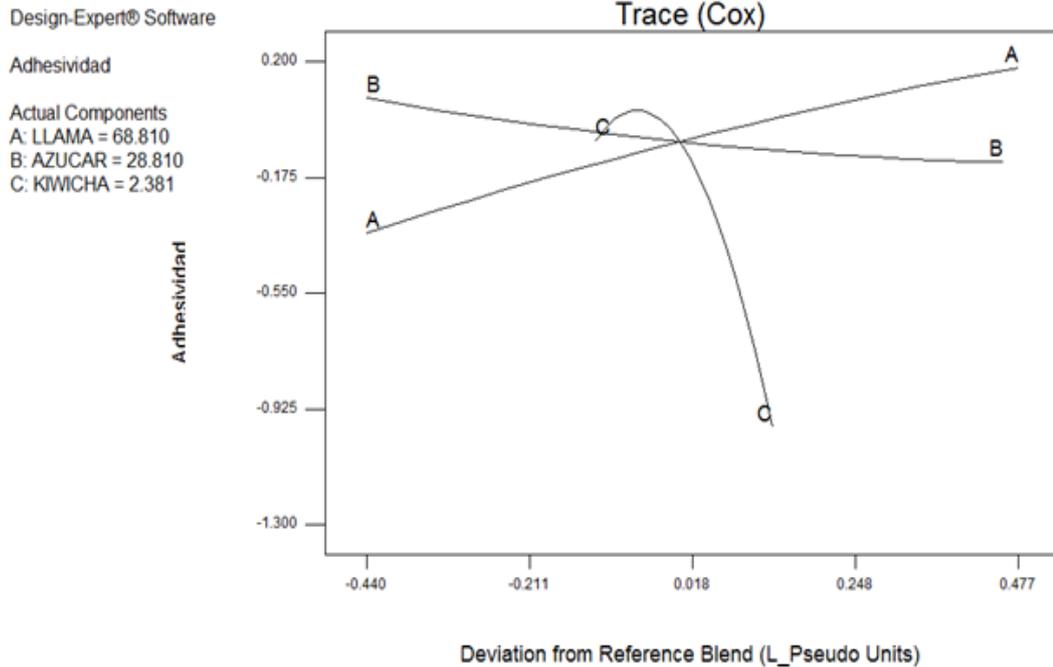


Figura 17: Trazos de Cox de la adhesividad

Diversos autores han estudiado la influencia de añadir proteína no cárnica, carbohidratos fibras de cereales o frutas en la textura de los productos cárnicos, generalmente embutidos. Este interés se debe a que cada vez se buscan elaborar productos más saludables y en el caso de los productos cárnicos se opta por reducir la cantidad de grasa en estos; el problema de reducir la grasa es que este componente influye en el sabor, textura y apariencia del producto, por lo que al haber en menor cantidad puede generar una menor aceptabilidad por parte del consumidor. Utilizar estos productos como reemplazo de la grasa también generar beneficios nutricionales y funcionales al producto.

Yang *et al.* (2007) añadió harina de avena y tofu en salchichas bajas en grasa y evaluó su influencia en su perfil de textura, y en sus resultados resalta la mejora de la textura del producto debido a la reducción de la dureza, así como de la gomosidad, masticabilidad y fracturabilidad. Los autores también mencionaron que la disminución de la dureza pudo estar asociada a la capacidad de ligar agua de los componentes añadidos, pero que algunos autores citados señalan que estos componentes pueden generar el efecto contrario, por lo que puede depender de otros factores como el tipo de proteína, carbohidrato o fibra añadida y/o su concentración.

García (2002) evaluó la influencia de reducir la cantidad de grasa y adicionar fibra de cereales (avena y trigo) en el perfil de textura de un embutido seco fermentado. Sus resultados mostraron que los productos con 3 por ciento de fibra añadida fueron más duros, menos elásticos y menos adhesivos y estos resultados se correlacionaban con el análisis sensorial; por otra parte, los productos con 1,5 por ciento de fibra redujeron su elasticidad, adhesividad y masticabilidad, pero esto no se vio reflejado en el análisis sensorial. Estos resultados se asemejan a los obtenidos en este trabajo, ya que a menores concentraciones de harina de kiwicha, la adhesividad del producto tiende a disminuir.

4.5. OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DE VARIABLES RESPUESTA

El objetivo de la optimización es la selección, independientemente de la multiplicidad de soluciones potenciales, de la mejor solución con respecto a algún criterio bien definido (Walters *et al.*, 1999 citados por Nuñez de Villavicencio, 2002).

Como se obtuvieron los modelos matemáticos de las respuestas estudiadas, se procedió a realizar la optimización simultánea de estas. Para optimizar se elaboró una butifarra dulce patrón con carne de cerdo y se midieron las mismas variables respuesta analizadas (color, actividad de agua y perfil de textura), con estos datos (Cuadro 16) se aplicaron restricciones a las variables respuesta.

Cuadro 16: Resultados de los análisis de la butifarra dulce patrón

	Croma (C*)	Actividad de agua	Adhesividad
Patrón	5,36	0,9	-0,026

Mediante el programa *Design-Expert*® 7 se procedió a generar las restricciones en las variables respuesta, de acuerdo a lo presentado en el Cuadro 17, para que el producto se asemeje al patrón. Las tres variables respuesta fueron consideradas con el mismo nivel de importancia al momento de establecer los criterios de optimización.

Cuadro 17: Restricciones para la optimización de la fórmula

Variable	Objetivo	Límite inferior	Límite superior
Carne de llama	En rango	60	80
Azúcar	En rango	20	40
Harina de kiwicha	En rango	0	5
Actividad de agua	Minimizar	0,89	0,95
Croma	En rango	5,28	6
Adhesividad	Objetivo = -0.026	-1,29	0

El programa generó cinco formulaciones óptimas que cumplían con los criterios mencionados, sin embargo, solo la denominada Solución 1 obtuvo la mayor deseabilidad de todas no hallándose otra con un valor cercano a esta. En el Cuadro 18 se muestra la formulación óptima elegida y las variables respuesta estimadas por el programa.

Cuadro 18: Formulación óptima de la butifarra dulce de carne de llama

Solución	Carne (%)	Azúcar (%)	Kiwicha (%)	Actividad de agua	Croma	Adhesividad	Deseabilidad
1	60	38,86	1,14	0,9	5,523	-0,026	0,945

En la Figura 18 se muestra gráficamente el punto óptimo con mayor deseabilidad obtenido en el análisis, también en las Figuras 19, 20 y 21 se visualiza el punto óptimo de actividad de agua, color (croma) y adhesividad, respectivamente; mientras en la Figura 22 se observan los trazos de Cox de la deseabilidad y se ve claramente el punto óptimo considerando la proporción de los componentes presentada en el Cuadro 18.

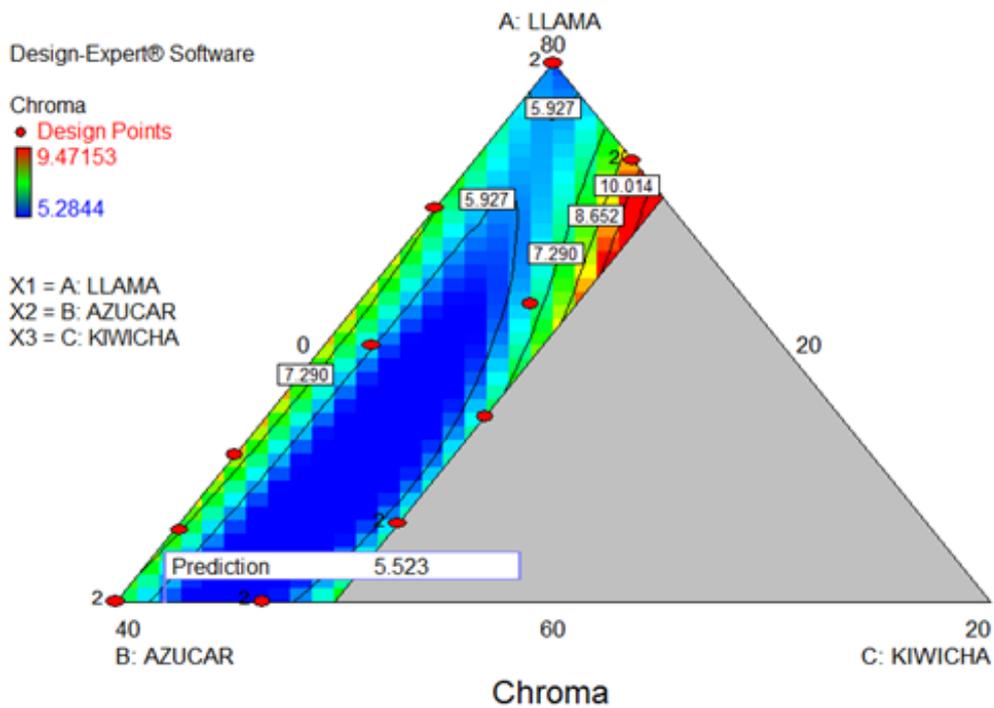


Figura 20: Cromo y punto óptimo de los componentes carne de llama, azúcar y harina de kiwicha

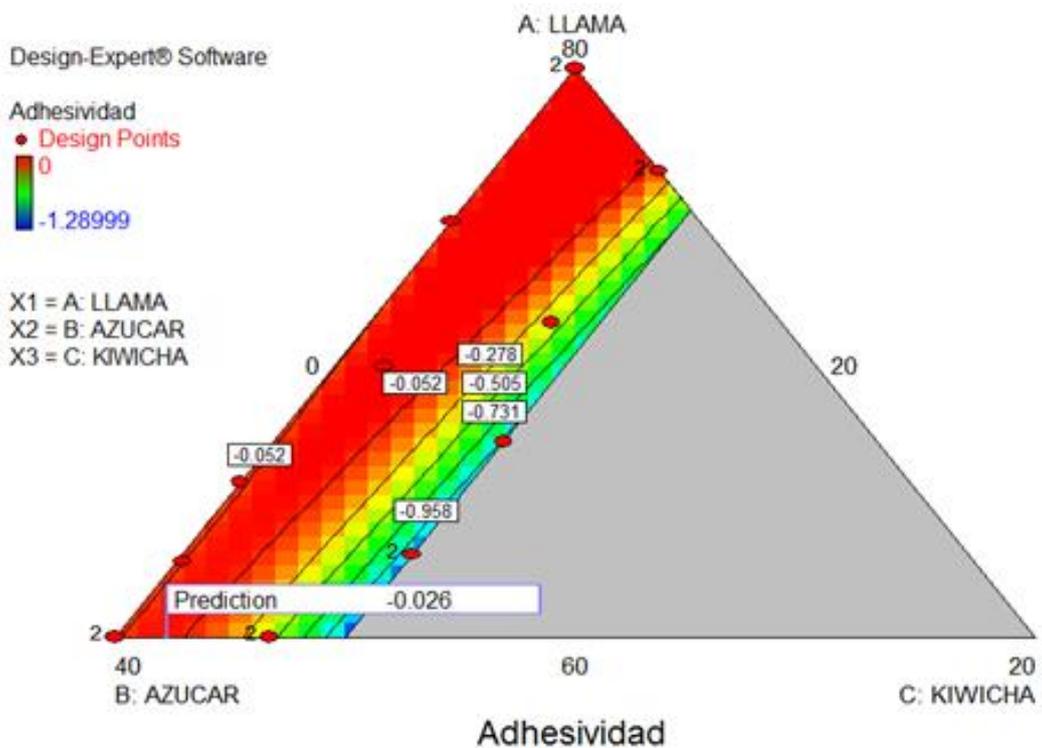


Figura 21: Adhesividad y punto óptimo de los componentes carne de llama, azúcar y harina de kiwicha

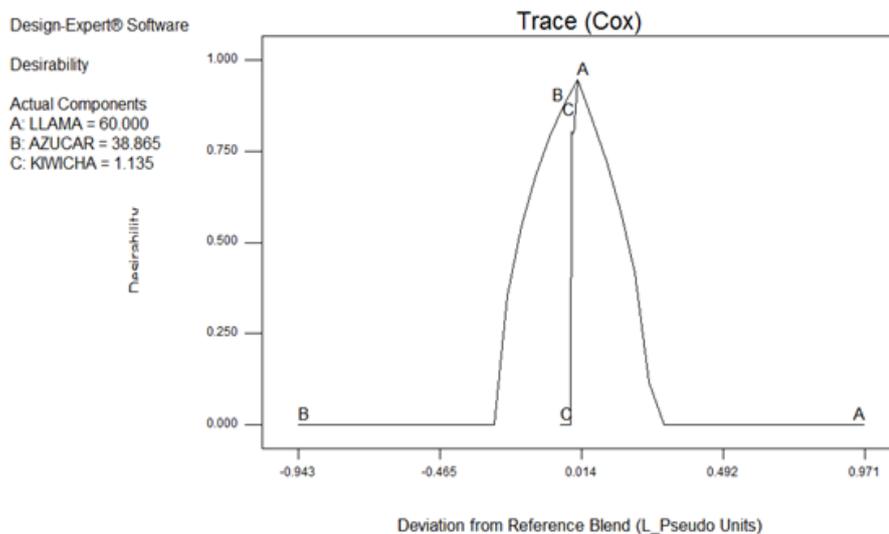


Figura 22: Trazos de Cox de la deseabilidad de la mezcla óptima elegida

4.6. VALIDACIÓN DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA

Una vez obtenida la formulación óptima, se procedió a validar el resultado dado por el programa. Para esto se elaboró una butifarra dulce utilizando la proporción con mayor deseabilidad y se realizaron los análisis de color, actividad de agua y perfil de textura, con esto se compararon los resultados experimentales con los resultados teóricos que obtuvo el modelo y se muestran en el Cuadro 19.

Cuadro 19: Comparación de los resultados teóricos obtenidos con el programa *Design-Expert* y los resultados experimentales

	Croma	Actividad de agua	Adhesividad
Modelo	5,523	0,9	-0,026
Prueba experimental	6,059	0,906	-0,030

Cuadro 20: Rangos de validación de las variables respuesta en el punto óptimo

Respuesta	Predicción	Resultado experimental	Límite inferior	Límite superior
Actividad de agua	0,900	0,906	0,891	0,909
Croma	5,523	6,059	3,716	7,330
Adhesividad	-0,026	-0,030	-0,588	0,536

En el Cuadro 20 se observa que existen ligeras diferencias entre los resultados comparados, esta variación puede deberse a factores propios del proceso y al procedimiento de toma de datos; sin embargo, el programa *Design-Expert*® 7 genera límites de control que son admitidos por el modelo, los cuales se muestran en el Cuadro 20 y según estos, los resultados experimentales se encuentran dentro de los límites admitidos por el modelo, por lo que el mismo se considera validado.

4.7. ANÁLISIS PROXIMAL DE LA FORMULA ÓPTIMA

En el Cuadro 21 se muestran los resultados obtenidos del análisis proximal de la carne de la butifarra dulce de carne de llama y harina de kiwicha, en este se observa que el porcentaje de grasa del embutido obtenido es extremadamente menor a los presentados en las tablas de composición de alimentos de Reyes *et al.* (2009) y Collazos *et al.* (1996) para los diferentes productos cárnicos listados el cual está en un rango de 17 a 45 por ciento, por el contrario, el porcentaje de carbohidratos totales es mayor, ya que en la mayoría son menores al cinco por ciento.

Cuadro 21: Resultados del análisis proximal de la butifarra dulce de carne de llama y harina de kiwicha

Componente	Porcentaje (%)*
Humedad	45,5
Proteína	13,1
Grasa	0,25
Carbohidratos totales	38,3
Cenizas	2,8

*Resultados presentados en base húmeda y obtenidos a partir de un promedio de tres repeticiones.

4.8. ANÁLISIS SENSORIAL

El análisis sensorial de la formulación óptima se llevó a cabo con cien consumidores mediante una prueba de aceptabilidad con escala hedónica de siete puntos, como ya se explicó en la metodología. Todas las personas evaluadas son consumidores (frecuentes o no) de embutidos.

Se realizó el análisis de esta manera, ya que la butifarra dulce al ser un producto nuevo en el mercado peruano no tiene un referente para los consumidores con el cual se pueda comparar y hacer otro tipo de análisis como se realiza en investigaciones con otros productos.

Se evaluaron cuatro atributos sensoriales: color, olor, sabor y textura. Se descartó la aceptabilidad general, ya que muchos de los consumidores no entendían bien el concepto o lo confundían con otro de los criterios evaluados, lo que llevaba a errores.

Para el análisis de los resultados, se le asignaron valores numéricos a cada nivel de la escala, siendo “Me gusta extremadamente” el número uno y “Me disgusta extremadamente” el número siete. En cada característica sensorial evaluada se obtuvo el promedio de los niveles de agrado expresados por los consumidores y se muestran en el Cuadro 22, en este cuadro se observa que el nivel de agrado del color, olor, sabor y textura del producto evaluado es, en promedio, cercano a la calificación de “Me gusta ligeramente”. Estos resultados tienen relación a los resultados presentados en el Cuadro 23 y en las Figuras 23, 24, 25 y 26, en los cuales se muestra la cantidad de jueces que eligió cada nivel de agrado según la característica evaluada y se observa que más del cincuenta por ciento de los jueces optaron por los niveles “Me gusta mucho” y “Me gusta ligeramente”, por lo que se ve una marcada tendencia a que el producto es aceptable para los consumidores.

Cuadro 22: Puntuación general de la prueba de aceptabilidad

	Color	Olor	Sabor	Textura
Promedio	3,13	3,4	3,09	2,57

Cuadro 23: Cantidad de personas que eligieron uno de los niveles de agrado en la escala hedónica de acuerdo a la característica sensorial evaluada

Nivel de agrado	Color	Olor	Sabor	Textura
Me gusta extremadamente	9	4	9	14
Me gusta mucho	23	25	29	42
Me gusta ligeramente	35	24	32	25
No me gusta ni me disgusta	17	28	11	14
Me disgusta ligeramente	11	12	14	3
Me disgusta mucho	5	7	3	1
Me disgusta extremadamente	0	0	2	1
Total	100	100	100	100

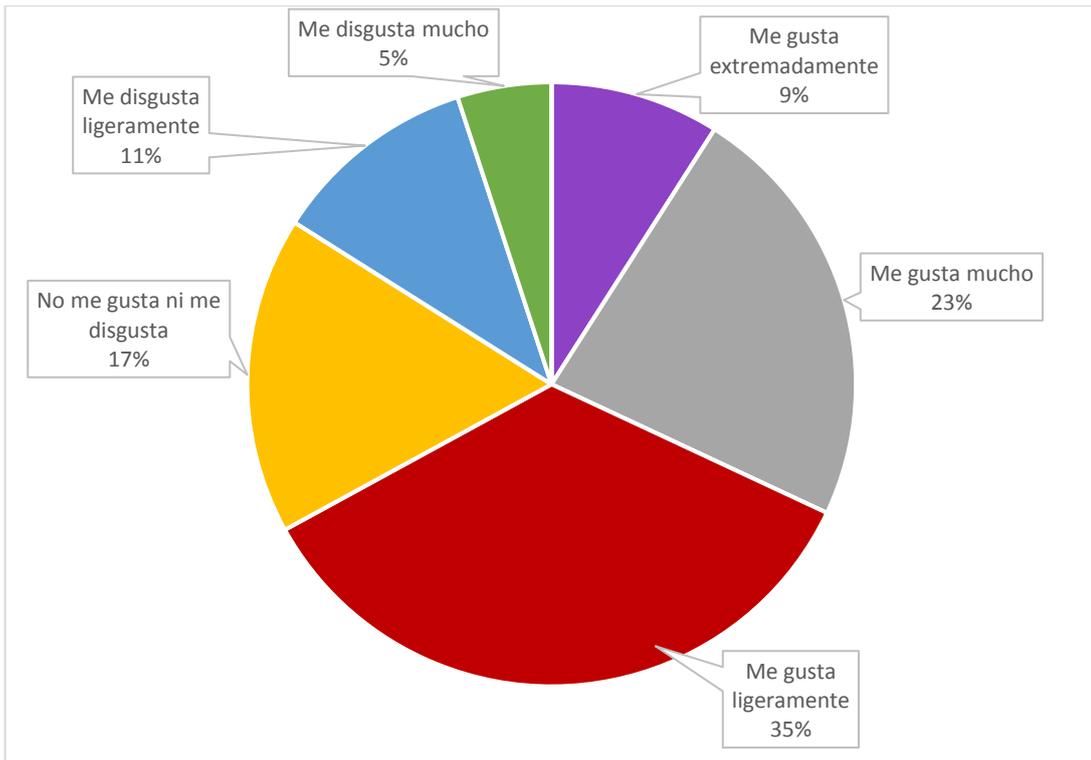


Figura 23: Porcentaje de cada nivel de agrado del color de la butifarra dulce

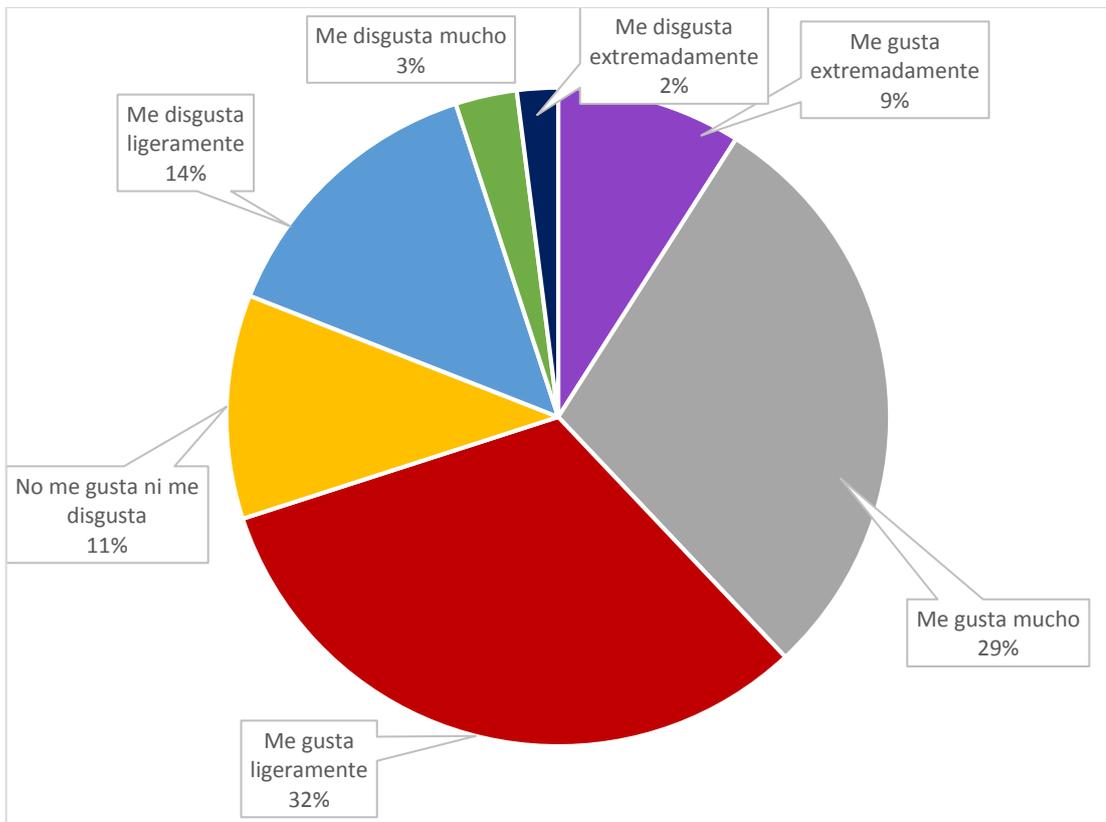


Figura 24: Porcentaje de cada nivel de agrado del sabor de la butifarra dulce

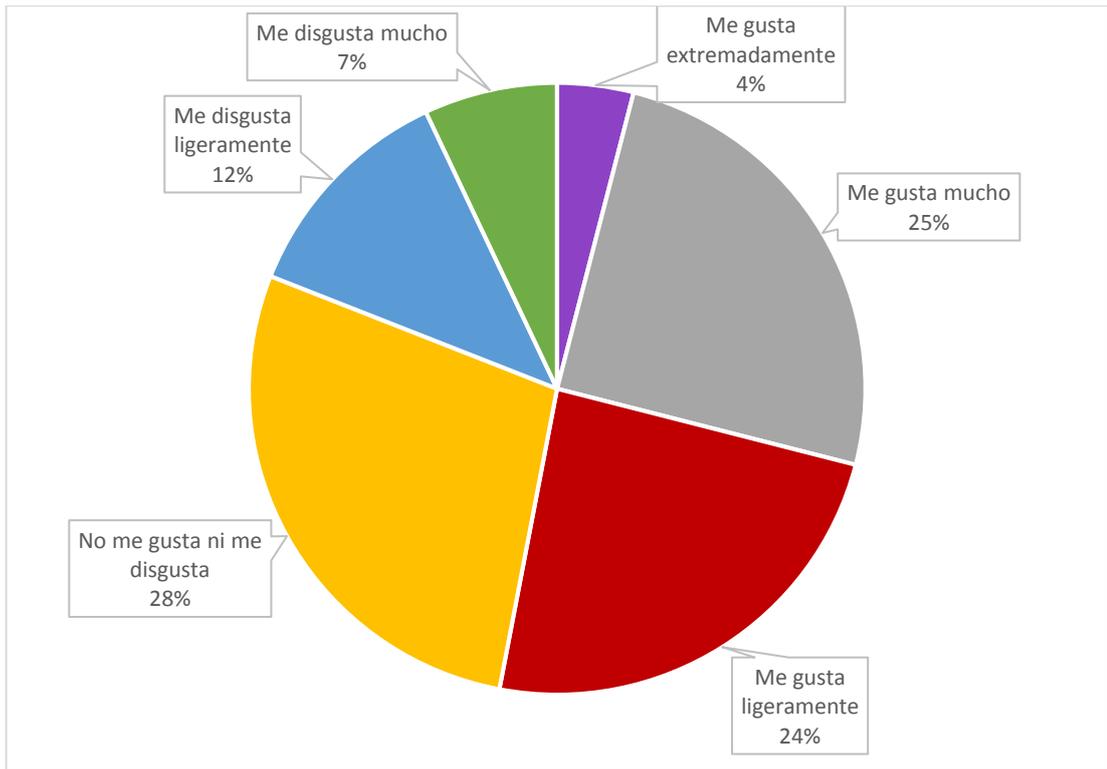


Figura 25: Porcentaje de cada nivel de agrado del olor de la butifarra dulce



Figura 26: Porcentaje de cada nivel de agrado de la textura de la butifarra dulce

V. CONCLUSIONES

1. La formulación óptima de la butifarra dulce con carne de llama fue de 60 por ciento de carne de llama, 38,86 por ciento de azúcar y 1,14 por ciento de harina de kiwicha.
2. El producto obtenido de la formulación óptima tuvo una actividad de agua de 0,945, un valor de saturación de color (croma) de 5,523 y una adhesividad de -0,026.
3. Las variables respuesta color (croma), actividad de agua y adhesividad se ajustaron a los modelos cúbico especial ($R^2=0,9268$), lineal ($R^2=0,9776$) y cuadrático ($R^2=0,9135$), respectivamente.
4. Los componentes más influyentes en las variables respuesta fueron, en el caso del color la carne de llama y la harina de kiwicha y para la actividad de agua y adhesividad, el azúcar y la carne de llama.
5. El producto obtenido presenta un bajo contenido de grasa (0,25 por ciento) y es sensorialmente aceptado, en especial en los atributos de textura y sabor.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar pruebas variando el tiempo de reposo de la mezcla para minimizar la actividad de agua del producto y lograr que este sea un alimento de humedad intermedia.
2. Investigar la utilización de otras materias primas propias del país en este producto u otros productos cárnicos y sus posibles aportes nutricionales, tecnológicos o funcionales.
3. Evaluar la vida útil del producto estudiado y la influencia del empaque sobre esta.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adeyeye, A.; Oyawale, F. 2008. Mixture experiments and their applications in welding flux design. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 30(4): 319-326.
- AESAN (Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición). 2012. Manual de buenas prácticas de elaboración (en línea). España. Consultado 05 dic. 2015. Disponible en http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/docs/documentos/noticias/2014/MANUAL_GRASA_SAL.pdf
- Akwetey, W., Ellis, W., Oduro, I. 2012. Using Whole Cowpea Flour (WCPF) in Frankfurter-Type Sausages. *Journal of Animal Production Advances*. 2(10): 450-455.
- Ali, M., Kim, G., Seo, H., Jung, E., Kim, B., Yang, H., Joo, S. Possibility of making low-fat sausages from suck meat with addition of rice flour. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences* 24(3):421-428.
- AMSA (American Meat Science Association). 2012. Meat Color Measurement Guidelines. American Meat Science Association (en línea). Estados Unidos. Consultado 03 dic. 2015. Disponible en http://www.meatscience.org/uploadedFiles/Publications_Resources/AMSA%20Meat%20Color%20Guidelines%20Second%20Edition.pdf
- Andrade, David. 2012. Efecto de inclusión de nuez común (*Juglans regia* L.) y transglutaminasa en la elaboración de un reestructurado de carne de alpaca. Tesis Mag. Sc. Tecnología de Alimentos. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 115 p.
- A.O.A.C. 2007. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 18 ed. Washington, Estados Unidos.

- Arnau, J.; Matas, J. 2004. La “*botifarra dolça*” y el “*fuet dolç*”: Sistemas de elaboración y formas de consumo. *Revista Eurocarne* 126(14):129-131.
- Arnau, J.; Serra, X., Comaposada, J.; Gou, P., Garriga, M. 2007. Technologies to shorten the drying period of dry-cured meat products. *Meat Science* 77 (2007): 81–89.
- Ayala, G. 2004. Aportes de los cultivos andinos a la nutrición humana (en línea). Perú, Universidad Mayor de San Marcos. Consultado 03 dic. 2015. Disponible en http://www.lapanadera.pe/uploads/4/2/1/8/4218042/07_aporte_cultivos_andinos_nutric_human.pdf
- Badui, Salvador. 2006. *Química de los alimentos*. 4 ed. México, Pearson Educación de México. 736p.
- Bravo, H. 2008. Estudio sobre las propiedades organolépticas de la carne de llama y su aplicación en la gastronomía como sustituto de la carne roja (en línea). Ecuador, Universidad Tecnológica Equinoccial. Consultado 01 dic. 2015. Disponible en http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/9737/1/34180_1.pdf
- Bejarano, Martin. 2001. *Enciclopedia de la Carne y de los Productos Cárnicos*. España, Martín & Macías. 1697 p.
- Cano L.; Rosadio R.; Maturrano L.; Dávalos R.; Wheeler J. 2012. Caracterización fenotípica y análisis de ADN mitocondrial de llamas de Marcapomacocha, Perú (en línea). Perú. Consultado 01 dic. 2015. Disponible en <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/veterinaria/article/view/920/745>
- Collazos, C., White, P., White, H., Viñas, E., Alvistur, E., Urquieta, R., Vásquez, G., Días, T., Quiroz, A., Roca, A., Hegsted, D., Bradfield, R., Herrera, N., Faching, A., Robles, N., Hernández, F., Arias, M. 1996. *Tablas peruanas de composición de alimentos*. 7 ed. Perú, Ministerio de Salud.
- CONACS (Consejo Nacional de Camélidos Sudamericanos). 2005. *La Llama (Lama glama)* (en línea). Perú. Consultado 01 dic. 2015. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_de_camelidos/Llamas/25-llama.pdf

- CONCYTEC (Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica, PE). 2011. Carnes de Camélidos (Llama y Alpaca). Proyecto Desarrollo del Corredor Puno-Cusco (en línea). Perú. Consultado 07 dic. 2015. Disponible en http://www.concytec.gob.pe/portalsinacyt/images/stories/corcytecs/puno/Ventajas_Camelidos.pdf
- Cornell, J.A. 2002. Experiments with Mixtures: Designs Models and the Analysis of Mixture Data (en línea). 3 ed. Nueva York, Estados Unidos, John Willey & Sons. 649p. Consultado 07 mar. 2016. Disponible en https://books.google.com.pe/books?id=piWpe3yEAjYC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Cristofanelli, S., Antonini, M., Torres, D., Polidori, P., Renieri, C. 2004. Meat and carcass quality from Peruvian llama (*Lama glama*) and alpaca (*Lama pacos*). *Meat Science* 66: 589–593.
- De Lamo, D. 2011. Camélidos sudamericanos. Historia, usos y sanidad animal (en línea). Argentina, Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria. Consultado 01 dic. 2015. Disponible en <http://www.senasa.gov.ar/Archivos/File/File4027-manual3.pdf>
- De la Ossa, Y.; Rivera, C. 2012. Análisis comparativo del perfil de textura de los quesos frescos de cabra y vaca, con relación al contenido de grasa y tiempo de almacenamiento. Tesis Ing. de alimentos. Colombia, Universidad de Cartagena. 122p.
- Del Greco, N. 2010. Estudio sobre tendencias de consumo de alimentos (en línea). Perú, Ministerio de Salud. Consultado 06 dic. 2015. Disponible en <http://bvs.minsa.gob.pe/local/minsa/2603.pdf>.
- Espinosa, P.; Villacrés, E.; Bautista, C.; Espín, S. 1998. El uso del análisis sensorial para medir la aceptación de clones promisorios de papa (en línea). Ecuador, Ediciones Abya-Yala. Consultado 03 dic. 2015. Disponible en http://books.google.com.pe/books?id=HCxPZ_GyVs0C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.

- Espinoza, J., García, T., Acosta, M. 2006. Evaluación de los factores que inciden en el comportamiento reológico de una suspensión de esmalte para baldosas (en línea). Revista Ingeniería UC 13(1):26-35. Consultado 04 mar. 2016. Disponible en: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v13n1/13-1-3.pdf>
- FAO (Organización De Las Naciones Unidas Para La Agricultura Y La Alimentación). 2005. Situación actual de los camélidos sudamericanos en Perú (En línea). Perú. Consultado 01 dic. 2015. Disponible en http://tarwi.lamolina.edu.pe/~emellisho/zootecnia_archivos/situacion%20alpcas%20peru.pdf.
- Fennema, O. 2000. Química de los alimentos. 2 ed. España, Editorial Acribia. 1258p.
- García, M., Dominguez, R., Galvez, M., Casas, C., Selgas, M. 2002. Utilization of cereal and fruit fibres in low fat dry fermented sausages. Meat Science 60: 227–236.
- Gimeno, O., Ansorena, D., Astiasarán, I., Bello, J. 2000. Characterization of chorizo de Pamplona: instrumental measurements of colour and texture. Food Chemistry 69:195-200.
- Gómez, R.; Carmona, MA.; Fernández-Salguero, J. 1991. Estudio de los alimentos de humedad intermedia españoles. I. Actividad del agua y pH. España, Universidad de Córdoba. Consultado 7 ene. 2016. Disponible en: <http://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/3772/04-1993-09.pdf?sequence=1>.
- Grèbol, Narcís. 2008. Nuevas Tecnologías. Quinta Reunión de la Sociedad Española de Seguridad Alimentaria. España. Consultado 3 dic. 2015.
- Grèbol, N. 2009. Butifarra dulce (correo electrónico). Girona, España, CENTA.
- Gutiérrez, H.; De la Vara, R. 2008. Análisis y diseño de experimentos. 2 ed. México, McGraw-Hill/Interamericana Editores. 564 p.
- Honikel, K. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat (en línea). Meat Science 49 (4): 447-457. Consultado 03 dic. 2015. Disponible

- en <http://es.scribd.com/doc/168362037/Honikel-1998-Reference-Methods-for-the-Assessment-of-Physical-in-Meat>.
- Jiménez, F.; Carballo, J. 1989. Principios básicos de elaboración de embutidos (en línea). España, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Consultado 03 dic. 2015. Disponible en http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1989_04.pdf.
- Mamani-Linares, L.; Gallo, C. 2013. Meat quality attributes of the *Longissimus lumborum* muscle of the Kh'ara genotype of llama (*Lama glama*) reared extensively in northern Chile. Chile. Meat Science 94: 89–94.
- Mateo, J.; Salvá, B.; Ramos, D.; Arenas, R.; Caro, I.; Díez, A.; Castro, A.; Fernández, D.; Moreno, C.; Romero, M.; Encina, C. 2011. Manual de elaboración de diversos productos cárnicos de alpaca apropiados para la zona andina (Perú) (en línea). Editora Bettit Karim Salvá Ruiz. España. Consultado 07 dic. 2015. Disponible en https://books.google.com.pe/books?id=Zm3fKeGeQ9gC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.
- Ministerio de Agricultura. 2011. Producción pecuaria e industria avícola 2010 (en línea). Perú. Consultado 01 dic. 2015. Disponible en [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/659B60D9CC174973052579800078A4F7/\\$FILE/2010-PRODUCCION-PECUARIA.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con3_uibd.nsf/659B60D9CC174973052579800078A4F7/$FILE/2010-PRODUCCION-PECUARIA.pdf).
- Muthia, D.; Nurul, H.; Noryati, I. 2010. The effects of tapioca, wheat, sago and potato flours on the physicochemical and sensory properties of duck sausage. International Food Research Journal 17: 877-884.
- NIST (National Institute of Standards and Technology)/SEMATECH (Semiconductor Manufacturing Technology). 2012. e-Handbook of Statistical Methods (en línea). Estados Unidos. Consultado 10 dic. 2015. Disponible en: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/>.
- Núñez de Villavicencio, M. 2002. Optimización de múltiples respuestas por el método de la función de conveniencia para un diseño de mezclas (en línea). Cuba, Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia. Revista Investigación Operacional

- 23(1). Consultado 10 ene. 2015. Disponible en: <https://rev-inv-ope.univ-paris1.fr/files/23102/IO-23102-8.pdf>.
- Ortiz, R. 2015. Efecto de una mezcla de hidrocoloides sobre la fuerza de gel, sinéresis y costos y su aplicación en *hot dog*. Tesis Ing. Industrias Alimentarias. Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 95 p.
- Petersson, K.; Godard, O.; Eliasson, A.; Tornberg, E. 2012. The effects of cereal additives in low-fat sausages and meatballs. Part 1: Untreated and enzyme-treated rye bran. *Meat Science* 96: 423-428.
- Polidori, P.; Renieri, C.; Antonini, M.; Lebboroni, G. 2007. Llama Meat Nutritional Properties. Italia, Università di Camerino.
- Ramírez-Navas, J. 2012. Análisis Sensorial: Pruebas orientadas al consumidor (en línea). Colombia, Universidad del Valle. *ReCiTeIA* 12(1): 87-90. Consultado 03 dic 2015. Disponible en http://books.google.com.pe/books?id=4_TNm-72U7MC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false.
- Rebatta, M. 2014. Revalorización de la carne de ovino adulto mediante la elaboración de un cabanossi con inclusión de quinua y máchica. Tesis Mag. Sc. Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 107 p.
- Repo de Carrasco, R.; Encina, C. 2008. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: Quinua (*Chenopodium quinoa*), Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) (en línea). *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 74(2): 85-99. Consultado 03 dic. 2015. Disponible en <http://sqperu.org.pe/wp-content/uploads/2009/09/revista-sociedad-quimica-N74-n2-PDF.pdf>.
- Reyes, M.; Gómez-Sánchez, I.; Espinoza, C.; Bravo, F.; Ganoza, L. 2009. Tablas peruanas de composición de alimentos (en línea). 8 ed. Perú, Instituto Nacional de Salud. Consultado 03 dic. 2015. Disponible en <http://www.rvcta.org/Imagenes/TablasPeruanasDeComposicionDeAlimentos.pdf>.
- Rosenthal, A. 2001. Textura de los alimentos. Medida y percepción. Editorial Acribia. 299 p.

- Roudot, A. 2004. Reología y análisis de la textura de los alimentos. Editorial Acribia. 220 p.
- Schmiele, M., Mascarenhas, M., Barretto, A., Pollonio, M. 2015. Dietary fiber as fat substitute in emulsified and cooked meat model system. Food Science and Technology 61: 105-111.
- Szcesniak, A. 1973. Instrumental methods of texture measurements. Journal Texture Measurements of Foods 1973: (71 – 108).
- Tetra Pak. 2014. Tendencias de consumo de alimentos y bebidas para el 2014 (en línea). Colombia. Consultado 07 dic. 2015. Disponible en: <http://www.tetrapak.com/co/about-tetra-pak/news/tendencias-de-consumo-de-alimentos-y-bebidas-para-el-2014>.
- Yang, H., Choi, S., Jeon, J., Park, G., Joo, S. 2007. Textural and sensory properties of low fat pork sausages with added hydrated oatmeal and tofu as texture-modifying agentes. Meat Science 75: 283–289.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Cartilla de selección de panelistas

Nombre _____ Edad _____ Sexo ____ Fecha _____

¿Usted consume / ha consumido embutidos? No () Sí ()

¿Con qué frecuencia? _____

¿Qué le agrada de los embutidos?

☺ ¡¡¡Gracias!!!

ANEXO 2: Cartilla de evaluación sensorial

Nombre: _____ **Fecha:** _____

INSTRUCCIONES:

- Pruebe el producto que se presenta y señale con una cruz su grado de aceptabilidad.

	Color	Olor	Sabor	Textura
Me gusta extremadamente				
Me gusta mucho				
Me gusta ligeramente				
No me gusta ni me disgusta				
Me disgusta ligeramente				
Me disgusta mucho				
Me disgusta extremadamente				

COMENTARIOS: _____

☺ ¡Gracias!

ANEXO 3: Proceso de elaboración de butifarra dulce con carne de llama y harina de kiwicha



Limpieza y deshuce de la carne de llama.



Molienda de la carne de llama.



Mezcla de la carne, azúcar y harina de kiwicha.

MUESTRA PATRÓN



MUESTRA CON CARNE DE LLAMA



Comparación de la butifarra dulce cruda patrón y la elaborada con carne de llama.



MUESTRA PATRÓN



MUESTRA CON CARNE DE LLAMA

Comparación de la butifarra dulce cocida patrón (carne de cerdo) y la elaborada con carne de llama y harina de kiwicha.

ANEXO 4: Análisis instrumentales



a) Análisis de perfil de textura.



b) Análisis de color.

ANEXO 5: Resultados del análisis de varianza y de la suma de errores cuadrados del color.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrada	Valor F	Valor p Prob > F	Resultado
Modelo	24,48	6	4,08	18,98	0,0001	Significativo

Fuente	Suma de cuadrados
Modelo	24,48
Falta de ajuste	1,47
Error puro	0,46
Error total	26,41

ANEXO 6: Resultados del análisis de varianza y de la suma de errores cuadrados de la actividad de agua.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrada	Valor F	Valor p Prob > F	Resultado
Modelo	0,004 432	2	0,002 216	284,06	< 0,0001	Significativo

Fuente	Suma de cuadrados
Modelo	0,004 43
Falta de ajuste	0,000 068 58
Error puro	0,000 032 83
Error total	0,004 533

ANEXO 7: Resultados del análisis de varianza y de la suma de errores cuadrados de la adhesividad.

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrada	Valor F	Valor p Prob > F	Resultado
Modelo	2,49	5	0,50	21,13	< 0,0001	Significativo

Fuente	Suma de cuadrados
Modelo	2,49
Falta de ajuste	0,15
Error puro	0,082
Error total	2,72