

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



“ELABORACIÓN DE BUTIFARRA DULCE SECA CON CARNE DE LLAMA (*Lama glama*), PECANAS (*Carya illinoensis*) Y HARINA DE KAÑIWA (*Chenopodium pallidicaule*)”

Presentado por:

JUDITH AYDEE LARICO CONDORI

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Lima - Perú

2018

DEDICATORIA

A Jesucristo por sus palabras,

Y me ha dicho: Bástate mi gracia; porque mi poder se perfecciona en la debilidad. Por tanto, de buena gana me gloriaré más bien en mis debilidades, para que repose en mí el poder de Cristo.

Por lo cual, por amor a Cristo me gozo en las debilidades, en las afrentas, en necesidades, en persecuciones, en angustias; porque cuando soy débil, entonces soy fuerte.

1 Corintios 12: 9-10

AGRADECIMIENTO

- A mis asesores, Mg. Sc. Carlos Elías y Dra. Bettit Salvá por su apoyo, guía y motivación durante toda esta investigación.
- Al Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (Innovate Perú), de acuerdo al contrato N° 129-PNICP-PIAP-2015 “Mejoramiento de la producción, calidad y procesamiento tecnológico la carne de llama procedente de la sierra central del Perú” por el apoyo con el financiamiento de la tesis.
- A mis jurados, Dr. Américo Guevara, Dr. Milber Ureña y Dra. Ritva Repo-Carrasco, por su guía, paciencia y valiosos conocimientos impartidos durante la revisión.
- A los técnicos de laboratorio Yelena, Zaharita, Max, Juan y los practicantes que tenían a cargo por su ayuda constante durante el desarrollo de la parte experimental de la tesis.
- A mi queridos padres, Domingo y Lidia por enseñarme a ser perseverante, por su constante motivación y oraciones que me llevaron a la culminación de la tesis.
- A mis futuros segundos padres, Saúl y Matiasa por su cariño, motivación y comprensión por los días que estuve en su hogar durante la redacción de mi tesis, me trataron como una hija más.
- A mi amado Beto, por su amor, amistad y apoyo incondicional.
- A mis amigos de toda la vida, Analy y Ernesto por sus consejos, exhortaciones y el tiempo valioso compartido.
- A mis amigos, que conocí en la etapa universitaria Fabiola, Jenny, Erika, Miguel y Eduardo, por su amistad, respeto y apoyo incondicional.
- Al Vicerrectorado de Investigación por el financiamiento de la impresión y empastado de tres ejemplares físicos de la tesis.
- Dios los bendiga a cada uno de ustedes, que de alguna manera, me han apoyado durante la realización de este proyecto.

INDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I.INTRODUCCION	1
II.REVISION 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.....	5
2.1.4. CARNE DE LLAMA.....	6
2.2.PECANA	9
2.2.1. ASPECTOS GENERALES	9
2.2.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	9
2.3.KAÑIWA	10
2.3.1. ASPECTOS GENERALES	10
2.3.2.COMPOSICIÓN QUÍMICA	10
2.4.CLASIFICACION DE LOS PRODUCTOS CARNICOS SEGÚN CONTENIDO DE AGUA Y DURACION.....	11
2.4.1.EMBUTIDOS BLANDOS	12
2.4.2.EMBUTIDOS SEMIBLANDOS O SEMISECOS	12
2.4.3.EMBUTIDOS SECOS	12
2.5.BUTIFARRA DULCE SECA O FUET DOLCE.....	13
2.6.ACTIVIDAD DE AGUA	15
2.6.1.ALIMENTOS DE HUMEDAD INTERMEDIA	19
2.7.TEXTURA DE UN ALIMENTO.....	19
2.7.1.ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA (TPA- <i>TEXTURE PROFILE ANALYSIS</i>)..	20
2.8.MÉTODO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA	24
2.8.1.DISEÑO DE MEZCLAS	25

2.8.2.FALTA DE AJUSTE DEL MODELO ESTIMADO	28
2.8.3.RESTRICCIONES MÚLTIPLES EN COMPONENTES DE LA MEZCLA	28
2.8.4.EXPERIMENTOS DE MEZCLA D-OPTIMAL	29
2.8.5.MEDICIÓN DEL EFECTO DE LOS COMPONENTES EN DISEÑOS DE MEZCLA CON RESTRICCIONES.	31
2.8.6.OPTIMIZACIÓN DE LA VARIABLE RESPUESTA	33
2.8.7.FUNCION DE DESEABILIDAD GLOBAL.....	33
2.9.EVALUACIÓN SENSORIAL	36
2.9.1.PRUEBAS ORIENTADAS AL CONSUMIDOR (PRUEBAS AFECTIVAS).....	36
2.9.2.PRUEBAS DE ACEPTACIÓN.....	37
2.9.3.ESCALAS SEMÁNTICAS	38
III.MATERIALES Y MÉTODOS	40
3.1.LUGAR DE EJECUCIÓN	40
3.2.MATERIA PRIMA E INSUMOS	40
3.3.MATERIALES Y EQUIPOS	40
3.3.1.MATERIALES	40
3.3.2.EQUIPOS	41
3.3.3. <i>SOFTWARE</i>	41
3.4.METODOS DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN	41
3.4.1.ANÁLISIS FISICO QUIMICO.....	41
3.4.2.ANALISIS DE TEXTURA INSTRUMENTAL.....	42
3.4.3.ANALISIS SENSORIAL	42
3.4.4.ANALISIS ESTADISTICO	43
3.5.DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES DEL PROCESO.....	44
3.6.METODOLOGIA EXPERIMENTAL	47
3.6.1.DISEÑO EXPERIMENTAL.....	47
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51

4.1.ANALISIS PROXIMAL DE LAS MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS	51
4.1.1.CARNE DE LLAMA	51
4.1.2.PECANAS	51
4.1.3.HARINA DE KAÑIWA.....	52
4.2.COLOR.....	53
4.2.1. ESTABLECIMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	53
4.3.ACTIVIDAD DE AGUA	54
4.3.1.ESTABLECIMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	54
4.4.TEXTURA INSTRUMENTAL	55
4.4.1.ESTABLECIMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO	55
4.4.2.EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE LA COHESIVIDAD.....	57
4.5.OPTIMIZACIÓN DE LA VARIABLE RESPUESTA.....	59
4.6.VALIDACIÓN DEL PUNTO ÓPTIMO DE LA MEZCLA DE INGREDIENTES.....	62
4.7.ANÁLISIS PROXIMAL DE LA FORMULA ÓPTIMA	63
4.8.ANALISIS SENSORIAL.....	64
V.CONCLUSIONES	70
VI.RECOMENDACIONES.....	71
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	72
VIII.ANEXOS.....	81

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Producción de llamas vivas por región en (Miles de toneladas) durante el año 2014 y 2015.	4
Cuadro 2: Composición proximal (%) del músculo <i>Longissimus lumborum</i> de llamas criadas y faenadas en dos épocas del año.	6
Cuadro 3: Ácidos grasos en músculo <i>Longissimus lumborum</i> de llamas criadas y faenadas en la estación seca y estación lluviosa.	7
Cuadro 4: Contenido de aminoácidos en el músculo <i>Longissimus lumborum</i> de la llama genotipo K'ara.	8
Cuadro 5: Composición de ácidos grasos en pecana por cada 100 g de aceite.	10
Cuadro 6: Composición de algunos granos andinos en comparación con el trigo.	11
Cuadro 7: Contenido de aminoácidos lisina, treonina y triptófano en los granos andinos y trigo (g de aminoácidos/100 g de proteínas).	11
Cuadro 8: Clasificación de embutidos crudo-curados según el grado de secado.	13
Cuadro 9: Presión de vapor relativa y crecimiento microbiano en los alimentos.	17
Cuadro 10: Parámetros medidos por un Análisis de Perfil de Textura (TPA).	23
Cuadro 11: Restricciones de los componentes de la masa principal.	47
Cuadro 12: Formulaciones obtenidas al aplicar el programa <i>Design-Expert</i> ® 7.	48
Cuadro 13: Formulación de la muestra patrón.	49
Cuadro 14: Resultados del análisis proximal de la carne de llama (<i>Lama glama</i>).	51
Cuadro 15: Resultados del análisis proximal de pecanas molidas.	52
Cuadro 16: Resultados del análisis proximal de harina de kañiwa.	52
Cuadro 17: Resultados del croma (C*) de la mezcla de componentes de la butifarra dulce seca en las formulaciones experimentales.	53

Cuadro 18: Resultados de la actividad de agua de la mezcla de componentes de la butifarra dulce en las formulaciones experimentales.	54
Cuadro 19: Resultados del análisis de perfil de textura (TPA) de la mezcla de componentes de la butifarra dulce en las formulaciones experimentales.....	56
Cuadro 20: Resultados de los análisis de la butifarra dulce patrón.	60
Cuadro 21: Restricciones para la optimización de la fórmula.....	60
Cuadro 22: Formulación óptima de la butifarra dulce de carne de llama.....	60
Cuadro 23: Comparación del resultado teórico obtenidos con el programa <i>Design-Expert</i> y los resultados experimentales.	62
Cuadro 24: Rango de validación de la variable respuesta en el punto óptimo.....	62
Cuadro 25: Resultados del análisis proximal de la butifarra dulce seca de carne llama y pecanas.....	64
Cuadro 26: Cantidad de personas que eligieron uno de los niveles de agrado en la escala hedónica de acuerdo a la característica sensorial evaluada y la media aritmética de las respuestas dadas por el consumidor para cada atributo.....	65
Cuadro 27: Evaluación de la Aceptabilidad de los Atributos de la butifarra dulce seca.....	66

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Llamas K'ara.....	5
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.	16
Figura 3: Ciclos de mordida de un análisis de TPA	21
Figura 4: Curva típica de un análisis de perfil de textura.....	22
Figura 5: Tipos de diseños de mezclas.	27
Figura 6: Regiones experimentales con restricciones en $q = 3$ componentes.	31
Figura 7: Ejemplo de gráfico de trazas	33
Figura 8: Ejemplos de distribución unimodal y bimodal de notas de preferencia sobre dos productos.	39
Figura 9: Diagrama de flujo para la elaboración de butifarra dulce seca de carne de llama, pecanas y harina de kañiwa.	46
Figura 10: Diseño experimental de la investigación.	50
Figura 11: Ploteo de contornos de la cohesividad de los componentes.....	57
Figura 12: Superficie de respuesta tridimensional de la cohesividad.....	58
Figura 13: Trazos de cox de la cohesividad.	58
Figura 14: Deseabilidad y punto óptimo de los componentes carne de llama, pecanas y harina de kañiwa.....	61
Figura 15: Cohesividad y punto óptimo de los componentes carne de llama, pecanas y harina de kañiwa.....	61
Figura 16: Superficie de respuesta óptima.	62

Figura 17: Número de personas que determinan un nivel de agrado para cada atributo del producto.....	66
Figura 18: Porcentaje de cada nivel de agrado del color de la butifarra dulce seca.....	67
Figura 19: Porcentaje de cada nivel de agrado del olor de la butifarra dulce seca.....	68
Figura 20: Porcentaje de cada nivel de agrado del sabor de la butifarra dulce seca.	68
Figura 21: Porcentaje de cada nivel de agrado de textura de la butifarra dulce seca.	69

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: CARTILLA DE SELECCIÓN	81
ANEXO 2: CARTILLA DE EVALUACIÓN SENSORIAL.....	82
ANEXO 3: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA Y DE LA SUMA DE ERRORES CUADRADOS DEL COLOR.	83
ANEXO 4: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA Y DE LA SUMA DE ERRORES CUADRADOS DE LA ACTIVIDAD DE AGUA.	84
ANEXO 5: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA Y DE LA SUMA DE ERRORES CUADRADOS DE LA COHESIVIDAD.	85
ANEXO 6: ANALISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY EN EL PROMEDIO DE COHESIVIDAD DE LA BUTIFARRA DULCE SECA POR CADA SISTEMA DE ALIMENTACION (I, II, III).....	86
ANEXO 7: SOLUCIONES GENERADAS POR LA OPTIMIZACION EN FUNCION DE LA DESEABILIDAD DEL TIPO “VALOR OBJETIVO”.	87
ANEXO 8: LIMITES DE CONTROL ADMITIDOS POR EL MODELO (NIVEL DE CONFIANZA DE 95%) PARA LA VARIABLE RESPUESTA.	88
ANEXO 9: PROCESO DE ELABORACIÓN DE BUTIFARRA DULCE SECA CON CARNE DE LLAMA Y PECANAS.....	89
ANEXO 10: ANÁLISIS FISICO-QUIMICO Y SENSORIAL	91

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo principal determinar la mezcla o fórmula óptima para la elaboración de butifarra dulce seca a base de carne de llama, pecanas y harina de kañiwa aplicando el diseño de mezclas, asimismo evaluar la influencia de los componentes de la mezcla sobre las variables color, actividad agua y perfil de textura del producto. En la primera etapa se aplicó el diseño de mezclas *D-Optimal* para los tres componentes (carne de llama, pecanas y harina de kañiwa) obteniendo catorce 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 evaluar la influencia de los componente de la mezcla. En esta etapa se obtuvo que para el perfil de textura, solo la cohesividad se pudo ajustar a un modelo matemático significativo, asimismo esta variable tuvo la influencia de los componentes carne de llama y pecanas, en una relación directa. En la siguiente etapa se realizó la optimización de la variable respuesta, mediante el programa *Design-Expert*® se utilizó la función deseabilidad del tipo “valor objetivo”, para que el producto se asemeje al patrón; seguidamente se eligió la mezcla óptima con mayor deseabilidad que se componía de 80 por ciento carne de llama, 20 por ciento de pecanas y 0 por ciento de harina de kañiwa. Finalmente, se validó la mezcla óptima por cada sistema de alimentación, teniendo a la butifarra proveniente del sistema de alimentación I (Pastoreo en pradera natural) dentro de los límites admitidos por el modelo, que a su vez se le realizó una evaluación sensorial y análisis proximal que dio como resultado un producto aceptable sensorialmente.

Palabras clave: Diseño de mezclas, carne de llama, pecanas, cohesividad.

ABSTRACT

This research had as its main objective to determine the optimal mix or formula for the preparation of sausage sweet dry basis of llama meat, kaniwa pecans and flour by applying the mix design, also to evaluate the influence of the components of the mixture on the variable color, water activity and texture profile of the product. In the first stage we applied the mix design D-Optimal for all three components (llama meat, kaniwa pecans and flour) getting fourteen formulations. For each formulation were evaluated the response variables mentioned above, and these results were determined mathematical models to fit each one, in addition to evaluating the influence of the component of the mixture. At this stage it was found that for the texture profile, only the cohesiveness is able to adjust to a significant mathematical model, also this variable was the influence of the components of llama meat and pecans, in a direct relationship. In the next stage was the optimization of the response variable, using the program *Design-Expert*®7 feature was used desirability of type "Target value", in order that the product resembles the pattern; then chose the optimal mix with greater desirability that consisted of 80 percent of llama meat, 20 percent of pecans, and 0 percent of kaniwa flour. Finally, it is valid the optimal mix for each system of food, taking to the sausage from the power system I (grazing on natural pasture) within the limits allowed by the model, which in turn was a sensory evaluation and proximate analysis which resulted in an acceptable product sensorially.

Keywords: mix design, llama meat, pecans, cohesiveness.

I. INTRODUCCION

La crianza de camélidos sudamericanos constituye una de las actividades de mayor impacto socioeconómico para los pobladores altoandinos (Paredes, 2013). El centro principal de origen de la crianza de camélidos sudamericanos como la alpaca (*Vicugna pacos*) y la llama (*Lama glama*) es la cuenca del Titicaca. En este espacio geográfico, las culturas prehispánicas desde hace 5 500 años, iniciaron el proceso de domesticación, de mejoramiento genético; así como sistemas de crianza, de uso y de consumo (Pinto, 2010 y SENASA, 2011). Se estima que un 80 por ciento de la crianza de alpacas y llamas, está en manos de 150 000 familias de las comunidades campesinas aimaras y quechuas; y en áreas menores de 50 hectáreas. De manera que, la tenencia promedio sería de 27 cabezas/alpaca/familia y de 9 cabezas/llama/familia. El resto están en manos de medianos propietarios y algunas empresas (MINAGRI, 2014).

La carne de alpaca y llama, presentan ventajas en comparación de otras especies, por el alto contenido de proteínas, menor contenido de grasa saturada, por tanto, un bajo contenido de colesterol. Se considera carne ecológica, por su alimentación a base de pastizales de altura y hábito de consumo de agua limpia sin contaminantes (Mateo *et al.*, 2010 y Reyes, 2009). Además de las cualidades nutritivas que se conoce de la carne de estos camélidos peruanos, se sabe que es sensorialmente y tecnológicamente muy similar a la del ovino mientras que molida es muy comparable e indiferenciable a la del vacuno. Por otro lado Mateo *et al.* (2011), muestra las bondades y los usos de esta carne, como por ejemplo en embutidos secos, longanizas, kabanosy con quinua, entre otros.

La butifarra dulce seca o fuet dulce es un embutido seco crudo curado, de pequeño calibre (Martínez *et al.*, 2009). Elaborado sin necesidad de aditivos, siendo sus únicos ingredientes, carne de cerdo (1 000 gramos), azúcar (600 a 1 000 gramos), sal (0 a 20 gramos), piel de limón finamente picada y/o pequeña dosis de canela en polvo (Grébol, 2008).

La elaboración de embutidos a base de carne de camélidos aún no ha alcanzado gran magnitud pese al 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).

En los últimos años, la industria cárnica al igual que otros sectores de la alimentación, está experimentando importantes transformaciones como consecuencia de continuas innovaciones tecnológicas y cambios en las demandas de los consumidores, entre ellas las relacionadas con la búsqueda de una alimentación más "saludable". Lo cual conlleva a experimentar procesos de reformulación (cambios de composición) usando ingredientes de diversas procedencias (Begoña y Francisco, 2014).

En vista a lo citado por los diferentes estudios relacionados a la crianza y consumo de camélidos sudamericanos, es importante comenzar a promover el consumo de la carne de llama y proponer alternativas de consumo que respondan a las nuevas demandas de los consumidores del siglo XXI, quienes actualmente buscan alimentos nutritivos, saludables, funcionales, estables a temperatura ambiente y listos para comer "*Ready to eat*".

Por lo expuesto se plantearon los siguientes objetivos:

- Determinar la fórmula óptima para la elaboración de butifarra dulce seca con carne de llama, pecana y harina de kañiwa, aplicando el diseño de mezclas.
- Evaluar la influencia de los componentes de la mezcla (carne de llama, pecanas y harina de kañiwa) sobre las variables color, actividad de agua y perfil de textura.
- Validar la fórmula óptima de butifarra dulce seca por cada sistema de alimentación (I, II y III).
- Evaluar sensorialmente y determinar la composición proximal de la butifarra dulce seca de formulación óptima.

II. REVISION DE LITERATURA

2.1. LLAMA

2.1.1. ASPECTOS GENERALES

La llama (*Lama glama*), una de las cuatro especies de camélidos sudamericanos, se encuentra localizada en la zona andina de Bolivia, Perú, Chile, Argentina y Ecuador, en altitudes entre 2800 y 5000 msnm. La hembra alcanza la madurez a los 75 kilogramos mientras que el macho llega a los 115 kilogramos, variando de acuerdo al genotipo (Mamani et al., 2013).

Por otro lado la llama es más rústica a comparación de la alpaca, su alimentación es a base de pastizales secos, arbustos, hasta xerofíticas, como las especies *Stipaichu*, *Festucadichlocada*, *Muhlenbergia peruviana*, *Margiracapuspinatus*, *Aristidaenodis*, *Cassia sp.*, *Adesmiaspinosissima*, *Festucadolichophyla*, etc. Asimismo ambas especies tienen el hábito de beber agua limpia y fresca, no admiten agua turbia o contaminada. La llama es más tolerante a la escasez de agua (Canahua y Román, 2015).

Se pueden reconocer dos variedades fenotípicas, la mayoría son del tipo K'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 la región 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 una determinada región 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. 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 (FAO, 2005).

En el Cuadro 1 se muestra la producción de llamas vivas en el Perú por región durante el año 2014 y 2015. En estos se muestra que la mayor producción se encuentra en la región Puno, seguida de Cusco y Arequipa.

Cuadro 1: Producción de llamas vivas por región en (Miles de toneladas) durante el año 2014 y 2015

REGIÓN	2014	2015
Nacional	9,3	9,5
Lima	0,1	0,1
Pasco	0,2	0,3
Junín	0,4	0,4
Huancavelica	0,9	1,0
Arequipa	1,2	1,1
Moquegua	0,2	0,2
Tacna	0,3	0,3
Ayacucho	0,6	0,6
Apurímac	0,6	0,6
Cusco	1,0	1,1
Puno	3,6	3,7

FUENTE: SIEA (2015).

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. 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. 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).



Figura 1: Llamas K'ara.

FUENTE: CONACS (2005).

2.1.4. CARNE DE LLAMA

La carne de alpaca y llama, presentan ventajas comparativas en comparación de otras especies, por el alto contenido de proteínas, menor contenido de grasa saturada, por tanto, un bajo contenido de colesterol. Se considera carne ecológica, por su alimentación a base de pastizales de altura y hábito de consumo de agua limpia sin contaminantes (Mateo *et al.*, 2010 y Reyes, 2009). Según el testimonio de campesinos, el buen sabor de la carne de llama es hasta los 1,5 años, siendo el óptimo al año de edad, a los cuales se les conoce como maracho (Reyes; citado Canahua y Román, 2015).

Mamani-Linares y Gallo (2013) estudiaron la composición química del músculo *Longissimus lumborum* de llamas jóvenes entre 1,5 a 2 años de edad, de la variedad K'ara, procedentes de Bolivia, criadas y faenadas en dos épocas del año, estación seca y estación de lluvias, no habiendo diferencia significativa en los valores reportados de humedad, proteína y ceniza correspondientes a cada estación, mientras que el contenido de grasa fue más alto en llamas faenadas en la estación de lluvias que en las faenadas en la estación seca, como se muestra en el Cuadro 2. Polidori *et al.* (2007) reportan un contenido de grasa mayor que oscila entre 1, 56 a 3, 51 por ciento, descrita para llamas de 2 a 3,5 años de edad.

Cuadro 2: Composición proximal (%) del músculo *Longissimus lumborum* de llamas criadas y faenadas en dos épocas del año

COMPONENTE	ESTACIÓN SECA (%)	ESTACIÓN DE LLUVIAS (%)
Humedad	72,58 ± 0,56	72,80 ± 0,45
Grasa	0,42 ± 0,06	0,72 ± 0,02
Proteína	25,19 ± 0,92	24,90 ± 0,37
Ceniza	1,35 ± 0,05	1,32 ± 0,06

FUENTE: Mamani-Linares y Gallo (2013).

En cuanto a ácidos grasos, los ácidos grasos saturados representan el 47,94 por ciento, los monoinsaturados el 43,50 por ciento y los poliinsaturados 8,56 por ciento, en músculo *Longissimus lumborum* de llamas criadas y faenadas en la estación seca (Mamani-Linares

y Gallo, 2013). En el Cuadro 3 se muestra el contenido de los ácidos grasos en músculo *Longissimus lumborum* de llamas criadas y faenadas en la estación seca y estación lluviosa.

Cuadro 3: Ácidos grasos en músculo *Longissimus lumborum* de llamas criadas y faenadas en la estación seca y estación lluviosa

ÁCIDOS GRASOS		ESTACIÓN SECA (%)	ESTACIÓN LLUVIOSA (%)
Ac. Caprílico	C 8:0	0,0 ± 0,02	0,14 ± 0,05
Ac. Capríco	C 10:0	0,54 ± 0,12	0,82 ± 0,11
Ac. Láurico	C 12:0	0,64 ± 0,14	0,41 ± 0,07
Ac. Tridecanoico	C 13:0	0,45 ± 0,02	0,27 ± 0,01
Ac. Mirístico	C 14:0	5,19 ± 0,91	4,26 ± 1,28
Ac. Pentadecanoico	C 15:0	1,62 ± 0,20	0,88 ± 0,18
Ac. Palmítico	C 16:0	27,15 ± 1,82	22,66 ± 1,99
Ac. Margarico	C 17:0	0,61 ± 0,13	0,67 ± 0,24
Ac. Esteárico	C 18:0	11,73 ± 1,65	11,69 ± 0,90
Ac. Miristoleico	C 14:1n-5	2,71 ± 0,22	1,56 ± 0,17
Ac. Pentadecaenoico	C 15:1n-5	0,50 ± 0,06	0,31 ± 0,02
Ac. Palmitoleico	C 16:1n-7	5,97 ± 0,28	6,76 ± 0,33
Ac. Palmitoleico	C 16:1	1,11 ± 0,35	1,29 ± 0,18
Ac. Heptadecenoico	C 17:1	0,62 ± 0,13	0,46 ± 0,20
Ac. Elaídico	C 18:1	2,56 ± 0,11	3,58 ± 0,09
Ac. Vaccénico	C 18:1n-9	29,76 ± 2,0	35,64 ± 2,70
Ac. Eicosenoico	C 20:1n-9	0,43 ± 0,05	0,16 ± 0,04
Ac. Linoleico	C 18:2n-6	5,78 ± 1,76	5,60 ± 1,17
Ac. Linoleico	C 18:2n-3	0,33 ± 0,01	0,88 ± 0,02
Ac. alfa Linolénico	C 18:3n-3	1,00 ± 0,02	1,22 ± 0,03
Ac. Eicosadienoico	C 20:2n-6	0,32 ± 0,13	0,19 ± 0,04
Ac. Eicosatrienoico	C 20:3n-3	0,68 ± 0,26	0,68 ± 0,20
Ac. Eicosapentaenoico	C 20:5n-3	0,41 ± 0,08	0,45 ± 0,09
Ac. Docosapentaenoico	C 22:5n-3	--	0,11 ± 0,09

FUENTE: Mamani-Linares y Gallo (2013).

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 4.

Cuadro 4: 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).

2.2. PECANA

2.2.1. ASPECTOS GENERALES

Las nuez pecana (*Carya illinoensis*) son nativas de América del Norte y pueden ser encontradas desde Nebraska e Iowa en los Estados Unidos hasta el sur de México (Oro *et al.*, 2008). La nuez pecana, es un interesante alimento de origen vegetal, se caracteriza por un alto contenido de grasas y proteínas, además de un bajo porcentaje de carbohidratos. La proporción de estos componentes depende de la variedad, las condiciones ambientales, la composición del suelo y prácticas agrícolas entre otras (Montoya *et al.*, 2010).

2.2.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA

Las pecanas son una importante fuente de lípidos (71,9 por ciento), proteínas (15,2 por ciento) y carbohidratos (13,9 por ciento). Aportan al organismo alrededor de 691 kilocalorías cada 100 gramos de producto, esto debido a que tiene un contenido de agua reducido (3,5 por ciento) si lo comparamos con otros frutos, vegetales y la carne, los que pueden contener entre 60 y 90 por ciento de agua (USDA; citado por Vigo, 2014). Por lo tanto, se puede decir que constituye un alimento “concentrado”.

Flores-Córdova *et al.* (2016) reportaron valores en la nuez pecana variedad *Western Schley*, de 69,4 por ciento en lípidos, 7,8 por ciento en fibra, 9,9 por ciento en proteína y 3,7 por ciento en humedad.

Vigo (2014), señala que en cuanto a la composición de los ácidos grasos tenemos que aproximadamente el 67 por ciento son ácidos grasos monoinsaturados (oleico) y un 25 por ciento son ácidos grasos poliinsaturados (linoléico). En el Cuadro 5 se puede detallar los diferentes ácidos grasos encontrados en pecana por cada 100 g de aceite.

Cuadro 5: Composición de ácidos grasos en pecana por cada 100 g de aceite

COMPONENTE	CANTIDAD
14:0 Ácido mirístico	0,04 g
16:0 Ácido palmítico	5,90 g
17:0 Ácido margárico	0,05 g
18:0 Acido esteárico	2,24 g
20:0 Acido araquídico	0,12 g
16:1 Acido palmitoleico	0,07 g
18:1 Ácido oleico	66,66 g
18:2 Ácido linoleico	23,68 g
18:3 Acido linolenico	1,24 g

FUENTE: USDA, citado por Vigo (2014).

2.3. KAÑIWA

2.3.1. ASPECTOS GENERALES

La kañiwa es una planta resistente, florece en tierras pobres y rocosas, soportando climas fríos y secos, como los que existen en el altiplano. La kañiwa puede germinar a 5 °C, florecer a 10 °C y desarrollar semillas a 15 °C. Estas condiciones usualmente destruyen otros sembríos como los de cebada y quinua (Repo-Carrasco *et al.*, 2009).

La kañiwa es uno de los granos andinos más importantes del Perú y no escapa el ser parte de la lista de plantas con propiedades nutricionales y capacidad antioxidante (Peñarrieta *et al.*, 2008; citado por Bartolo, 2013).

2.3.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA

Repo-Carrasco y Encina (2008), reportan que la kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) presenta un elevado contenido de proteínas (15 a 19 por ciento); posee un balance de aminoácidos de primera línea, siendo particularmente rica en lisina (5 a 6 por ciento), isoleucina y triptófano.

Esta calidad proteica, en combinación con un contenido de carbohidratos del orden del 60 por ciento y aceites vegetales del orden del 8 por ciento, la hacen altamente nutritiva. Otros estudios reportan que la kañiwa posee 63 a 66 por ciento de carbohidratos, 15 a 18 por ciento de proteínas, 6 a 8 por ciento lípidos y 3 a 4 por ciento de cenizas (Gross *et al.*,

1989 y Repo-Carrasco *et al.*, 2003). También es rica en micronutrientes, tales como hierro y calcio (Repo-Carrasco *et al.*, 2009).

En el Cuadro 6 se muestra la comparación de macronutrientes de la kañiwa con respecto al trigo, y en el Cuadro 7, la comparación del contenido de aminoácidos de la kañiwa frente a otros granos andinos y el trigo.

Cuadro 6: Composición de algunos granos andinos en comparación con el trigo (g/100g)

COMPONENTE	QUINUA	KAÑIWA	TRIGO
Proteínas	11,7	14,0	8,6
Grasas	6,3	4,3	1,5
Carbohidratos	68,0	64,0	73,7
Fibra	5,2	9,8	3,0
Ceniza	2,8	5,4	1,7
Humedad (%)	11,2	12,2	14,5

FUENTE: Collazos, citado por FAO (2000).

Cuadro 7: Contenido de aminoácidos lisina, treonina y triptófano en los granos andinos y trigo (g de aminoácidos/100 g de proteínas)

AMINOÁCIDOS	QUINUA	KIWICHA	KAÑIWA	TRIGO
Lisina	6,8	6,7	5,9	2,9
Metionina	2,1	2,3	1,6	1,5
Treonina	4,5	5,1	4,7	2,9
Triptófano	1,3	1,1	0,9	1,1

FUENTE: FAO, citado por Ayala (2014).

2.4. CLASIFICACION DE LOS PRODUCTOS CARNICOS SEGÚN CONTENIDO DE AGUA Y DURACION

Venegas y Valladares (1999) menciona que a los productos cárnicos se les puede clasificar de diversas maneras, basándose en criterios tales como los tipos de materias primas que los componen, la estructura de su masa, si están o no embutidos, si se someten o no a la acción del calor o algún otro proceso característico en su tecnología de elaboración, la forma del producto terminado, su durabilidad o cualquier otro criterio o nombres derivados de usos o costumbres tradicionales.

Al respecto Quiroga *et al.* (2001), clasifican a los productos cárnicos según el contenido de agua y duración en: embutidos blandos, semiblandos o semisecos y secos.

2.4.1. EMBUTIDOS BLANDOS

En estos productos, el contenido de agua oscila entre 60 y 80 por ciento; son de corta duración, en este grupo se encuentran los embutidos crudos y productos que han recibido tratamiento térmico. Los embutidos aquí considerados si no se consumen inmediatamente después de su elaboración deben conservarse a temperaturas de refrigeración (0-4 °C) por un periodo no mayor de 4 a 6 días, por ser fácilmente deteriorables (Quiroga *et al.*, 2001).

2.4.2. EMBUTIDOS SEMIBLANDOS O SEMISECOS

La humedad de estos productos se encuentra entre un 40 y 60 por ciento, son de mediana duración. En este grupo se encuentran embutidos ahumados y cocinados, ahumados semisecos y algunos productos salados. Los embutidos semisecos pueden mantenerse a una temperatura menor o igual a 10 °C para su conservación por un máximo de 10 días (Quiroga *et al.*, 2001).

2.4.3. EMBUTIDOS SECOS

Quiroga *et al.* (2001) menciona que en estos productos el contenido de humedad es mínimo, oscila entre 15 y 40 por ciento, son de larga duración, en este grupo de productos encontramos dos clases:

- a. Embutidos crudos y secos, los cuales no han sido sometidos a ningún tratamiento térmico y generalmente han sufrido un proceso de maduración en ambientes naturales o artificiales.
- b. Productos ahumados y secos, que han recibido tratamiento térmico por el ahumado en caliente, con temperaturas que pueden alcanzar hasta 90 °C. A pesar de ser conservables se recomienda que, después de ser elaborados, se almacenen en condiciones de refrigeración. Guerrero y Arteaga (1990) señalan que los embutidos secos se reglamentan por su relación final de humedad/proteína, a fin de indicar el nivel del secado. Aunque para llegar a estos cocientes no es estrictamente necesario llevar a cabo una fermentación, la producción de ácido láctico ayuda en gran parte al secado y proporciona un margen de seguridad en relación con la sanidad del producto, contribuyendo a su estabilidad y confiriéndole muchos atributos de calidad asociados con este tipo de productos. Asimismo, señala que los embutidos secos son productos de carne picada que como resultado de la acción

bacteriana, tienen un pH igual o menor a 5,3 después se secan para eliminar del 25 a 50 por ciento de la humedad obteniendo una relación final humedad/proteína no mayor de 2,3/1. En el Cuadro 8, se muestra la clasificación de embutidos crudos-curados según el grado de secado.

Cuadro 8: Clasificación de embutidos crudo-curados según el grado de secado

TIPO (EJEMPLOS)	CONTENIDO DE AGUA (%)	PÉRDIDA PESO (%)	RELACIÓN AGUA/PROTEÍNA
Secos (Pepperoni, Salami, Salchichón, Fuet)	20 - 35	25 - 50	2,3/1
Semisecos (Chorizo, Cervelat)	40 - 50	20	2,3 – 3,7/1
No desecados (Sobreasada, <i>Mettwurst</i>)	50 - 60	10	>3,7/1

FUENTE: Fernández (2013).

2.5. BUTIFARRA DULCE SECA O FUET DOLCE

La butifarra dulce y el *fuet dulce* son embutidos tradicionales que se elaboran en algunas comarcas de la provincia de Girona (Empordá, La Selva y El Gironés) en España. 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).

La butifarra dulce 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 dulce*” como producto listo para el consumo o *ready-to-eat* (Grébol, 2008).

El *fuet dulce* se consume como un producto curado, como aperitivo, en tortillas, con dátiles, en forma de pinchitos, acompañado de un vino dulce, etc. Actualmente su comercialización se efectúa en charcuterías e incluso en confiterías, sin embargo, su presencia en los supermercados e hipermercados es muy escasa (Arnau y Matas, 2004).

Butifarra dulce y el "*fuet dolce*" son embutidos elaborados sin necesidad de aditivos, en los que por cada kilogramo de carne de cerdo se adicionan entre 600 y 1000 gramos de azúcar común (sacarosa), de 0 a 20 gramos 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. 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 (Grébol, 2008).

El *fuet* es un embutido seco crudo curado de pequeño calibre al igual que las salchichas, longanizas y chorizos, los cuales son fabricados con tripas naturales o artificiales de entre 22 y 40 mm de diámetro, fermentados o no. Sus pequeñas dimensiones permiten acortar el tiempo necesario para secar el embutido, alcanzándose con rapidez una adecuada capacidad de conservación y una textura firme al corte. Suele ser suficiente un periodo de tiempo inferior a dos semanas para fabricar este tipo de embutidos, aunque el tratamiento de secado a aplicar dependerá de numerosos factores, como la temperatura, humedad, convección de aire, carga del secadero, dimensiones de las piezas, la permeabilidad al agua de la tripa, el contenido en grasa, el grado de picado, la presencia de mohos de cobertura o la adición de sustancias higroscópicas, entre otros (Martínez *et al.*, 2009).

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 (Arnau y Matas, 2004).

La actividad de agua (a_w) es la principal barrera de este producto final. Es por eso que en el proceso de secado se lleva a cabo hasta obtener una $a_w < 0,85$. De esta forma, como indica la FDA Americana, se imposibilita el crecimiento de microorganismos patógenos y se puede asegurar su estabilidad a temperatura ambiente durante toda su vida útil en un envase con atmósfera modificada (Sanz *et al.*, 2016).

Además de ser 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 relativa baja para evitar el crecimiento de hongos en superficie (Arnau y Matas, 2004).

2.6. ACTIVIDAD DE AGUA

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. 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.

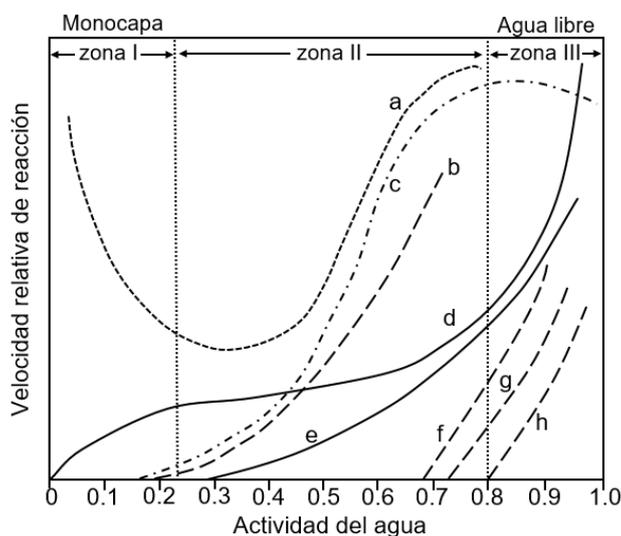


Figura 2: Cambios que ocurren en los alimentos en función de la actividad de agua (a) Oxidación de lípidos; (b) reacciones hidrolíticas; (c) oscurecimiento no enzimático; (d) isoterma de adsorción; (e) actividad enzimática; (f) crecimiento de hongos; (g) crecimiento de levaduras y (h) crecimiento de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

FUENTE: Badui (2006).

La estabilidad de los alimentos y el cociente p/p_0 están estrechamente relacionados en muchos casos. En el Cuadro 9, se indican diversos microorganismos comunes y el intervalo de presión de vapor relativa que permite el crecimiento. En el mismo cuadro se indica también la clasificación de alimentos comunes de acuerdo con su presión de vapor relativa (Fennema, 2000).

Cuadro 9: 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, Escherichia, Proteus, Shigella, Klebsiella, Bacillus, Clostridiumperfringes,</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, Vibrioparahaemolyticus, C. botulinum, Serratia, Lactobacillus, Pediococcus,</i> algunos mohos, levaduras (<i>Rhodotorula, 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, Torulopsis, 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) spp., Debaryomyces.</i>	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”.

“continuación”

0,80-0,75	La mayoría de las bacterias halófilas, aspergilos micotoxigénicos.	Mermelada, jalea, mazapán, frutas glaseadas, algunas mieles.
0,75-0,65	Mohos xerófilos (<i>Aspergilluschevalieri</i> , <i>A. candidus</i> , <i>Wallemiasebi</i>), <i>Saccharomyces bisporus</i> .	Avena con alrededor del 10% de agua; turrone, 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 “country style”.

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).

2.6.1. 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).

2.7. TEXTURA DE UN ALIMENTO

El estudio de la textura empezó a mediados del siglo XIX y principios del XX donde varios científicos fueron capaces de desarrollar instrumentos simples para ensayar alimentos. Pero no fue hasta 1950, cuando empieza a considerar la textura como un tema propiamente dicho (Szczeniak, 2002). 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).

2.7.1. 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 (TPA) es un experimento instrumental que imita a dos o más ciclos de masticación mediante la compresión de una muestra entre dos superficies paralelas. En la respuesta grafica se obtiene la fuerza aplicada frente al desplazamiento y permite evaluar características mecánicas de textura y secundarias (Lara, 2004).

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 centímetros por minuto, y la muestra del alimento, con una altura estándar de 0,5 pulgadas (0,0127 metros), 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).

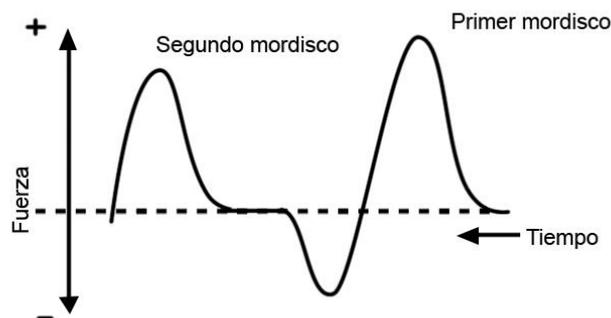


Figura 3: Ciclos de mordida de un análisis de TPA.
FUENTE: Rosenthal (2001).

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).

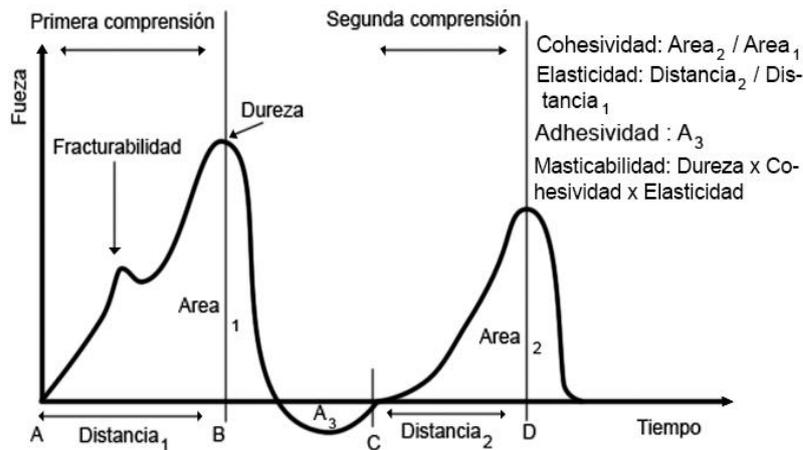


Figura 4: Curva típica de un análisis de perfil de textura

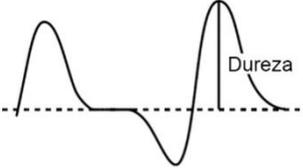
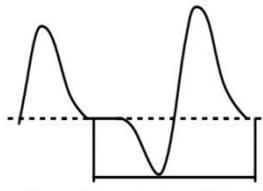
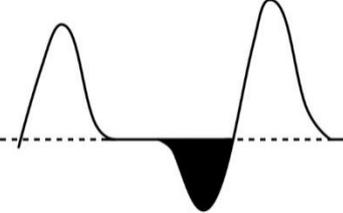
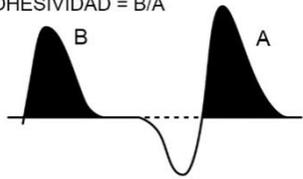
FUENTE: De la Ossa y Rivera (2012).

En una serie de artículos, Szczesniak (1973) y sus colaboradores definieron una variedad de términos de textura que están expuestos en el Cuadro 10. 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).

En el Cuadro 10 se muestra la definición sensorial de los parámetros medidos usualmente en un análisis de perfil de textura.

Cuadro 10: 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.	 <p style="text-align: right;">Fragilidad</p>
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).

2.8. MÉTODO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

La metodología de superficie respuesta (MSR, por sus siglas en inglés) es una colección de técnicas matemáticas y estadísticas útiles en el modelado y el análisis de problemas en los que una respuesta de interés recibe la influencia de diversas variables y donde el objetivo es optimizar esta respuesta (Montgomery, 2004).

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).

2.8.1. DISEÑO DE MEZCLAS

Montgomery (2004) presenta dos tipos de diseños para MSR, el primero en el que los niveles de cada factor son independientes de los niveles de otros factores y; el segundo, en el que los niveles de los factores no son independientes de los niveles de los otros. En un diseño de mezclas, los factores son los componentes o ingredientes de una mezcla, y por consiguiente sus niveles no son independientes. Si baja el nivel de uno de los componentes, el nivel del otro(s) tendrá que subir para que la suma total de los componentes sea igual a 1 o al 100 por ciento.

El diseño de experimentos con mezclas es una metodología para el desarrollo y optimización de los productos alimenticios, donde la característica o características de calidad de un producto alimenticio normalmente dependerán de las proporciones de los ingredientes individuales que están presentes en las formulaciones (Gordillo *et al.*, 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.

Ortega *et al.* (2015) señala que un diseño de experimentos con mezclas tienen q componentes o ingredientes, consiste en un conjunto de experimentos en los que se

prueban combinaciones particulares o mezclas de dichos ingredientes. Si se denotan por X_1, X_2, \dots, X_q , las proporciones en las que participan los componentes de la mezcla, se deben satisfacer dos restricciones:

$$0 \leq X_i \leq 1, \text{ para componente } i \qquad \sum x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1$$

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).

Los diseños de experimentos con mezclas distribuyen adecuadamente las mezclas en la región experimental, la cual se representa con figuras geométricas de $q - 1$ componentes, cuando los componentes de la mezcla pueden variar entre 0 y 1. Así para dos componentes la región experimental es un segmento de recta, para tres un triángulo, para cuatro un tetraedro y para más de cuatro un hipertetraedro (Ortega *et al.*, 2015).

Ortega *et al.* (2015) menciona dos tipos básicos de diseño son el simplex reticular y simplex con centroide. El diseño simplex reticular, $\{q, m\}$ considera q componentes y permite ajustar un modelo estadístico de orden m . Los puntos del diseño consisten en todas las posibles mezclas que se forman con $X_i = 0, 1/m, 2/m, \dots, m/m$. Este diseño incluye básicamente puntos en los bordes, pero si el investigador desea hacer predicciones en el interior es recomendable agregar el centroide global y las mezclas localizadas entre el centroide y los vértices. El diseño simplex con centroide se aplica cuando se tienen pocos componentes y consiste en 2^{q-1} puntos definidos de la siguiente forma: las q mezclas puras, todos los puntos medios de las aristas definidas por cada dos vértices, los centroides de las caras definidas por cada tres vértices y así hasta obtener el centroide global. Sin embargo, cuando existen restricciones adicionales, ya sean límites inferiores y/o superiores o restricciones lineales, la región experimental ya no es regular y su forma depende de la ubicación de las restricciones, a este diseño se le conoce como el diseño de vértices extremos o *D-optimal*. Donde los puntos experimentales se colocan en los vértices extremos de la región experimental, utilizando pseudocomponentes si la región está completamente al interior del simplex, y algoritmos de otro modo.

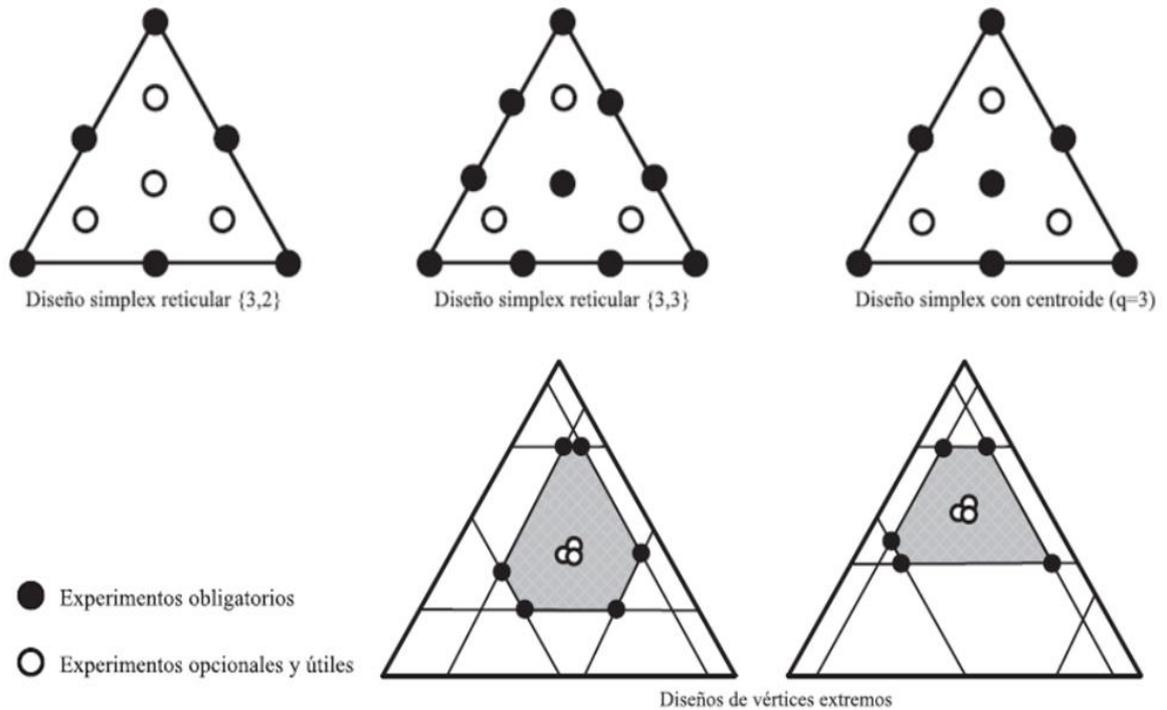


Figura 5: Tipos de diseños de mezclas.

FUENTE: Ortega *et al.* (2015).

Después de recolectar las observaciones definidas en el plan experimental, es necesario ajustarlas a un modelo estadístico para investigar el efecto de los componentes sobre la respuesta. Para ello se utilizan los modelos canónicos de primer, segundo o tercer orden que resultan de la modificación del modelo de regresión lineal al incluir la restricción $\sum_{i=1}^q x_i = 1$. Los parámetros del modelo se estiman utilizando el método de mínimos cuadrados y el modelo se elige en función de la cantidad de puntos experimentales, la prueba de falta de ajuste y el resumen de estadísticos (Ortega *et al.*, 2015).

Una vez se tenga modelada la respuesta, el investigador puede predecirla en cualquier formulación posible dentro de la región experimental utilizada para ajustar el modelo; encontrando así, la composición de la mezcla que corresponda a un perfil de respuesta óptima. También puede cuantificar la influencia que tienen los diferentes componentes sobre la respuesta, tanto en forma individual como en su acción conjunta con otros componentes, en cuyo caso, en función de su signo se determinará si existe sinergismo o antagonismo entre los componentes (Ortega *et al.*, 2015).

2.8.2. 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 (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).

2.8.3. RESTRICCIONES MÚLTIPLES EN COMPONENTES DE LA MEZCLA

Se aplica en experimentos de mezclas con restricciones donde la región experimental es un polígono irregular. Se usan los vértices de la región restringida como la base del diseño, junto con puntos entre el centroide global y el centroide de la región experimental (Gómez *et al.*, 2015).

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 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).

2.8.4. 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:

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

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

Por lo tanto las restricciones delimitarán la región experimental factible a una zona o subregión del simplex. Por ejemplo, en la Figura 6, se observa un experimento con tres componentes el componente x_1 está limitado por $0,2 \leq x_1 \leq 0,8$. Si sólo este componente tuviera restricción, las mezclas a probar tendrían que ser elegidas de la región experimental resaltada en la Figura 6a). De entrada se aprecia que ya no será posible probar ninguna de las mezclas puras. Es decir, al restringir un valor mínimo y máximo a x_1 , como se debe cumplir que $x_1 + x_2 + x_3 = 1$, entonces implícitamente se imponen restricciones a los otros componentes. Si de manera adicional se estableciera la restricción $0,3 \leq x_2 \leq 0,7$ la región factible se muestra en la Figura 6b), donde se observa que esto obliga a que el valor máximo de x_1 ahora sea 0,7; es decir, $0,2 \leq x_1 \leq 0,7$; y en forma automática tendríamos que $0 \leq x_3 \leq 0,5$. Pero si también se deseara que $0,2 \leq x_3 \leq 0,5$; entonces la región experimental factible se muestre en la Figura 6c). Esta última restricción ocasiona que se restrinjan aún más los posibles valores de x_1 y x_2 . Se observa que la región experimental final está delimitada por $0,2 \leq x_1 \leq 0,5$; $0,3 \leq x_2 \leq 0,6$ y $0,2 \leq x_3 \leq 0,5$; como se ilustra en la Figura 6d).

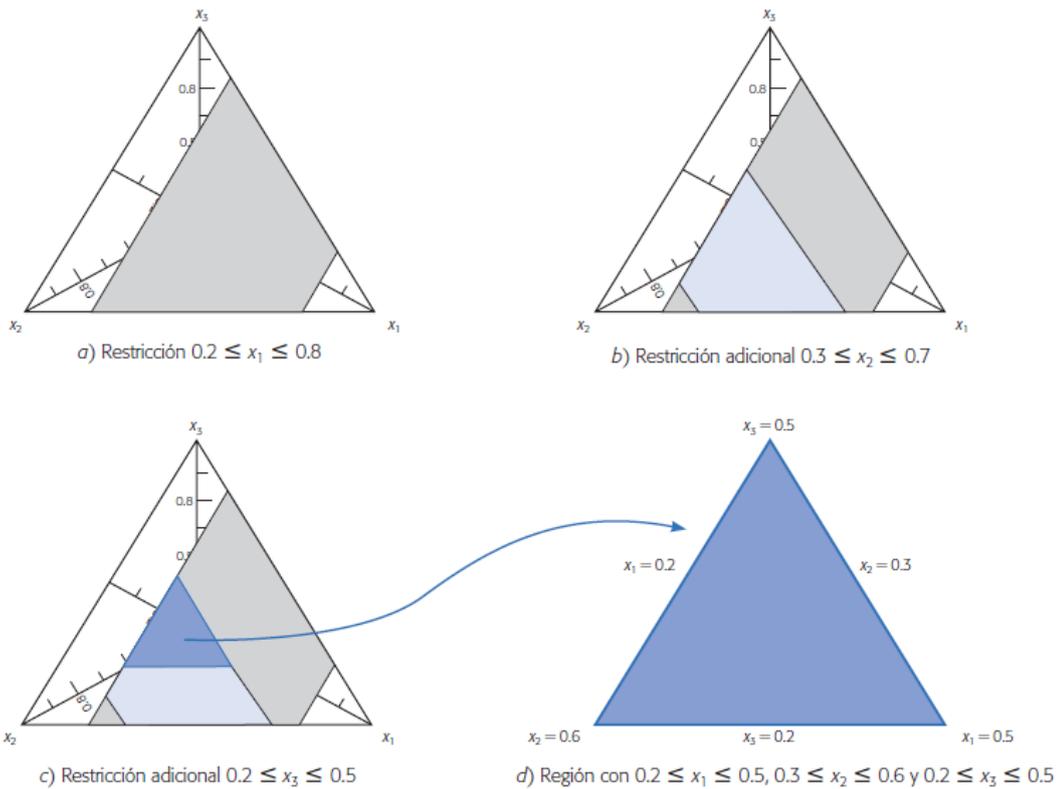


Figura 6: Regiones experimentales con restricciones en $q = 3$ componentes.

FUENTE: Gutiérrez y De la Vara (2008).

2.8.5. 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 7 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).

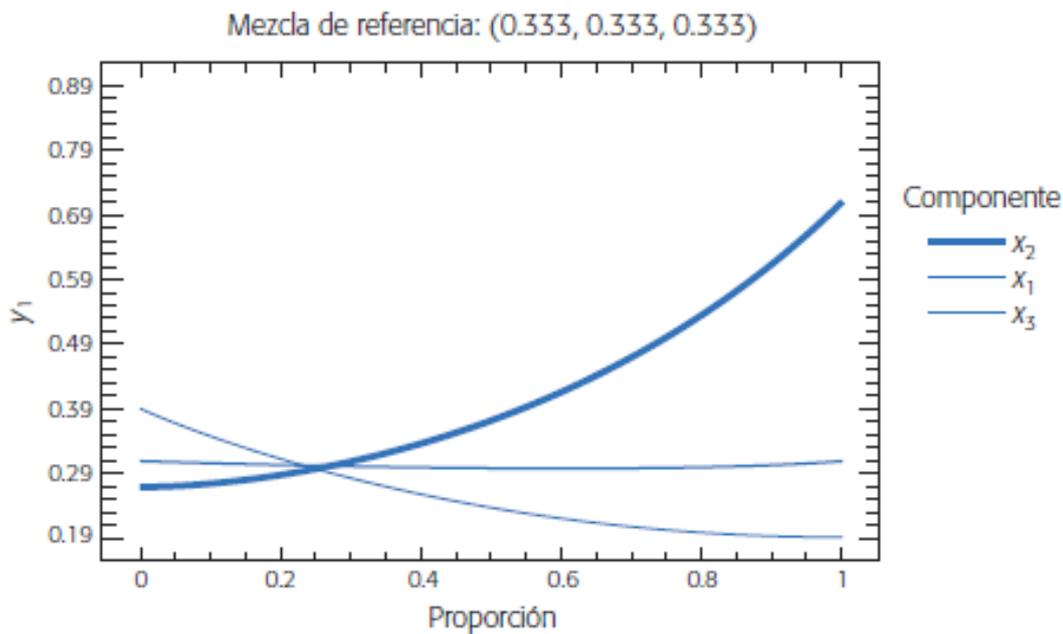


Figura 7: Ejemplo de gráfico de trazas

FUENTE: Gutiérrez y De la Vara (2008).

2.8.6. OPTIMIZACIÓN DE LA VARIABLE RESPUESTA

Gutiérrez y De la Vara (2008) menciona que si el modelo matemático no explica un mínimo de 70 por ciento del comportamiento de la respuesta, en términos del R^2 ajustado, no se recomienda utilizarlo para fines de optimización porque su calidad de predicción es mala.

Según Escobar y Mujica (2015) la optimización de una variable respuesta se puede dar en términos de la función deseabilidad, haciendo uso de un software estadístico, en el cual se elige el criterio de optimización deseada: maximizar, minimizar o valor objetivo (target). Si el criterio de optimización fuese el de valor objetivo, se declara su valor en el campo correspondiente, además de una restricción si fuese el caso. Seguidamente el *software* reporta las coordenadas de los puntos óptimos, que se encuentran sobre la cordillera óptima dentro de la región experimental. En general la solución es el punto óptimo más cercano al valor deseado de la respuesta, por lo tanto el de mayor deseabilidad.

2.8.7. 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 (Núñez de Villavicencio, 2002).

El modelo matemático análogo a esta reacción psicológica es la media geométrica de los valores de conveniencia individuales (Derringer y Suich; citados por Núñez 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 (Núñez 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 (Núñez 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).

2.9. 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).

2.9.1. PRUEBAS ORIENTADAS AL CONSUMIDOR (PRUEBAS AFECTIVAS)

Las pruebas orientadas al consumidor incluyen las pruebas de preferencia, pruebas de aceptabilidad y pruebas hedónicas (nivel de agrado en que gusta un producto). Estas pruebas se consideran pruebas al 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).

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. 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).

2.9.2. 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).

2.9.3. 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 el 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. Al tratar este tipo de escalas, es condición indispensable que las diferencias entre intervalos sucesivos sean iguales, para que el tratamiento estadístico por pruebas paramétricas clásicas (Prueba de distribución normal, Prueba *T student*) sea válido (Ibáñez y Barcina, 2001).

Martin y De Revel (1999), sugieren que para el análisis de datos obtenidos de una prueba de escala hedónica, se verifique si estos responden a una distribución unimodal o multimodal tal como se muestra en la Figura 8. Solamente en el caso de una distribución unimodal el cálculo de la media aritmética (estadístico descriptivo), de los datos obtenidos

del grado de satisfacción para cada atributo, tendrá sentido. En el caso de una distribución multimodal, se podrá separar grupos con diferentes productos y mediante un análisis de varianza (ANOVA) se podrán relacionar los factores producto y consumidores, y ver si existen diferencias significativas entre consumidores y entre productos.

Para analizar los datos obtenidos mediante esta prueba, se realiza una conversión de la escala verbal en numérica, esto es, se le asignan valores consecutivos a cada descripción, dichos valores pueden procesarse posteriormente a través de análisis estadístico (pruebas paramétricas), o simplemente llegar a una conclusión de la aceptación de los productos mediante el valor obtenido al calcular la media aritmética de la respuesta de los consumidores para cada muestra y hacerlo coincidir con el término que corresponde a la escala verbal (Martin y De Revel, 1999).

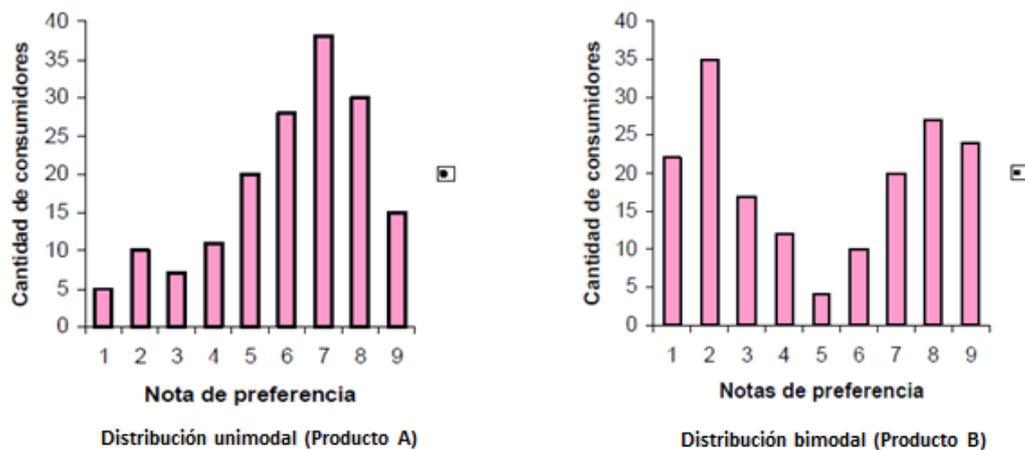


Figura 8: Ejemplos de distribución unimodal y bimodal de notas de preferencia sobre dos productos.

FUENTE: Martin y De Revel (1999).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación se llevó a cabo en la Universidad Nacional Agraria La Molina, 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 Ninacaca-Pasco (Edad: 12-18 meses, Sexo: macho, Raza:k'ara).
- Azúcar blanca marca Casa Grande®
- Pecanas Molidas
- Harina de kañiwa marca La Casa Marimiel®
- Canela molida marca Sibarita®
- Sal marca Emsal®
- Sal de cura adquirida en Montana S.A
- Tripas naturales de cordero de calibre 18 a 20 mm.

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS

3.3.1. MATERIALES

- Cuchillos.
- Cucharones.
- Tablas de picar.
- Recipientes de plástico y/o acero inoxidable.
- Papel toalla doble hoja.
- Pabilo.
- Guantes descartables.

- Vasos y platos descartables.
- Bolsas de polietileno de alta densidad.

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 Instron®, modelo 3365 (Estados Unidos).
- Medidor de actividad de agua marca AquaLab®, modelo 3TE (Estados Unidos).
- Picadora marca Robot Coupe® modelo R 5 V.V. (Estados Unidos).
- Cámara climática marca Climacell®, modelo CLC111-TV (Estados Unidos).
- Embutidora, s/m (Perú).
- Cámara de refrigeración (Perú).
- Empacadora al vacío (Perú).

3.3.3. SOFTWARE

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

3.4. METODOS DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN

3.4.1. ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO

3.4.1.1. ANÁLISIS PROXIMAL

Se realizó el análisis proximal para cada componente de la mezcla (carne de llama, pecanas y harina de kañiwa) y a la butifarra dulce seca de fórmula óptima, con los siguientes métodos oficiales de la AOAC (2007):

- **Determinación de Humedad:** según el método 950.46 y 934.01 (AOAC, 2007).
- **Determinación de Proteína:** según el método 928.08 y 992.15 (AOAC, 2007).
- **Determinación de Grasa:** según el método 960.39, 991.36 y 920.85 (AOAC, 2007).
- **Determinación de Ceniza:** según el método 920.153 (AOAC, 2007).
- **Determinación de Fibra:** según el método 920.86 (AOAC, 2007).

3.4.1.2. DETERMINACIÓN 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 Croma (C*).

3.4.1.3. DETERMINACIÓN DE ACTIVIDAD DE AGUA

La actividad de agua del producto se midió mediante el equipo *AquaLab Water Activity Meter (Decagon Devices Inc®)*. Se utilizó 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 (aproximadamente 25 °C) (Rebatta, 2014).

3.4.2. ANÁLISIS DE TEXTURA INSTRUMENTAL

Se realizó con texturómetro INSTRON® Modelo 3365, con el accesorio *Compression Anvil*, este es una sonda cilíndrica de 57 mm de diámetro por 105 mm de altura y una celda de carga con un máximo de 2 KN. Se programó a una doble compresión al 50% de deformación y a una velocidad de cabezal de 120 mm/min, con un tiempo de espera de 5 segundos entre compresiones. Las muestras se cortaron en rodajas de 20 mm de altura para su medición, se realizaron seis repeticiones calculando luego el promedio de los resultados (Hleap y Velazco, 2010).

3.4.3. ANALISIS SENSORIAL

Se realizó una prueba de aceptabilidad con escala hedónica de siete puntos, para medir el nivel de agrado de la fórmula óptima.

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 consumidores habituales del producto.

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

A los panelistas se les pidió evaluar muestras del producto, indicando su nivel de agrado en cuanto a los atributos de color, olor, sabor y textura del alimento. Cada muestra fue de 20 g aproximadamente que equivalen a dos rodajas de 2 cm de alto y se presentaron en platos descartables color blanco. A cada panelista se le brindó un vaso de agua, y el formato de las cartillas para la prueba (Anexo 2) y un lapicero antes de dar inicio a la prueba.

3.4.4. ANALISIS ESTADISTICO

3.4.4.1. Para análisis fisicoquímicos y textura instrumental

Se realizó el análisis de varianza (ANOVA), con el *software Design-Expert 7*, a las variables color, actividad de agua y textura instrumental.

Para analizar los resultados la primera tarea es seleccionar y ajustar el modelo adecuado para la variable, el cual puede ser lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico (Montgomery, 2009).

Para esto se utilizó el valor-p y el coeficiente de determinación R^2 y R^2 ajustado, para determinar si la variable se ajusta a un modelo significativo.

El valor-p 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. Con el criterio del valor-p normalmente se elige el modelo más complicado con un valor-p menor que 0.05 (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.

Asimismo, otro criterio más cuantitativo es el que proporciona el coeficiente de determinación, en general el R^2 se interpreta como la proporción de la variabilidad en los datos (Y) que es explicada por el modelo. Es claro que $0 < R^2 \leq 1$, sin embargo cuando hay muchos términos en un modelo, el estadístico R^2 ajustado, se prefiere en lugar de R^2 , puesto que este último es engañoso al incrementarse en forma artificial con cada término que se agrega al modelo, aunque sea un término que no contribuya en nada a la explicación de la respuesta. En cambio, el R^2 ajustado incluso baja de valor cuando el término que se agrega no aporta nada. Se cumple que $0 < R^2_{adj} \leq R^2 \leq 1$ (Gutiérrez y De la Vara, 2008).

Montgomery (2009) menciona que para la selección de un modelo, el R^2 y R^2 ajustado debe presentar valores mayores al 0,8 lo cual indica un ajuste satisfactorio. Sin embargo Gutiérrez y De la Vara (2008) señalan que para hablar de un modelo que tiene un ajuste satisfactorio es necesario que el coeficiente de determinación ajustado sea de al menos 0,7.

3.4.4.2. Para análisis sensorial

Martin y De Revel (1999), sugieren que para el análisis de datos obtenidos de una prueba de escala hedónica, se verifique si estos responden a una distribución unimodal o multimodal, solamente en el caso de una distribución unimodal el cálculo de la media aritmética (estadístico descriptivo) de los datos obtenidos del grado de satisfacción para cada atributo, tendrá sentido.

Ibáñez y Barcina (2001) mencionan que para el tratamiento estadístico de los resultados obtenidos mediante esta escala, se pueden transformar las respuestas en números, existiendo dos alternativas. Por ejemplo asignar valores entre uno, para el extremo inferior “Me disgusta extremadamente”, y siete para el extremo superior “Me gusta extremadamente” o asociar la clasificación de cero al punto medio “No me gusta, ni me disgusta”, de manera que los puntos que estén por encima de este valor sean valores positivos y los que estén por debajo sean negativos. Al tratar este tipo de escalas, es condición indispensable que las diferencias entre intervalos sucesivos sean iguales, para que el tratamiento estadístico por pruebas paramétricas clásicas sea válido.

Debido a que se evaluó solo una muestra, se analizó los datos obtenidos del grado de satisfacción para cada atributo de la muestra, utilizando la media aritmética como estadístico descriptivo y una prueba paramétrica “Prueba Z o Prueba de Distribución Normal” con un nivel de confianza del 95%, para demostrar si el grado de satisfacción de los atributos del producto es aceptable o no, teniendo como referencia una media poblacional aceptable a partir del grado de satisfacción “No me gusta, ni me disgusta” equivalente a 4.

3.5. DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES DEL PROCESO

En la Figura 9, se muestra el flujo de elaboración de la butifarra dulce seca 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 (Rebatta, 2014). Se realizó con el método de curado en seco, donde se mantuvo la carne trozada a 4 °C durante 24 horas (Rebatta, 2014).
- **Molienda:** Se disminuyó el tamaño de los trozos de carne para aumentar así la superficie de contacto. Este proceso se llevó a cabo con la materia prima refrigerada a temperaturas entre 5 - 7°C y vigilando que las cuchillas tengan un filo adecuado. 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 con las pecanas molidas y demás ingredientes.
- **Reposo:** Se realizó para que los ingredientes de la mezcla se compenetren. La masa cárnica se mantuvo en refrigeración por 24 horas.
- **Embutido:** La masa obtenida se introdujo en tripas de cordero de calibre 18 a 20 mm, por medio de una embutidora manual, se realizó presión durante el proceso con el fin de evitar introducir aire al producto (Rebatta, 2014).
- **Secado:** Se realizó en la cámara climática a una temperatura de 12°C y humedad relativa controlada entre 80 a 65 por ciento (Fadda *et al.*, 2004). El tiempo de estancia del producto dentro de la cámara fue de 16 días a una temperatura constante y humedad relativa que fue disminuyendo un 5 por ciento cada 4 días. Además se utilizó cordeles de algodón para atar los embutidos a la rejilla de acero inoxidable ubicada en la parte superior dentro de la cámara.
- **Envasado:** Se empacó al vacío utilizando bolsas de polietileno de alta densidad.
- **Almacenamiento:** El producto final se almacenó a temperatura de refrigeración

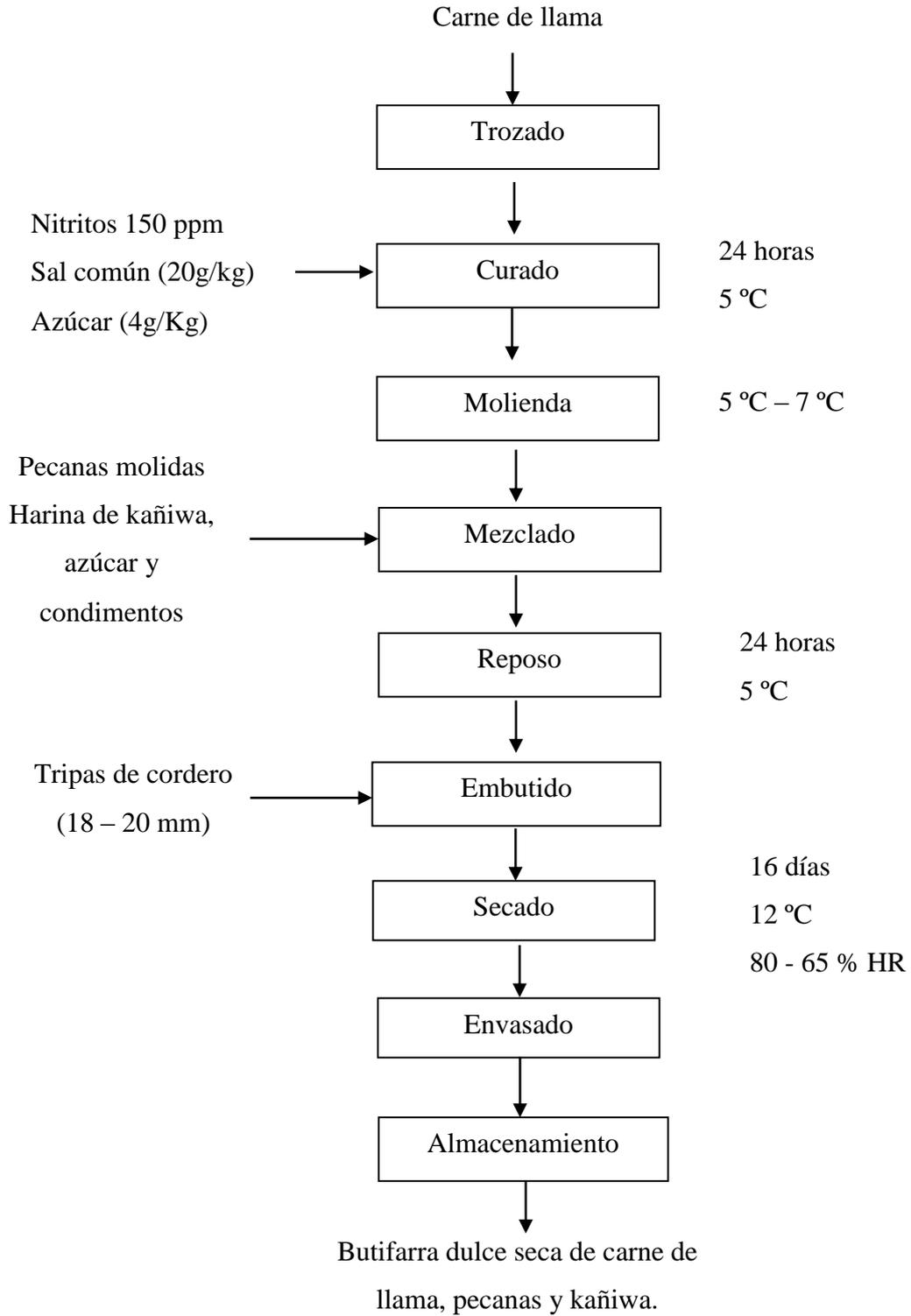


Figura 9: Diagrama de flujo para la elaboración de butifarra dulce seca de carne de llama, pecanas y harina de kañiwa.

3.6. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.6.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

Primera etapa: Caracterización de la materia prima

Se realizó el análisis proximal de la carne de llama, pecanas molidas y harina de kañiwa.

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

Para obtener las formulaciones a evaluar, se utilizó el *software Design-Expert®7*, luego se eligió el diseño *D-Optimal* el cual, de acuerdo al *software* y a la literatura, es aplicable para experimentos de mezclas con restricciones.

Seguidamente se ingresó al programa, la restricción correspondiente a cada uno de los componentes. Para el componente carne de llama se estableció un máximo de 80 por ciento teniendo como referencia altos porcentajes de este ingrediente en fórmulas tradicionales de butifarra y sus variantes. La restricción para el componente pecanas molidas se estableció entre 10 y 20 por ciento, para el límite máximo se consideró la investigación de Vigo (2014) quien recomienda la utilización de un máximo de 20 por ciento para la elaboración de un reestructurado de carne de alpaca con inclusión de pecanas y transglutaminasa, y para el límite mínimo se consideró los resultados obtenidos en las pruebas preliminares. Por último, la restricción para el componente harina de kañiwa se estableció entre 0 y 10 por ciento, se tuvo como referencia la investigación de Lavy (2016), quien recomienda la inclusión de un máximo de 1,14 por ciento de harina de kiwicha en butifarra dulce de carne de llama, y resultados obtenidos en pruebas preliminares.

Las restricciones de los ingredientes de la masa principal se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11: Restricciones de los componentes de la masa principal

COMPONENTE	MÍNIMO	MÁXIMO
Carne de llama	70%	80%
Pecanas molidas	10%	20%
Harina de Kañiwa	0%	10%

Con estos datos y de acuerdo al diseño elegido, el programa seleccionó al azar un total de 14 corridas (6 corridas para ajustar el modelo matemático de la mezcla, 4 corridas diferentes adicionales para verificar la falta de ajuste y 4 réplicas de estas corridas a fin de proporcionar una estimación del error puro) que se encontraron dentro de la región

delimitada por las restricciones. Las formulaciones se muestran en el Cuadro 12. Los demás ingredientes, como la azúcar (40 por ciento), sal (1 por ciento) y canela molida (0,2 por ciento), se mantuvieron constantes en sus proporciones.

Cuadro 12: Formulaciones obtenidas al aplicar el programa *Design-Expert*® 7.

Nº	CARNE DE LLAMA	PECANAS MOLIDAS	HARINA DE KAÑIWA
1	80,000	10,000	10,000
2	70,000	20,000	10,000
3	75,000	20,000	5,000
4	78,333	13,333	8,333
5	80,000	15,000	5,000
6	75,000	15,000	10,000
7	80,000	20,000	0,000
8	80,000	20,000	0,000
9	80,000	10,000	10,000
10	75,000	15,000	10,000
11	78,333	18,333	3,333
12	76,667	16,667	6,667
13	70,000	20,000	10,000
14	73,333	18,333	8,333

Tercera etapa: Evaluación de las formulaciones de la butifarra dulce seca de carne de llama, pecanas y harina de kañiwa

A cada formulación se le realizó los análisis de color, actividad de agua y textura instrumental. Posteriormente se realizó un análisis de varianza a los resultados de dichas variables, y se determinó, que variables se ajustaron a un modelo matemático significativo (variable respuesta).

Cuarta etapa: Elección de la formulación óptima

Para elegir la formulación óptima se elaboró una muestra patrón a base de carne de res, cuya formulación se detalla en el Cuadro 13 y se le realizó los mismos análisis que a las formulaciones dadas por el *software*. Los resultados obtenidos sirvieron para definir los valores deseados de las variables respuesta, los cuales se ingresaron al *software* teniendo como criterio de optimización a la función deseabilidad del tipo “valor objetivo”, para 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.

Cuadro 13: Formulación de la muestra patrón

COMPONENTE	PORCENTAJE*
Carne de res	60%
Azúcar	40%
Sal	1%*
Canela en polvo	0,2%*

*Cantidades en base a la masa principal.

Quinta etapa: Validación de la formulación óptima

Se replicó la formulación óptima utilizando carne de llama por cada sistema de alimentación (I: Pastoreo en pradera natural, II: Pastoreo en pradera natural + suplemento con heno de alfalfa, III: Pastoreo en pradera natural + suplemento con heno de alfalfa + suplemento vitamínico) y se realizó los mismos análisis que a las formulaciones dadas por el *software*, y se comparó los resultados experimentales de la butifarra dulce seca, con los resultados teóricos que obtuvo el modelo, y se validó con la butifarra dulce seca que presentó valores dentro de rango admitido por el modelo de variable respuesta.

Sexta etapa: Caracterización del producto final

Se realizó un análisis proximal al producto con formulación óptima proveniente del sistema de alimentación con mayor similitud a los resultados teóricos que obtuvo el modelo, y posteriormente se evaluó sensorialmente.

El diseño experimental seguido en la investigación se muestra en la Figura 10.

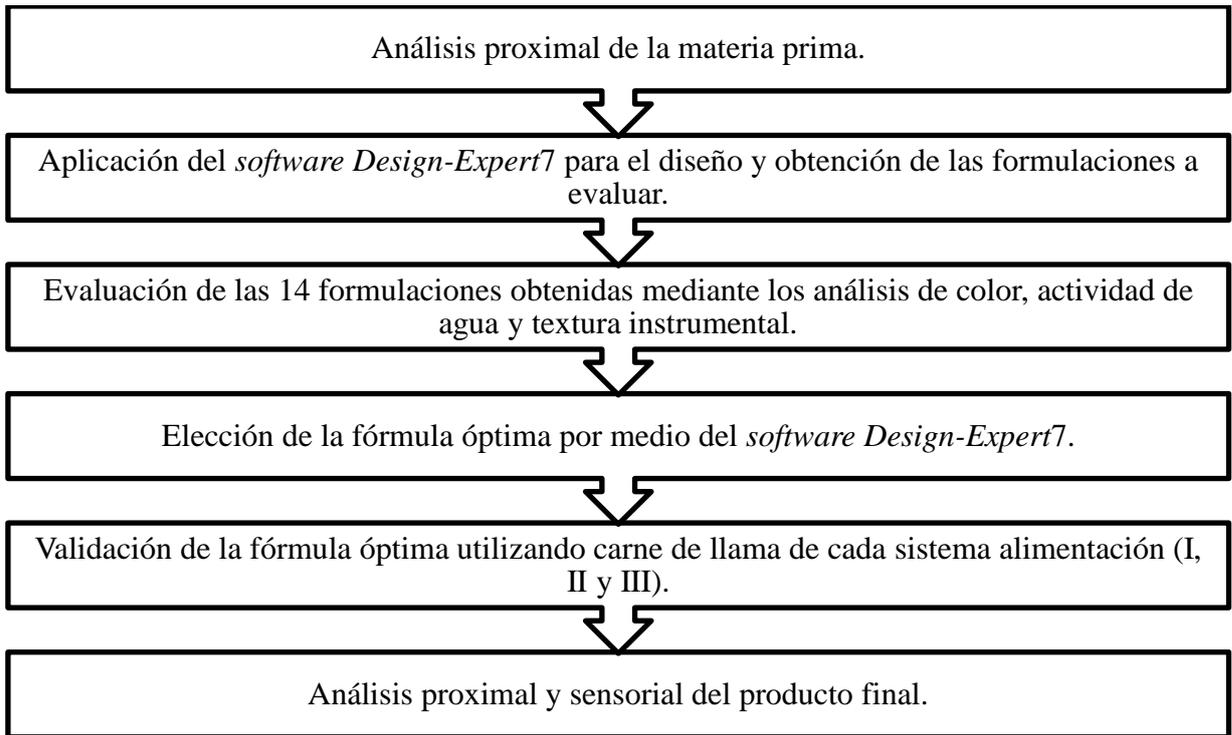


Figura 10: Diseño experimental de la investigación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. ANALISIS PROXIMAL DE LAS MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS

4.1.1. CARNE DE LLAMA

En el Cuadro 14 se muestra los resultados obtenidos en el análisis proximal de la carne de llama, que comparado con los obtenidos por Mamani-Linares y Gallo (2013) quienes analizaron carne de llamas jóvenes entre 1,5 a 2 años de edad, de la variedad Kh'ara, procedentes de Bolivia, con una composición de 72,58 por ciento de humedad, 25,19 por ciento de proteína, 0,42 por ciento de grasa, y 1,35 por ciento de ceniza; son similares en porcentaje, sin embargo Polidori *et al.* (2007), en su investigación reporta un contenido de grasa mayor que oscila entre 1,56 a 3,51 por ciento para llamas de 2 a 3,5 años de edad. 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 y sistema de alimentación.

Cuadro 14: Resultados del análisis proximal de la carne de llama (*Lama glama*)

COMPONENTE	PORCENTAJE (B.H)*	PORCENTAJE (B.S)*
Humedad	74,66	--
Proteína	24,60	97,10
Grasa	0,61	2,42
Cenizas	0,92	0.23

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

4.1.2. PECANAS

Los resultados obtenidos en el Cuadro 15, revelan una similitud con los resultados citados por Vigo (2014), donde menciona que las pecanas son una importante fuente de lípidos en un 71,9 por ciento, proteínas 15,2 por ciento y carbohidratos 13,9 por ciento, además de un

contenido de agua reducido de 3,5 por ciento. Mientras que Flores-Córdova *et al.*(2016) también reportaron valores similares a los mencionados en el Cuadro 15, para nuez pecan variedad *Western Schley*, de 69,4 por ciento en lípidos, 7,8 por ciento en fibra, 9,9 por ciento en proteína y 3,7 por ciento en humedad.

Cuadro 15: Resultados del análisis proximal de pecanas molidas

COMPONENTE	PORCENTAJE (B.H)*	PORCENTAJE (B.S)*
Humedad	3,52	--
Proteína	9,22	9,55
Grasa	72,30	74,94
Carbohidratos totales	13,52	10,37
Fibra cruda	9,10	9,42
Cenizas	1,44	1,50

*Resultados presentados en base húmeda y base seca, obtenida a partir de un promedio de tres repeticiones.

4.1.3. HARINA DE KAÑIWA

Gross *et al.* (1989) y Repo-Carrasco *et al.*(2003) reportaron que la kañiwa posee 63 a 66 por ciento de carbohidratos, 15 a 18 por ciento de proteínas, 6 a 8 por ciento de lípidos y 3 a 4 por ciento de cenizas. Por otro lado Ramírez (2004) reportó valores para la harina de kañiwa con un 5,9 por ciento de humedad, 13,21 por ciento de proteína, 12,17 por ciento de grasa y 3,37 por ciento de fibra. Siendo estos resultados similares a los obtenidos del análisis proximal de la harina de kañiwa que se muestran en el Cuadro 16. Ambos autores basaron sus estudios en kañiwa de origen peruano.

Cuadro 16: Resultados del análisis proximal de harina de kañiwa

COMPONENTE	PORCENTAJE (B.H)*	PORCENTAJE (B.S)*
Humedad	6,12	--
Proteína	14,78	15,74
Grasa	7,44	7,92
Carbohidratos totales	68,72	63,89
Fibra cruda	5,57	3,13
Cenizas	2,94	5,93

*Resultados presentados en base húmeda y base seca, obtenida a partir de un promedio de tres repeticiones.

4.2. COLOR

4.2.1. ESTABLECIMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el Cuadro 17 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 17: Resultados del croma (C*) de la mezcla de componentes de la butifarra dulce seca en las formulaciones experimentales

FORMULA Nº	CARNE DE LLAMA (%)	PECANAS MOLIDAS (%)	HARINA DE KAÑIWA (%)	COLOR (C*)*
1	80,000	10,000	10,000	5,747 ± 0,612
2	70,000	20,000	10,000	6,520 ± 0,231
3	75,000	20,000	5,000	7,480 ± 0,183
4	78,333	13,333	8,333	6,750 ± 0,340
5	80,000	15,000	5,000	6,483 ± 0,228
6	75,000	15,000	10,000	6,597 ± 0,333
7	80,000	20,000	0,000	8,880 ± 0,357
8	80,000	20,000	0,000	8,127 ± 0,750
9	80,000	10,000	10,000	5,867 ± 0,289
10	75,000	15,000	10,000	6,553 ± 0,304
11	78,333	18,333	3,333	8,190 ± 0,046
12	76,667	16,667	6,667	8,440 ± 0,398
13	70,000	20,000	10,000	7,023 ± 0,205
14	73,333	18,333	8,333	5,210 ± 0,373

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

El análisis estadístico demostró que los componentes de la mezcla no influyeron significativamente en el color. Debido a los resultados obtenidos en el análisis de varianza, donde se evidencia que el modelo seleccionado es significativo (valor-p<0,05), sin embargo la prueba de falta de ajuste es significativa también (valor-p<0,05) tal como se muestra en el Anexo 3. Además de presentar R² y R²adj para el modelo seleccionado de 0,6078 y 0,5365 respectivamente, con ello se puede afirmar que el modelo no es significativo y suficiente para representar la relación existente entre la variable respuesta

(Color) y las variables estudiadas (carne de llama, pecanas y harina de kañiwa), por lo que es inviable un análisis de superficie de respuesta en este caso.

4.3. ACTIVIDAD DE AGUA

4.3.1. ESTABLECIMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el Cuadro 18 se presentan los valores de la actividad de agua (aw) correspondientes a cada una de las formulaciones estudiadas.

Cuadro 18: Resultados de la actividad de agua de la mezcla de componentes de la butifarra dulce en las formulaciones experimentales

FORMULA Nº	CARNE DE LLAMA (%)	PECANAS MOLIDAS (%)	HARINA DE KAÑIWA (%)	ACTIVIDAD DE AGUA (AW)*
1	80,000	10,000	10,000	0,836 ± 0,004
2	70,000	20,000	10,000	0,854 ± 0,004
3	75,000	20,000	5,000	0,827 ± 0,003
4	78,333	13,333	8,333	0,821 ± 0,001
5	80,000	15,000	5,000	0,828 ± 0,004
6	75,000	15,000	10,000	0,832 ± 0,001
7	80,000	20,000	0,000	0,810 ± 0,001
8	80,000	20,000	0,000	0,806 ± 0,003
9	80,000	10,000	10,000	0,829 ± 0,001
10	75,000	15,000	10,000	0,830 ± 0,002
11	78,333	18,333	3,333	0,801 ± 0,005
12	76,667	16,667	6,667	0,808 ± 0,003
13	70,000	20,000	10,000	0,820 ± 0,006
14	73,333	18,333	8,333	0,790 ± 0,004

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

El análisis estadístico demostró que los componentes de la mezcla no influyeron significativamente en la actividad de agua. Debido a los resultados obtenidos en el análisis de varianza, donde se evidencia que el modelo seleccionado no es significativo (valor- $p > 0,05$), sin embargo la prueba de falta de ajuste es no significativa (valor- $p > 0,05$) tal como se muestra en el Anexo 4. Además de presentar R^2 y R^2_{adj} para el modelo seleccionado es 0,6132 y 0,2817 respectivamente, con ello se puede afirmar que el modelo no es significativo y suficiente para representar la relación existente entre la variable respuesta (actividad de agua) y las variables estudiadas (carne de llama, pecanas y harina de kañiwa), por lo que es inviable un análisis de superficie de respuesta en este caso.

4.4. TEXTURA INSTRUMENTAL

4.4.1. ESTABLECIMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el Cuadro 19 se presentan los resultados obtenidos del análisis de perfil de textura correspondiente a cada una de las formulaciones estudiadas.

Según el análisis estadístico para el perfil de textura, se demostró que los componentes de la mezcla no influyeron en los atributos de gomosidad, masticabilidad, elasticidad y dureza ($R^2=0,3956$, $R^2=0,3524$, $R^2=0,3462$ y $R^2=0,5670$ respectivamente) a excepción de la cohesividad, por lo que se continuó utilizando los resultados de este atributo en los siguientes pasos de la metodología.

Cuadro 19: Resultados del análisis de perfil de textura (TPA) de la mezcla de componentes de la butifarra dulce en las formulaciones experimentales

N°	DUREZA	COHESIVID	GOMOSIDA	MASTICABILI	ELASTICID
	(N)	AD	D	DAD	AD
	(N)	-	(N)	(Nmm)	(mm)
1	52,854	0,387	20,509	11,639	0,567
2	48,362	0,323	15,677	8,958	0,572
3	43,781	0,350	15,908	8,348	0,567
4	59,627	0,432	25,723	13,889	0,540
5	45,454	0,415	18,822	10,374	0,535
6	46,588	0,453	21,031	10,434	0,503
7	40,992	0,473	19,417	12,124	0,607
8	37,376	0,438	16,310	9,289	0,567
9	52,766	0,408	21,562	12,335	0,553
10	52,639	0,400	21,060	11,583	0,550
11	41,005	0,422	17,178	9,870	0,575
12	36,093	0,388	14,022	8,336	0,555
13	51,253	0,363	18,694	10,507	0,527
14	50,973	0,377	19,258	10,680	0,555

El análisis estadístico demostró que los componentes de la mezcla si influyeron significativamente en la cohesividad. Debido a los resultados obtenidos en el análisis de varianza, donde se evidencia que el modelo seleccionado es significativo (valor- $p < 0,05$), y la prueba de falta de ajuste es no significativa (valor- $p > 0,05$) tal como se muestra en el Anexo 5. Además de presentar R^2 y R^2_{adj} para el modelo seleccionado de 0,8342 y 0,7306 respectivamente, con ello se puede afirmar que el modelo es significativo y suficiente para representar la relación existente entre la variable respuesta (Cohesividad) y las variables estudiadas (carne de llama, pecanas y harina de kañiwa), por lo que es viable un análisis de superficie de respuesta en este caso.

Cabe mencionar que los valores observados de cohesividad fueron sometidos al análisis de regresión múltiple, con el cual el modelo se ajustó a una ecuación cuadrática:

$$\text{Cohesividad} = -0,000183455*A - 0,15990*B + 0,17346*C + 0,0022935*A*B - 0,00191257*A*C - 0,000264966*B*C$$

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

4.4.2. EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE LA COHESIVIDAD

Se analizó la influencia de los componentes de la mezcla estudiados en la cohesividad del producto final mediante ploteos de la superficie de respuesta (Figuras 11 y 12) y gráfico de trazas (Trazos de Cox) como se ve en la Figura 13.

En la Figura 11 y 12 se observa que el mayor valor de cohesividad es de 0,473 (color rojo) y el menor es 0,323 (color azul). También se observa que aquellas mezclas con menor proporción en el componente harina de kañiwa (C) presentan mayor cohesividad, y esta a su vez disminuye considerablemente cuando disminuye la proporción del componente pecana (B) y componente carne de llama (A), siendo más notoria en esta última.

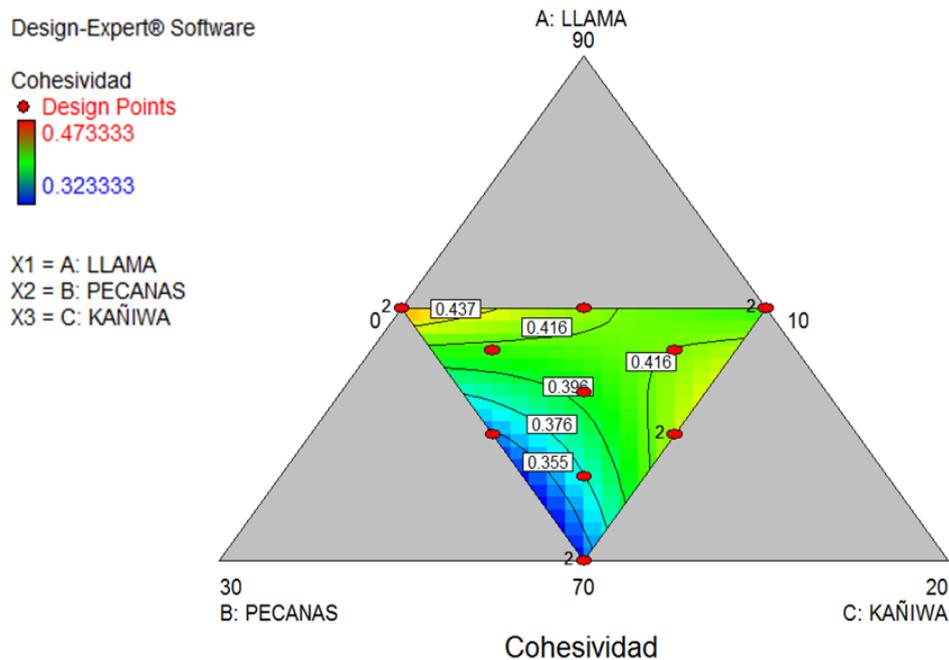


Figura 11: Ploteo de contornos de la cohesividad de los componentes.

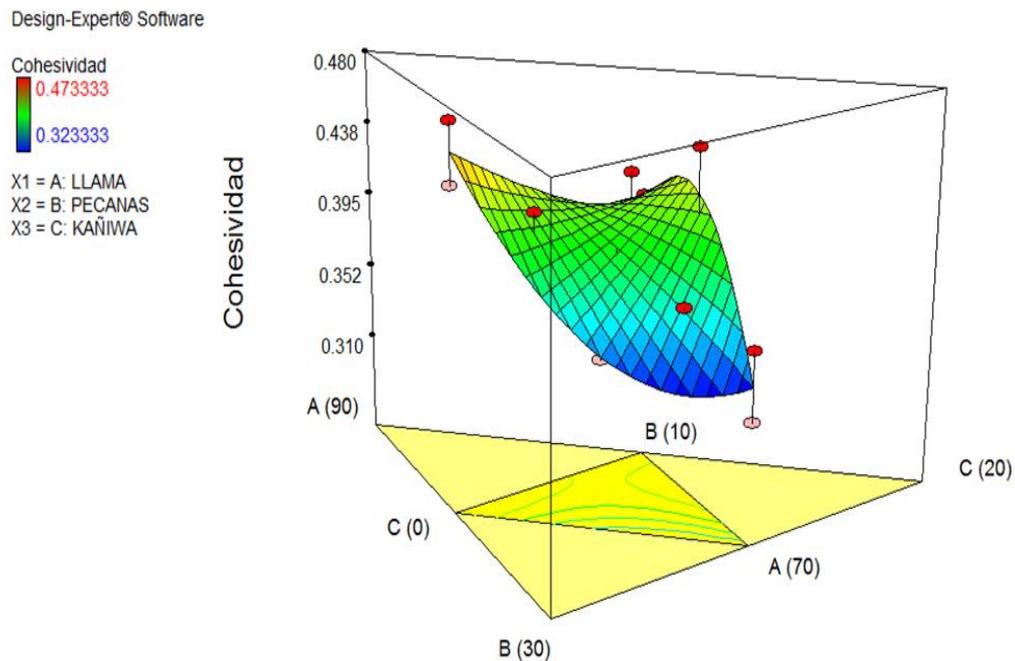


Figura 12: Superficie de respuesta tridimensional de la cohesividad.

Según Gutiérrez y De la Vara (2008) 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 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 el gráfico de Trazos de Cox (figura 13), se observa claramente la influencia de la carne de llama (A) y pecanas (B) en la cohesividad de la mezcla. A medida que la proporción de harina de kañiwa (C) disminuye, la cohesividad aumenta en relación inversamente proporcional; caso contrario sucede con la proporción de carne de llama (A) y pecanas (B) en el cual se observa una relación directamente proporcional.

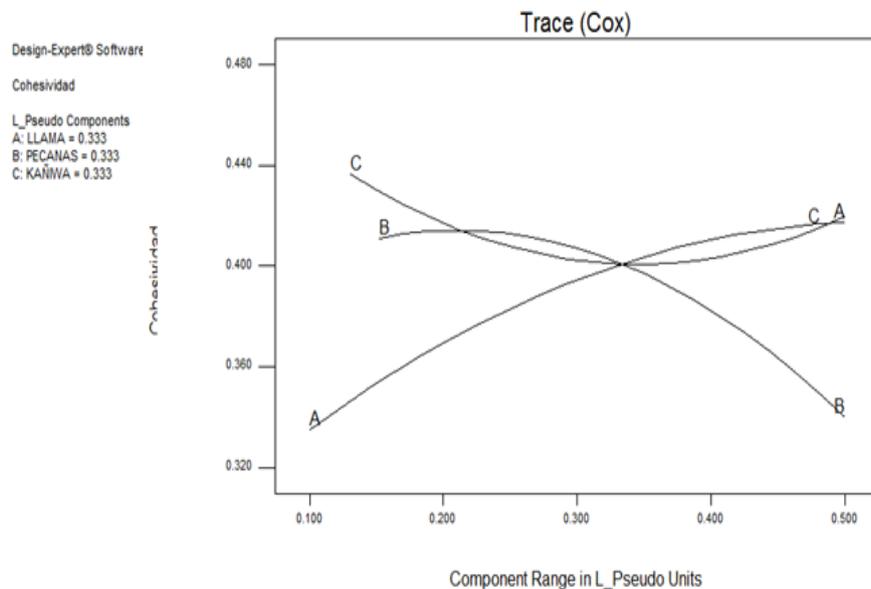


Figura 13: Trazos de Cox de la cohesividad.

Alvarado (2006) señala que las muestras de salchichas con harina de *Lupinus* son menos cohesivas que las muestras con concentrado o aislado de *Lupinus*. Lo cual tiene congruencia ya que la harina contiene menor cantidad proteica, y el concentrado o aislado tiene una mayor concentración proteica lo que hace que la interacción entre moléculas, durante la formación de la emulsión sea más estable y cohesiva, ya que una de las propiedades funcionales de las proteínas es la de mantener la cohesividad.

En este caso se observa que aquellas mezclas con menor proporción de harina de kañiwa (C) presentan mayor cohesividad. Análogamente Albarracín *et al.* (2010) reporta valores de cohesividad mayores, en salchicha tipo Frankfurt con inclusión de harina de frijol al 3 por ciento, a comparación de las salchichas tipo Frankfurt con inclusión de harina de frijol al 6 y 9 por ciento. Por lo tanto, mayores valores de cohesividad presentan menor deformación por el primer ciclo de compresión, acreditando la estabilidad de la emulsión; sin embargo en la inclusión de harina de frijol al 6 y 9 por ciento son poco cohesivas, es decir, su integridad es débil y en un segundo ciclo no son capaces de retornar a su forma original.

4.5. OPTIMIZACIÓN DE LA VARIABLE RESPUESTA

Después de haber realizado el análisis estadístico correspondiente a las variables de interés, solo se obtuvo a la cohesividad como única variable respuesta que se ajustó a un modelo matemático significativo (valor- $p < 0,05$, $R^2 = 0,8342$ y $R^2_{adj} = 0,7306$). Luego se procedió a realizar la optimización en términos de la función deseabilidad del tipo “valor objetivo”.

Para esto se elaboró una butifarra patrón con carne de res y luego se le analizó en función a la variable respuesta, con estos datos se aplicaron restricciones a la superficie de respuesta tal como se muestra en el Cuadro 20.

Cuadro 20: Resultados de los análisis de la butifarra dulce patrón

BUTIFARRA	COHESIVIDAD
Patrón	0,467

Mediante el programa *Design-Expert*® 7 se procedió a generar las restricciones en la variable respuesta, de acuerdo a lo presentado en el Cuadro 21, para que el producto se asemeje al patrón.

Cuadro 21: Restricciones para la optimización de la fórmula

VARIABLE	OBJETIVO	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
Carne de llama	En rango	70	80
Pecanas	En rango	10	20
Harina de kañiwa	En rango	0	10
Cohesividad	Objetivo=0,467	0,430	0,473

Se escogieron 3 formulaciones óptimas que cumplían con los criterios mencionados (Anexo 7), 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 22 se muestra la formulación óptima elegida y las variables respuesta estimadas por el programa.

Cuadro 22: Formulación óptima de la butifarra dulce de carne de llama

SOLUCIÓN	CARNE	PECANA	KAÑIWA	COHESIVIDAD	DESEABILIDAD
N	(%)	(%)	(%)	AD	AD
1	80,00	20,00	0,00	0,457	0,725

En la Figura 14 se muestra gráficamente el punto óptimo con mayor deseabilidad obtenido en el análisis, también en la Figura 15 se visualiza el punto óptimo de cohesividad; mientras en la Figura 16 se observa la superficie de respuesta óptima generada por la variable respuesta cohesividad, y sus respectivas restricciones descritas en el cuadro 21.

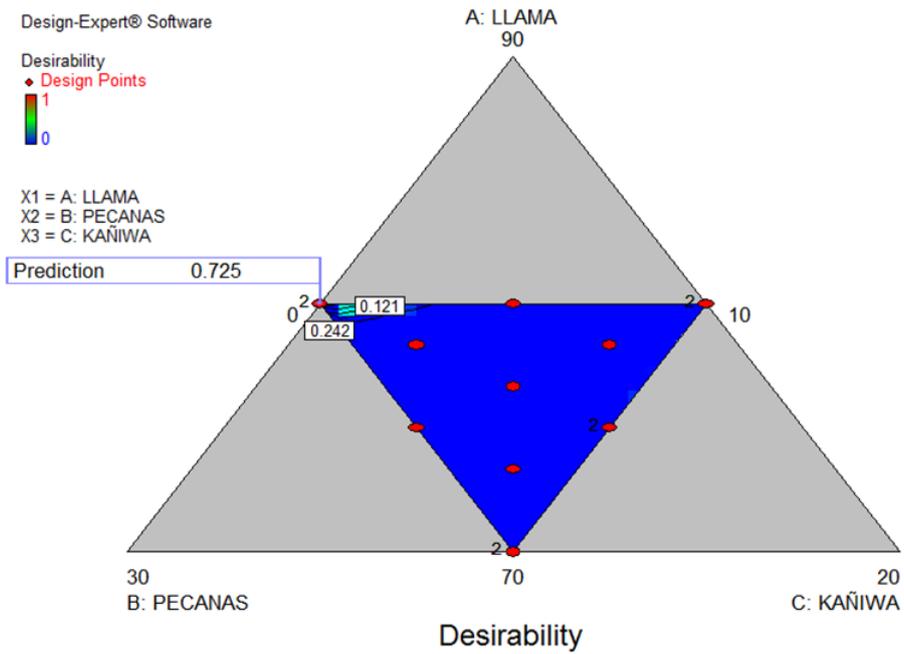


Figura 14: Deseabilidad y punto óptimo de los componentes carne de llama, pecanas y harina de kañiwa.

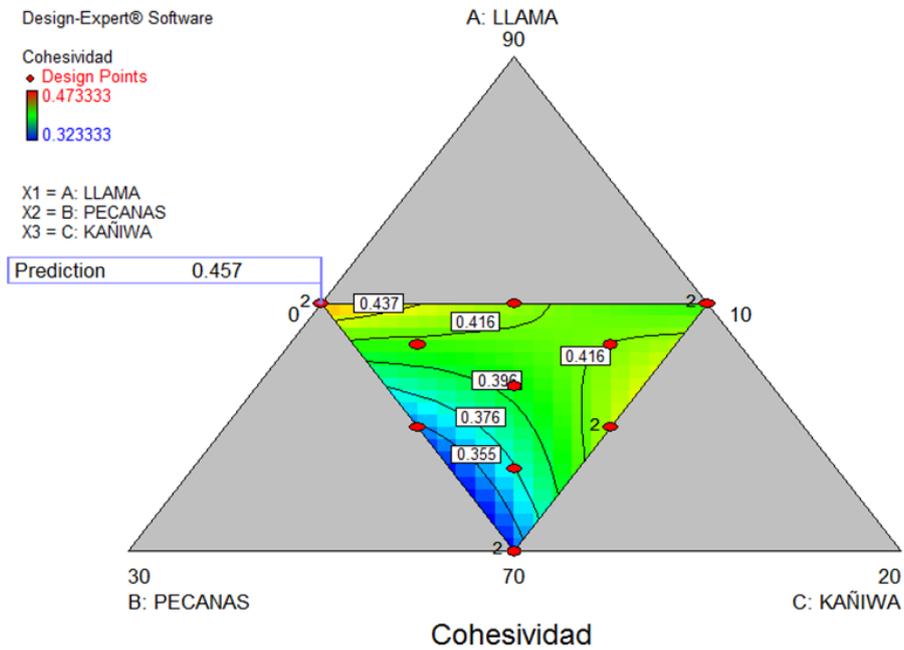


Figura 15: Cohesividad y punto óptimo de los componentes carne de llama, pecanas y harina de kañiwa.

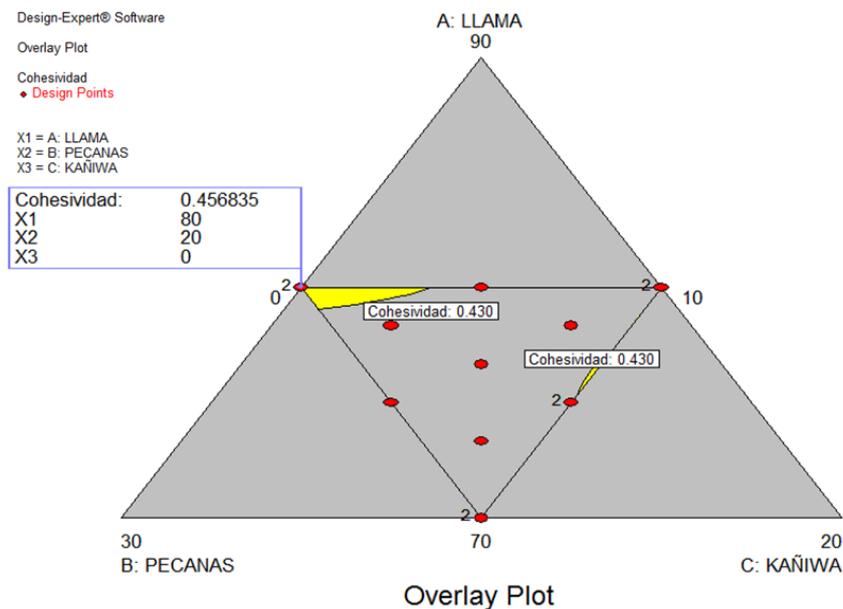


Figura 16: Superficie de respuesta óptima.

4.6. VALIDACIÓN DEL PUNTO ÓPTIMO DE LA MEZCLA DE INGREDIENTES

Una vez obtenida la formulación óptima, se procedió a validar el resultado dado por el programa. Para esto se elaboró una butifarra dulce seca por cada sistema de alimentación (I: Pastoreo en pradera natural, II: Pastoreo en pradera natural + suplemento con heno de alfalfa y III: Pastoreo en pradera natural + suplemento con heno de alfalfa + suplemento vitamínico), utilizando la proporción de componentes con mayor deseabilidad, seguidamente se realizó el análisis de la variable respuesta (Cohesividad) con esto se compararon los resultados experimentales con el resultado teórico que obtuvo el modelo y se muestran en el Cuadro 23.

Cuadro 23: Comparación del resultado teórico obtenido con el programa *Design-Expert* y los resultados experimentales.

BUTIFARRA		COHESIVIDAD
Teórico		0,457
Experimental	I	0,445 *
	II	0,373 *
	III	0,405 *

*Promedio de seis repeticiones, muestran diferencias significativas cuando se someten a la Prueba de Tukey ($p < 0,05$).

En el Cuadro 24 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 con un nivel de confianza del 95% que son admitidos por el modelo (Anexo 8), los cuales se muestran en el Cuadro 24 y según estos, los resultados experimentales correspondientes a la butifarra dulce seca elaborada bajo el sistema de alimentación I (Pastoreo en pradera natural), se encuentran dentro de los límites admitidos por el modelo, por lo que el mismo se considera validado.

Cuadro 24: Rango de validación de la variable respuesta en el punto óptimo

RESPUESTA	PREDICCIÓN	RESULTADO EXPERIMENTAL I*	LÍMITE INFERIOR	LÍMITE SUPERIOR
Cohesividad	0.457	0,445	0,420	0,490

*I: Pastoreo en pradera natural

4.7. ANÁLISIS PROXIMAL DE LA FORMULA ÓPTIMA

En el Cuadro 25 se muestran los resultados obtenidos del análisis proximal de la butifarra dulce seca de carne de llama y pecanas, se observó que el porcentaje de grasa del embutido fue de 10,63 por ciento en base húmeda y 14,23 por ciento en base seca, es menor a lo presentado en la tabla de composición de alimentos de Collazos *et al.* (1996) para los diferentes productos cárnicos listados, el cual está en un rango de 17 a 45 por ciento, análogamente sucede en la tabla composición de alimentos de Jiménez y Cervera (1990), donde las butifarras tienen un porcentaje graso de 30 a 36 por ciento. Sin embargo, el porcentaje de carbohidratos totales es mayor en la butifarra dulce seca, en comparación a los presentados en ambas tablas de composición, donde la mayoría de embutidos (salchichas y butifarras) mencionados en lista son menores 1,2 por ciento.

Cuadro 25: Resultados del análisis proximal de la butifarra dulce seca de carne llama y pecanas

COMPONENTE	PORCENTAJE (B.H)*	PORCENTAJE (B.S)*
Humedad	25,30	--
Proteína	17,90	23,95
Grasa	10,63	14,23
Carbohidratos totales	42,67	27,96
Cenizas	3,51	4,25

*Resultados presentados en base húmeda y base seca, obtenida a partir de un promedio de tres repeticiones.

4.8. ANALISIS SENSORIAL

El análisis sensorial de la formulación óptima se llevó a cabo con cien juicios de 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 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 7 y “Me disgusta extremadamente” el número 1. En el cuadro 26, se muestra la cantidad de consumidores (frecuencia) que eligió cada nivel de grado de satisfacción según la característica evaluada, y el promedio del grado de satisfacción para cada atributo del producto, en este cuadro se observa que el color tuvo como media aritmética o promedio 4,78 es decir que a los consumidores se refirieron al color de la butifarra dulce seca, en la escala “No me gusta, ni me disgusta” y “Me Gusta Ligeramente”. Con respecto al olor la media aritmética fue de 4,36 que se encuentra dentro de la escala “No me gusta, ni me disgusta”. En el atributo del sabor, la

media aritmética fue de 4,64, encontrándose entre “No me gusta ni me disgusta” y “Me gusta Ligeramente”. Y finalmente con respecto a la textura, la media aritmética fue de 5,30 que se encuentra entre la escala “Me gusta ligeramente”.

Asimismo, en la Figura 17, se muestra la frecuencia de respuestas (número de personas) que determinaron un grado de satisfacción o nivel de agrado (escala hedónica de 7 puntos que va desde “Me disgusta extremadamente” hasta “Me gusta extremadamente”) para cada atributo del producto, la cual mantiene una distribución unimodal según Martin y De Revel (1999).

Cuadro 26: Cantidad de personas que eligieron uno de los niveles de agrado en la escala hedónica de acuerdo a la característica sensorial evaluada y la media aritmética de las respuestas dadas por el consumidor para cada atributo

NIVEL DE AGRADO		COLOR	OLOR	SABOR	TEXTURA
Me gusta extremadamente	7	7	2	4	10
Me gusta mucho	6	21	15	28	41
Me gusta ligeramente	5	32	34	29	26
No me gusta ni me disgusta	4	26	23	16	17
Me disgusta ligeramente	3	11	18	15	4
Me disgusta mucho	2	3	8	6	2
Me disgusta extremadamente	1	0	0	2	0
Total de consumidores		100	100	100	100
Media aritmética		4,78	4,36	4,64	5,30
Desviación estándar		1,19	1,23	1,40	1,12

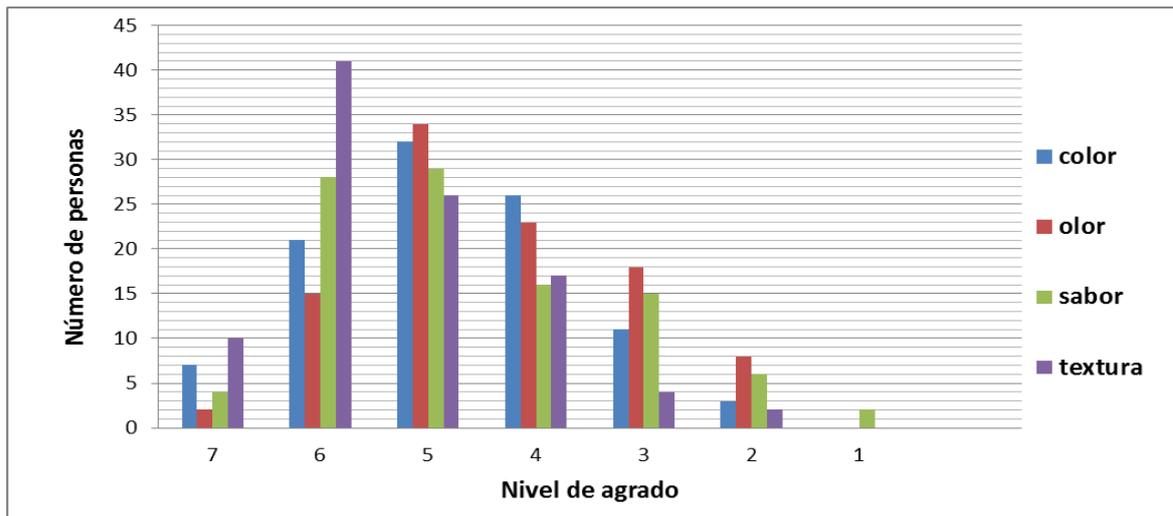


Figura 17: Número de personas que determinan un nivel de agrado para cada atributo del producto.

Por otro lado, se realizó una prueba paramétrica “Prueba Z o Prueba de Distribución Normal” para demostrar si la media muestral del grado de satisfacción para cada atributo del producto es aceptable o no, teniendo como referencia una media poblacional aceptable a partir del grado de satisfacción “No me gusta, ni me disgusta” equivalente a 4. Para esto se planteó las siguientes hipótesis, y los resultados del tratamiento estadístico se muestrana detalle en el cuadro 27, por lo tanto se concluye, la aceptación de la hipótesis alterna, la cual indica que la media muestral para cada atributo evaluado es mayor a la media poblacional del grado de satisfacción, con esto se demuestra que la media del grado de satisfacción para cada atributo, es aceptable con un nivel de confianza del 95%.

Hipótesis:

$$H_0: \mu = 4 = \mu_0$$

$$H_a: \mu > \mu_0$$

Cuadro 27: Evaluación de la Aceptabilidad de los Atributos de la butifarra dulce seca

ATRIBUTO	S*	ZC*	ZT (A=0,05)*	COMPARACIÓN	CONCLUSIÓN
Color	1,194	6,532	1,645	$Z_c > Z_t$	Se acepta H_a
Olor	1,227	2,934	1,645	$Z_c > Z_t$	Se acepta H_a
Sabor	1,396	4,583	1,645	$Z_c > Z_t$	Se acepta H_a
Textura	1,115	11,663	1,645	$Z_c > Z_t$	Se acepta H_a

*S: Desviación estándar; Zc: Z calculado; Zt: Z teórico; α : Nivel de significación.

Asimismo en las Figuras 16, 17, 18 y 19, se muestra la cantidad de jueces expresado en porcentaje, que eligió cada nivel de agrado según la característica evaluada y se observa que en promedio un cincuenta por ciento de los jueces optaron por los niveles “No me gusta, ni me disgusta” y “Me gusta ligeramente”, por lo que se ve una marcada tendencia a que el producto es aceptable para los consumidores.

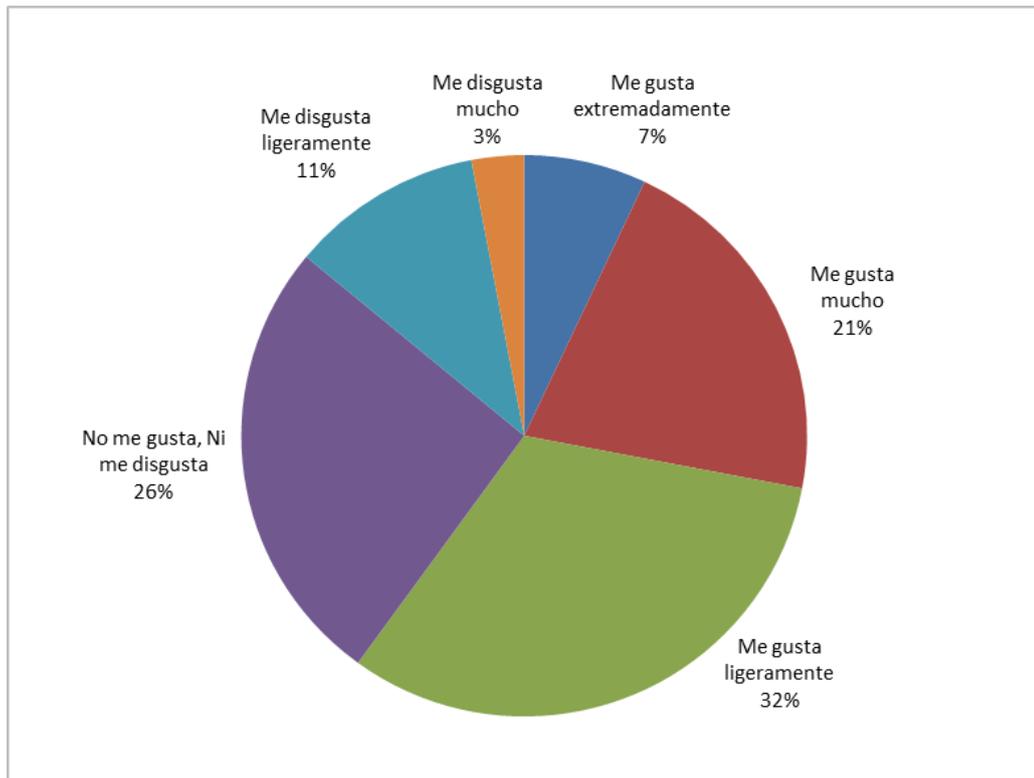


Figura 18: Porcentaje de cada nivel de agrado del color de la butifarra dulce seca.

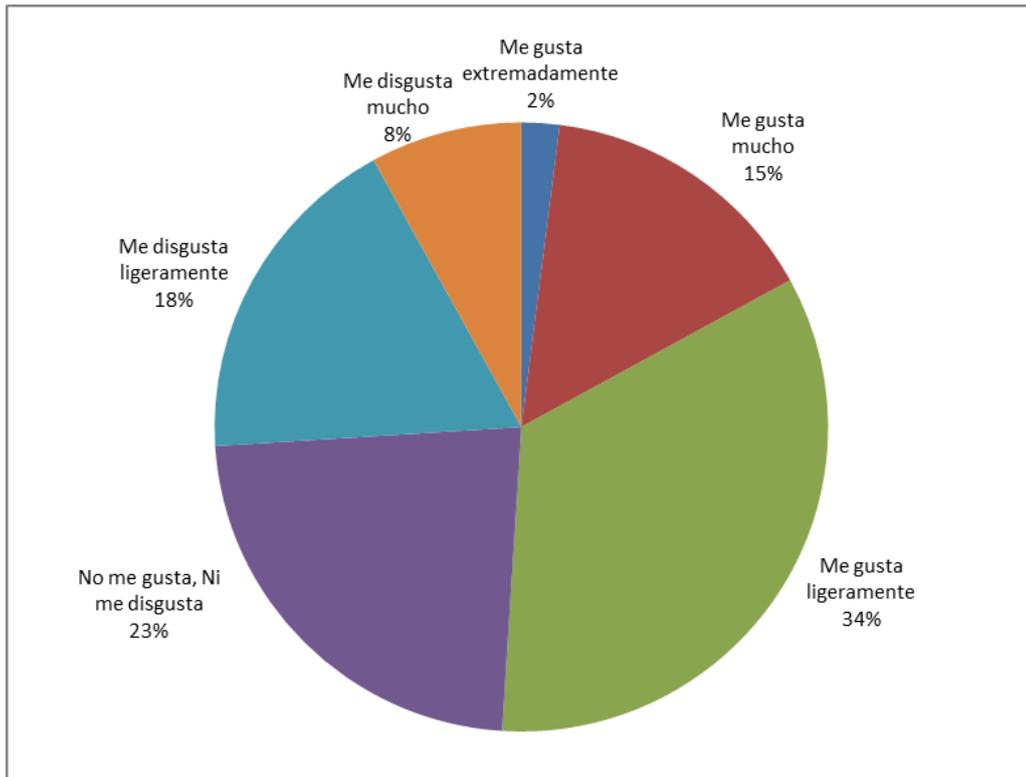


Figura 19: Porcentaje de cada nivel de agrado del olor de la butifarra dulce seca.

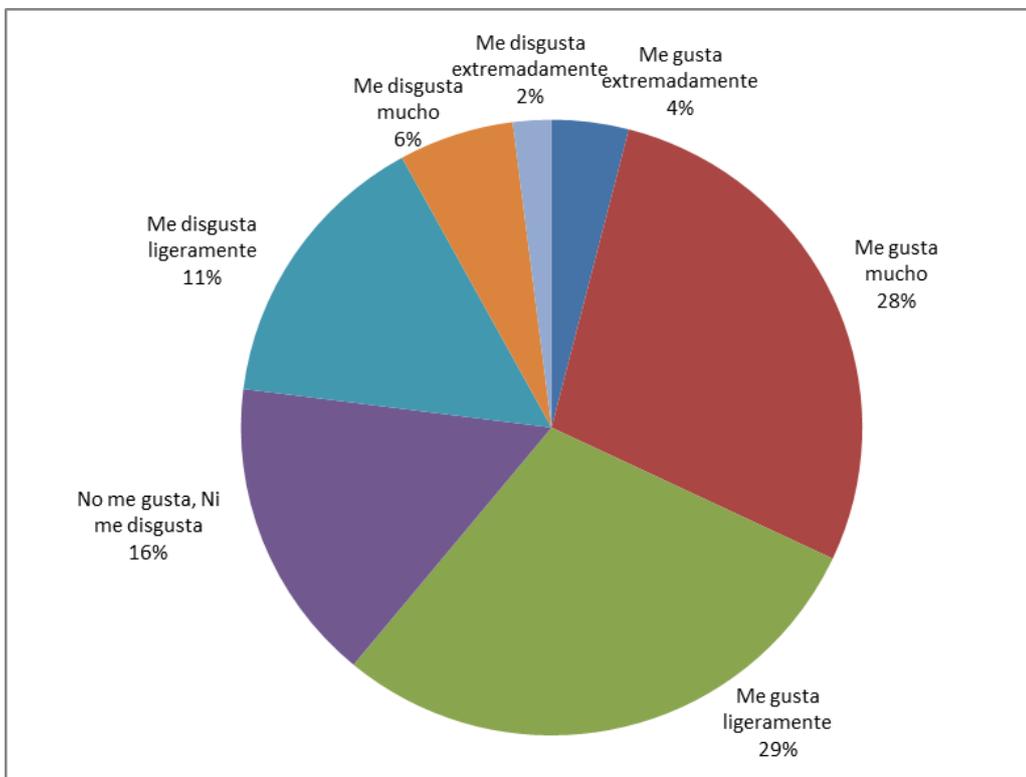


Figura 20: Porcentaje de cada nivel de agrado del sabor de la butifarra dulce seca.

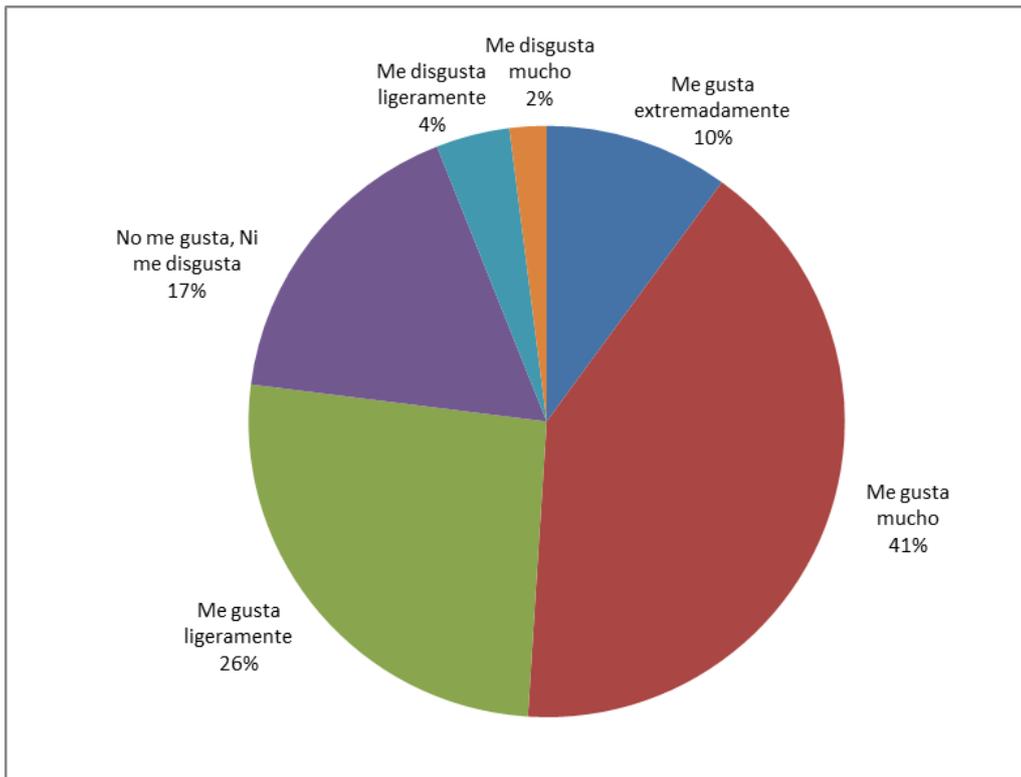


Figura 21: Porcentaje de cada nivel de agrado de textura de la butifarra dulce seca.

V. CONCLUSIONES

- Utilizando el método de mezclas, usando la función deseabilidad del tipo “valor objetivo” se obtuvo una fórmula óptima para la cohesividad de la butifarra dulce seca, sin presencia de harina de kañiwa, con un 80 por ciento de carne de llama, 20 por ciento de pecanas molidas, la cual presentó un valor óptimo de 0,457 de cohesividad cercano al valor de la butifarra patrón.
- La cohesividad es la única variable respuesta, que según el análisis estadístico realizado (p -valor $<0,05$, $R^2=0,8342$ y $R^2_{adj}=0,7306$) se ajustó a un modelo cuadrático significativo, con ello se puede afirmar que los componentes carne de llama y pecanas influyeron sobre la variable.
- La butifarra dulce seca proveniente del sistema de alimentación I (Pastoreo en pradera natural) validó la fórmula obtenida para la cohesividad, con un valor experimental de 0,445, el cual se encuentra dentro de los límites admitidos por el modelo con un nivel de confianza del 95%.
- La butifarra dulce seca elaborada con la fórmula obtenida para la cohesividad es aceptable, por presentar una media muestral del grado de satisfacción por cada atributo evaluado (color, olor, sabor y textura) mayor a la media poblacional equivalente al grado de satisfacción “No me gusta, Ni me disgusta”, utilizando una prueba paramétrica de distribución normal, con un nivel de confianza del 95%.
- La butifarra dulce seca presentó un bajo contenido de grasa de 10,63 por ciento y humedad intermedia de 25,30 por ciento, además de un contenido de carbohidratos totales de 42,67 por ciento.

VI. RECOMENDACIONES

- Experimentar con rangos de proporciones (restricciones) por cada componente de la mezcla, diferentes a los ya evaluados, con la finalidad de obtener un posible impacto en las demás variables de interés (color, actividad de agua y perfil de textura) de la butifarra dulce seca.
- Investigar la utilización de otros componentes o ingredientes principales, que puedan influir de manera significativa en las variables de interés propuestas u otras.
- Evaluar la vida útil del producto final y la influencia del empaque sobre este.
- Realizar pruebas en el equipo picatodo *Robot Coupe*® con respecto al tiempo y velocidad de molienda en carnes, a fin de minimizar la exudación y desgarramiento de la misma.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Albarracín, W; Acosta, LF; Sánchez, IC. 2010. Elaboración de un producto cárnico escaldado utilizando como extensor harina de frijol común (*phaseolus spp*). Revista Vitae de la Facultad de Química Farmacéutica 17(3):32-40.
- Alvarado, M. 2006. Efecto de la adición de los derivados de Lupinus spp (Aislado, harina y concentrado proteico) sobre las características de textura de salchichas. Tesis Ing. Hidalgo, México, Universidad Autónoma. 52 p.
- AMSA (American Meat Science Association, United States of America). 2012. Meat Color Measurement (en línea). Consultado 05 mar. 2017. Disponible en http://www.meatscience.org/uploadedFiles/Publications_Resources/AMSA%20Meat%20Color%20Guidelines%20Second%20Edition.pdf.
- AOAC (Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical, United States of America). 2007. Chemists. 18 ed. Maryland, United States of America.
- 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.
- Ayala, G. 2014. Aportes de los cultivos andinos a la nutrición humana (en línea). Perú. Consultado 03 dic. 2016. Disponible en http://www.lapanadera.pe/uploads/4/2/1/8/4218042/07_aporte_cultivos_andinos_nutric_human.pdf.
- Badui, S. 2006. Química de los alimentos. 4 ed. Pearson Educación de México. 736p.
- Bartolo, D. 2013. Propiedades nutricionales y antioxidantes de la kañiwa (*Chenopodium pallidicaule Aellen*) (en línea). Perú. Consultado 02 jun. 2017. Disponible en <file:///C:/Users/Luis/Downloads/27-175-1-PB.pdf>.

- Begoña, A; Francisco, C. 2014. Alimentos cárnicos funcionales: desarrollo y evaluación de sus propiedades saludables (en línea). España. Consultado 28 may. 2016. Disponible en http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112014000600001.
- Canahua, A; Román, P. 2015. Camélidos sudamericanos: Revaloración y pautas para el desarrollo sostenible (en línea). Perú. Consultado 03 mar. 2017. Disponible en <http://ezproxy.concytec.gob.pe:2087/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=16&sid=a6df3823-7199-48f1-92f7-ca5c3da2c98a%40sessionmgr120&hid=108>.
- 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. Aquario. 71p.
- CONACS (Consejo Nacional de Camélidos Sudamericanos, Perú). 2005. La Llama (*Lama glama*) (en línea). Perú. Consultado 01 jun. 2017. Disponible en http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_de_camelidos/Llamas/25-llama.pdf.
- Cornell, J. 2002. Experiments with Mixtures: Designs Models and the Analysis of Mixture Data (en línea).United States of America. Consultado 07 mar. 2017. 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
- De Lamo, D. 2011. Camélidos sudamericanos: historia, usos y sanidad animal (en línea). Argentina. 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. Cartagena, Colombia. Universidad de Cartagena. 122p.
- Derringer, G; Suich, R. 1980. Simultaneous Optimization of Several Response Variables. *Journal of Quality Technology* 12: 214–219.

- 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) Venezuela. Consultado 07 dic. 2016. Disponible en <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/v13n1/13-1-3.pdf>.
- Escobar, I; Mujica, M. 2015. Formulación de un jugo de frutas mixtas pasteurizado empleando diseño superficie de respuesta de mezcla. Tesis Ing. Lara, Venezuela, Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. 100p.
- Fadda, S; Aymerich, T; Hugas, M; Garriga, M. 2004. Tipología de pequeñas y medianas industrias productoras de embutidos curados de Cataluña (en línea). España. Consultado 23 jun. 2016. Disponible en <http://www1.clermont.inra.fr/tradisausage/Publi/Spain/eurocarne-2004.pdf>.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Estados Unidos de América). 2000. Cultivos andinos sub explotados y su aporte a la alimentación (en línea).Estados Unidos de América. Consultado 20 jun. 2016. Disponible en http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro10/cap03_1_1.htm >.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Estados Unidos de América). 2005. Situación actual de los camélidos sudamericanos en Perú (en línea). Estados Unidos de América. Consultado 20 oct. 2017. Disponible en http://tarwi.lamolina.edu.pe/~emellisho/zootecnia_archivos/situacion%20alpcas%20peru.pdf.
- Fennema, O. 2000. Química de los alimentos. 2 ed. Acriba. 258p.
- Fernández D. 2013. Estudio del efecto de diversos factores tecnológicos sobre las características de calidad del charqui, el chorizo y un embutido crudo-curado bajo en grasa, con especial interés en los compuestos volátiles. Tesis Dr. España, Universidad de León. 51p.
- Flores-Córdova, M; Berzoza-Vásquez, P; Sánchez-Chávez, E; Sáenz Solís, JI; Guerrero-Morales, S; Hernández-Carrillo, J. 2016. Composición fisicoquímica y capacidad

antioxidante del fruto del pecanero en condiciones de año de elevada producción (“*on*”) y de año de baja producción (“*off*”). Revista ITEA 112 (3):255-270.

Gómez, J; Romero, R; Molina, R; Terrazas, S; Núñez, O. 2015. Uso de la metodología del diseño por mezclas en el sector agrícola. Revista CULCyT 12(55):1.

Gómez, R; Carmona, MA; Fernández-Salguero, J. 1991. Estudio de los alimentos de humedad intermedia españoles: actividad del agua y pH (en línea) España. Consultado 7 jul. 2016. Disponible en <http://helvia.uco.es/xmlui/bitstream/handle/10396/3772/04-1993-09.pdf?sequence=1>.

Gordillo, C; Guerrero, N; Izáziga, N; Laguna, B; Lázaro, M; Rojas, J. 2012. Efecto de la proporción de naranja (*Citrus sinensis*), papaya (*Carica papaya*) y piña (*Ananas comosus*) en la aceptabilidad sensorial de un néctar mixto. Revista Agroindustrial Science 2:132-138.

Grèbol, N. 2008. Nuevas Tecnologías. Quinta Reunión de la Sociedad Española de Seguridad Alimentaria. España.

Gross, R; Koch, F; Malaga, I; De Miranda, A; Schöneberger, H; Trugo, L.1989. Chemical composition and protein quality of some local Andean food sources. Food Chem 34:25–34.

Guerrero, L; Arteaga, M. 1990. Tecnología de Carnes: Elaboración y preservación de productos cárnicos. 1 ed. Trillas. 100p.

Gutiérrez, H; De la Vara, R. 2008. Análisis y diseño de experimentos. 2ed. McGraw-Hill/Interamericana Editores. 564 p.

Hleap, J; Velazco, V. 2010. Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis sp.*) Facultad de Ciencias Agropecuarias 8(2):46-56.

Honikel, K. 1998. Reference methods for the assessment of physical characteristics of meat (en línea).United States of America. Consultado 03 dic. 2016. Disponible en <http://es.scribd.com/doc/168362037/Honikel-1998-Reference-Methods-for-the-Assessment-of-Physical-in-Meat>.

- Ibáñez, F; Barcina, Y. 2001. Análisis Sensorial de Alimentos: Métodos y Aplicaciones. 2 ed. Editorial Springer.181p.
- INIAP (Instituto Nacional de Investigadores Agropecuarios, Ecuador). 2004. Textura de alimentos: Medida instrumental y aplicación. Departamento de Nutrición y Calidad. Informe Anual.
- Jiménez, F; Carballo, J. 1989. Principios básicos de elaboración de embutidos (en línea). España. Consultado 07 ene. 2017. Disponible en http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1989_04.pdf.
- Jiménez, A; Cervera, P. 1990. Tabla de composición de alimentos. 1ed. Sandoz Nutrition. 73p.
- Lavy, A. 2016. Utilización de carne de llama (*Lama glama*) y harina de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) en butifarra dulce” Tesis Ing. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 89p.
- Liria, M. 2007. Guía para la Evaluación Sensorial de Alimentos (en línea). Perú. Consultado 1 mar. 2017. Disponible en <http://lac.harvestplus.org/wp-content/uploads/2008/02/Guia-para-la-evaluacion-sensorial-de-alimentos.pdf>.
- Mamani-Linares, L; Cayo, F; Gallo, C. 2013. Características de canal, calidad de carne y composición química de carne de llama. Revista Inv. Vet Perú 25(2):123-150.
- 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. MeatSciencie 94:89–94.
- Martín, N; De Revel. 1999. Evaluación sensorial: Bases científicas y aplicaciones oenologiques. Journal Internacional of sciences de Is Vigne et du Vin 1999:85-98.
- Martinez, P. J; Bedia, M; Mendez, L; Bañon, S. 2009. Contribución de la etapa de secado a la maduración de la longaniza crudo-curada fermentada. Revista An. Vet 25:123-134.

- Mateo, J; Salvá, B; Ramos, I; Caro, B. 2010. Características de la carne de alpaca y procesamiento de Charqui en los departamentos de Puno y Cusco (Perú). Revista Agro Enfoque 200:18-24.
- 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). 1 ed. Lima, Perú. 47 p.
- MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, Perú). 2014. Sector Pecuario del Perú: Camélidos sudamericanos (en línea). Perú. Consultado 1 oct. 2017. Disponible en http://E:/Camelidos_2/Ministerio%20de%20Agricultura%20%20Cam%C3%A9lidos%20sudamericanos.htm.
- Montgomery D. 2004. Diseño y Análisis de Experimentos. 2 ed. Limusa. 427p.
- Montgomery D. 2009. Design and Analysis of Experiments. 1 ed. Wiley & Sons. 430p.
- Montoya, L; García, T; Martínez, Y; Vázquez, F; Robles, L. 2010. Comportamiento de los ácidos grasos insaturados y vitamina E durante el almacenamiento de nuez (*Caryillinoensis*), confitada. Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha 11(1):59-66, 2010.
- NIST (National Institute of Standards and Technology)/SEMATECH (Semiconductor Manufacturing Technology). 2012. e-Handbook of Statistical Methods (en línea).United States of America. Consultado 10 mar. 2017. 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). Colombia. Consultado 10 ene. 2017. Disponible en <https://rev-inv-ope.univ-paris1.fr/files/23102/IO-23102-8.pdf>.
- Oro, T; Ogliari, P; Días De Mello, R; Barrera-Arellano, D; Block, J. 2008. Evaluación de la calidad durante el almacenamiento de nueces Pecán (*Carya illinoensis*) acondicionadas en diferentes envases. Revista Grasas y Aceites 59(2):132-138.

- Ortega, D; Bustamante, M; Gutiérrez, D; Correa, A. 2015. Diseño de mezclas en formulaciones industriales (en línea). Colombia. Consultado 15 jun. 2017. Disponible en <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v82n189.42785>.
- 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. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 95 p.
- Paredes, GF. 2013. Concentración molecular de las llamas Ch'aku y Ccara del banco germoplasma de alpacas y llamas del Centro Experimental ILLPA - INIA anexo Quimasachata usando marcadores Microsatelitales, Facultad de Ciencias. UNALM, Lima, Perú. 119p.
- Pinto, E. 2010. Camélidos sudamericanos: clasificación, origen y características. Revista Cumplutense en Ciencias Veterinarias 20104(1): 23-36.
- Polidori, P; Renieri, C; Antonini, M; Lebboroni, G. 2007. Llama Meat Nutritional Properties. Italian Journal of Animal Science 6 (1): 857-858.
- Quiroga, G; García, J; López, J. 2001. Tecnología de Carne y Productos Cárnicos. Lima, Perú. Curso Taller FAO.
- Ramírez-Navas, J. 2012. Análisis Sensorial: Pruebas orientadas al consumidor (en línea). Colombia. Consultado 07 nov 2016. Disponible en http://books.google.com.pe/books?id=4_TNm72U7MC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false.
- Ramírez, M. 2004. Obtención de aislado proteico de cañihua variedad Cupi, mediante proceso químico y evaluación de sus propiedades funcionales. Tesis Ing. Puno, Perú, Universidad Nacional del Altiplano. 100 p.
- Rebatta, M. 2014. Revalorización de la carne de ovino adulto mediante la elaboración de un cabanossi con inclusión de quinua y máchica. Tesis Dr. Lima, Perú, Universidad Nacional Mayor de San Marcos. 107 p.

- Repo-Carrasco, R; Espinoza, C; Jacobsen, S. 2003. Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*). Food Rev Int 19:179– 189.
- Repo-Carrasco, R; Encina, C. 2008. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos de cereales andinos: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) y Kiwicha (*Amaranthus caudatus*). Revista de la Sociedad Química del Perú 74(2): 85-99.
- Repo-Carrasco, R; Acevedo, A; Icochea, J; Kallio, H. 2009. Chemical and Functional Characterization of Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) Grain, Extrudate and Bran. Plant Foods Hum Nutr 64:94–101.
- Reyes, M; Gómez, C; Espinoza, F; Ganoza, L. 2009. Tablas Peruanas de Composición de Alimentos. 1ed. Gráficos del Perú. 19p.
- Rosenthal, A. 2001. Textura de los alimentos: Medida y percepción. 1 ed. Acribia. 299p.
- Roudot, A. 2004. Reología y análisis de la textura de los alimentos. 1 ed. Acribia. 220 p.
- Sanz, D; Castells, F; Freixanet, LL; Lagares, J. 2016. El futuro del snack cárnico ahora. Departamento Tecnológico de Metalquimia 2016:246-256.
- SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria, Argentina). 2011. Camélidos sudamericanos: Historia, usos y sanidad animal (en línea). Argentina. Consultado 1 de oct. 2017. Disponible en <http://www.senasa.gob.ar>.
- SIEA (Sistema Integrado de Estadísticas Agrarias, Perú). 2015. Producción Pecuaria y Avícola 2015. Ministerio de Agricultura y riego. Boletín anual.
- Szczesniak, A. 1973. Instrumental methods of texture measurements. Journal Texture Measurements of Foods 1973:71 – 108.
- Szczesniak, A. 2002. Texture is a sensory property. Food Quality and Preference 13:215-225.
- Venegas, D; Valladares, C. 1999. Clasificación de productos cárnicos. Revista. Cubana de Alimentación y Nutrición 13(1): 63-67.

Vigo, C. 2014. Características físico-químicas de un reestructurado de carne de alpaca (*Vicugna pacos*) con inclusión de pecana (*Carya illinoensis*) y transglutaminasa. Tesis Dr. Lima, Perú, Universidad Nacional Mayor De San Marcos. 100p.

Watts, B; Ylimaky, G; Jeferry, L; Elias, L. 1992. Basic sensory methods for food evaluation. Ottawa, Canadá. International Development Research Centre.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: CARTILLA DE SELECCIÓN

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: 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	9,42	2	4,71	8,52	0,0058	Significante
Falta de Ajuste	5,66	7	0,81	7,73	0,0332	Significante

Fuente	Suma de Cuadrados
Modelo	9,42
Falta de Ajuste	5,66
Error puro	0,42
Error total	15,50

ANEXO 4: 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	0,002188	6	0,000364	1,85	0,2198	No significativa
Falta de Ajuste	0,000782	3	0,000260	1,75	0,2956	No significativa

Fuente	Suma de Cuadrados
Modelo	0,002188
Falta de Ajuste	0,000782
Error puro	0,000597
Error total	0,003567

ANEXO 5: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA Y DE LA SUMA DE ERRORES CUADRADOS DE LA COHESIVIDAD.

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrada	Valor F	Valor p Prob > F	Resultado
Modelo	0,018	5	0,003666	8,05	0,0055	Significante
Falta de Ajuste	0,000573	4	0,000143	0,19	0,9334	No significativa

Fuente	Suma de Cuadrados
Modelo	0,018
Falta de Ajuste	0,000573
Error puro	0,003069
Error total	0,022

ANEXO 6: ANALISIS DE VARIANZA Y PRUEBA DE TUKEY EN EL PROMEDIO DE COHESIVIDAD DE LA BUTIFARRA DULCE SECA POR CADA SISTEMA DE ALIMENTACION (I, II, III).

	Cohesividad T1	Cohesividad T2	Cohesividad T3
	0,45	0,37	0,41
	0,44	0,37	0,4
	0,44	0,38	0,41
	0,44	0,37	0,4
	0,45	0,38	0,4
	0,45	0,37	0,41
Promedio:	0,445	0,373	0,405
Desviación estándar:	0,0055	0,0052	0,0055

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	0,015477778	2	0,007738889	267,884615	1,8341E-12	3,68232034
Dentro de los grupos	0,000433333	15	2,88889E-05			
Total	0,015911111	17				

¿Existe diferencia estadísticamente significativa en el promedio de Cohesividad entre los 3 grupos?

Hipótesis nula: El promedio de cohesividad entre los 3 grupos es igual, con 95% de confiabilidad.

Hipótesis alterna: En al menos un grupo el promedio de cohesividad es distinto, con 95% de confiabilidad.

P-valor <0,05: Rechaza hipótesis nula, es decir se acepta la alterna siendo al menos un grupo el promedio de cohesividad distinto al 95% de confianza.

P-valor >0,05: Se acepta hipótesis nula, es decir el promedio cohesividad entre los 3 grupos es igual al 95% de confianza .

HSDE=	0,008
Multiplicador=	3,67
Mse=	2,88889E-05
n=	6

Contraste	Significancia	Diferencia	Diferencia honestamente significativa
T1-T2	*	0,072	0,008
T1-T3	*	0,04	0,008
T2-T3	*	-0,032	0,008

CONCLUSION: T1≠T2, T1≠T3, T2≠T3

ANEXO 7: SOLUCIONES GENERADAS POR LA OPTIMIZACION EN FUNCION DE LA DESEABILIDAD DEL TIPO “VALOR OBJETIVO”.

The screenshot shows the Design-Expert 7.0.0 interface. The main window displays the 'Solutions' tab, which contains two tables. The first table, titled 'Constraints', lists four constraints: LLAMA, PECANAS, KAÑIWA, and Cohesividad. The second table, titled 'Solutions', lists three solutions (1, 2, and 3) with their respective values for LLAMA, PECANAS, KAÑIWA, Cohesividad, and Desirability. Solution 1 is marked as 'Selected'.

Constraints						
Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
LLAMA	is in range	70	80	1	1	3
PECANAS	is in range	10	20	1	1	3
KAÑIWA	is in range	0	10	1	1	3
Cohesividad	is target = 0.467	0.43	0.473333	1	1	3

Solutions						
Number	LLAMA	PECANAS	KAÑIWA	Cohesividad	Desirability	
1	<u>80.000</u>	<u>20.000</u>	<u>0.000</u>	<u>0.457</u>	<u>0.725</u>	<u>Selected</u>
2	76.228	13.772	10.000	0.432	0.048	
3	77.063	12.937	10.000	0.430	0.004	

ANEXO 8: LIMITES DE CONTROL ADMITIDOS POR EL MODELO (NIVEL DE CONFIANZA DE 95%) PARA LA VARIABLE RESPUESTA.

The screenshot shows the Design-Expert 7.0.0 interface. The main window displays a table of component levels and a response prediction table. The title bar indicates the file path: C:\stat-ease design expert 7 0 + crack2 II\BUTIFARRRA DULCE D OPTIMAL FINAL-4.dx7 - Design-Expert 7.0.0. The menu bar includes File, Edit, View, Display Options, Design Tools, and Help. The left sidebar shows a tree view with folders for Design (Actual), Summary, Graph Columns, Evaluation, Constraints, Analysis, Cohesividad (Analy:), Optimization, Numerical, Graphical, and Point Prediction. The main area shows a table with columns for Component, Name, Level, Low Level, High Level, Std. Dev., and Coding. Below this is a table for the response 'Cohesividad' with columns for Prediction, SE Mean, 95% CI low, 95% CI high, SE Pred, 95% PI low, and 95% PI high. A 'Factors Tool' dialog box is open in the bottom left corner, showing 'Gauges' and 'Sheet' tabs, and a 'Default' button.

Component	Name	Level	Low Level	High Level	Std. Dev.	Coding
A	LLAMA	80.00	70.00	80.00	0.000	Actual
B	PECANAS	20.00	10.00	20.00	0.000	Actual
C	KAÑWA	0.000	0.000	10.00	0.000	Actual
Total =		100.00				

Response	Prediction	SE Mean	95% CI low	95% CI high	SE Pred	95% PI low	95% PI high
Cohesividad	0.457	0.015	0.42	0.49	0.026	0.40	0.52

ANEXO 9: PROCESO DE ELABORACIÓN DE BUTIFARRA DULCE SECA CON CARNE DE LLAMA Y PECANAS.



Molienda de carne de llama



Procesador de carne y verduras



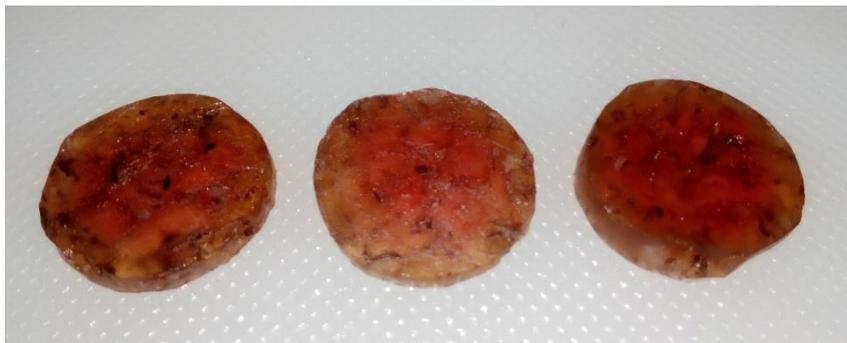
Mezcla de carne de llama y pecanas molidas



Maduración de butifarras dulce



Butifarra dulce seca a base de carne de llama y pecanas



Loncheado de butifarra

ANEXO 10: ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO Y SENSORIAL



Análisis de color

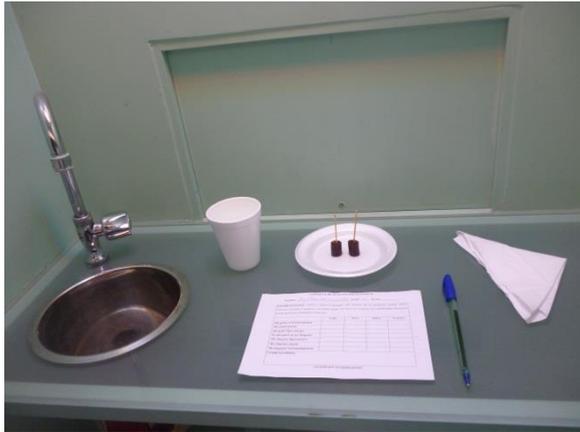


Determinación de humedad



Determinación de proteínas





Análisis sensorial