

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



**EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE LECHE DE QUINUA,
LECHE DE COCO Y LECHE EVAPORADA SOBRE EL
OVERRUN, VISCOSIDAD APARENTE, FUSIÓN, ACIDEZ
TITULABLE Y ACEPTABILIDAD GENERAL EN HELADO
TIPO CREMA**

TESIS para optar el título de:

INGENIERA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

FIORELINA GIANNELA NOEMI ANGULO CELESTINO

TRUJILLO, PERÚ

2016

La presente tesis ha sido revisada y aprobada por el siguiente Jurado:

.....
Ing. Dr. Antonio Rodríguez Zevallos
PRESIDENTE

.....
Ing. Ms. Luis Márquez Villacorta
SECRETARIO

.....
Ing. Ms. Ana Ferradas Horna
VOCAL

.....
Ing. Ms. Carla Pretell Vásquez
ASESOR

DEDICATORIA

A mi amado hijo Sebastian por su ternura y paciencia, quien ha sido mi motivación, fortaleza y motor durante todo este tiempo, este logro es nuestro.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme la fuerza para continuar y permitirme culminar esta meta, brindarme salud y bendecirme en cada uno de mis pasos.

A mis padres, Vilma y Nicolás que siempre me apoyaron incondicionalmente para alcanzar un objetivo más en la vida, con lo que me permite dar un paso más en mi formación profesional.

A mi Asesora de Tesis, la Ing. Ms. Carla Pretell Vásquez por haberme brindado su amistad y la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento científico, así como también haberme tenido paciencia, dedicación y por su entrega total durante el desarrollo de la tesis.

A mis amigos Daphne, Blanca, Elizabeth, Daysi, Roy, Junior por su apoyo y colaboración durante la realización del proyecto.

ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
RESUMEN.....	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFIA.....	3
2.1. Quinoa.....	3
2.1.1. Reseña histórica	3
2.1.2. Taxonomía	5
2.1.3. Composición nutricional	6
2.1.4. Usos de la quinua	9
2.1.5. Propiedades funcionales de la quinua	10
2.2. Coco	11
2.2.1. Generalidades.....	11
2.2.2. Taxonomía	12
2.2.3. Composición nutricional.....	13
2.2.4. Usos del coco	14
2.3. Helado	15
2.3.1. Clasificación.....	16
2.3.2. Composición nutricional.....	18
2.3.3. Estructura física de los helados	18
2.3.4. Ingredientes básicos de los helados	19
2.4. Metodología de superficie de respuesta.....	23
Experimentos con mezclas (diseño de mezclas)	25
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	32
3.1. Lugar de ejecución	32

3.2.	Materiales y equipos.....	32
3.2.1.	Materia prima	32
3.2.2.	Insumos	32
3.2.3.	Equipos e instrumentos.....	32
3.2.4.	Otros	33
3.3.	Diseño experimental	33
3.4.	Esquema experimental.....	34
3.5.	Proceso experimental	36
3.5.1.	Elaboración de leche de quinua.....	36
3.5.2.	Elaboración de helado tipo crema.....	36
3.6.	Método de análisis.....	39
3.6.1.	Overrun.....	39
3.6.2.	Viscosidad aparente.....	40
3.6.3.	Fusión	40
3.6.4.	Acidez titulable.....	41
3.6.5.	Aceptabilidad general.....	41
3.7.	Método estadístico	44
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	47
4.2.	Efecto de mezcla de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre la viscosidad aparente en helado tipo crema.....	51
4.3.	Efecto de mezcla de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre fusión en helado tipo crema.....	54
4.4.	Efecto de mezcla de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre acidez titulable en helado tipo crema	57
4.5.	Efecto de mezcla de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre aceptabilidad general en helado tipo crema	61
4.6.	Optimización simultánea de respuestas	64
V.	CONCLUSIONES	68
VI.	RECOMENDACIONES.....	69
VII.	BIBLIOGRAFIA.....	70
VIII.	ANEXOS.....	76

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Composición nutricional de la quinua	7
Cuadro 2.	Contenido de aminoácidos en la proteína de quinua	8
Cuadro 3.	Composición nutricional del coco	14
Cuadro 4.	Composición nutricional del helado.....	18
Cuadro 5.	Combinaciones del diseño de mezclas simplex con centroide ampliado.....	34
Cuadro 6.	Formulación de helado tipo crema	38
Cuadro 7.	Componentes originales y codificados (cod.) del diseño de mezcla y respuestas	49
Cuadro 8.	Análisis de varianza para los diferentes modelos fijados para el overrun	50
Cuadro 9.	Coeficientes de regresión del modelo fijado para el overrun..	50
Cuadro 10.	Análisis de varianza para los diferentes modelos fijados para la viscosidad aparente	53
Cuadro 11.	Coeficientes de regresión del modelo fijado para la viscosidad	54
Cuadro 12.	Análisis de varianza para los diferentes modelos fijados para el porcentaje de fusión en helado tipo crema	56
Cuadro 13.	Coeficientes de regresión del modelo fijado para el porcentaje de fusión en helado tipo crema.....	57
Cuadro 14.	Análisis de varianza para los diferentes modelos fijados para la acidez titulable en helado tipo crema.....	60
Cuadro 15.	Coeficientes de regresión del modelo fijado para la acidez titulable en helado tipo crema	61
Cuadro 16.	Coeficientes de regresión del modelo fijado para la aceptabilidad general en helado tipo crema.....	64
Cuadro 17.	Componentes de las mezclas obtenidas por optimización simultánea de respuestas	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Espacio de los factores restringidos para mezclas con a) $p = 2$ componentes y b) $p = 3$ componentes.....	26
Figura 2.	Sistema coordinado trilineal.....	26
Figura 3.	Algunos diseños simplex reticulares para $p = 3$ y $p = 4$ componentes	28
Figura 4.	Diseños símplex con centroide, con a) $p = 3$ componentes y b) $p = 4$ componentes	29
Figura 5.	Esquema experimental para la evaluación del helado tipo crema.....	35
Figura 6.	Diagrama de flujo para la elaboración de leche de quinua	36
Figura 7.	Diagrama de flujo para la elaboración de helado tipo crema con leche de quinua, leche de coco y leche evaporada	37
Figura 8.	Tarjeta de evaluación para la prueba de aceptabilidad general de helado tipo crema.	43
Figura 9.	Diseño de mezclas simplex centroide ampliado para helado tipo crema	45
Figura 10.	Contornos del efecto simple y combinaciones de las concentraciones de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre el overrun	48
Figura 11.	Contornos del efecto simple y combinaciones de las concentraciones de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre la viscosidad aparente	51
Figura 12.	Contornos del efecto simple y combinaciones de las concentraciones de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre la fusión en helado tipo crema	55
Figura 13.	Contornos del efecto simple y combinaciones de las concentraciones de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre la acidez titulable en helado tipo crema	58

- Figura 14. Contornos del efecto simple y combinaciones de las concentraciones de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre la aceptabilidad general en helado tipo crema..... 61
- Figura 15. Contornos de la zona de formulación de la mezcla óptima para las variables overrun, viscosidad aparente, acidez titulable y aceptabilidad general..... 67

RESUMEN

Se investigó el efecto de la mezcla de tres combinaciones de leches (quinua, coco y evaporada) sobre el overrun, viscosidad aparente, fusión, acidez titulable y aceptabilidad general de helado tipo crema. Se aplicó un diseño de mezclas simplex con centroide ampliado con restricción para la leche evaporada, conteniendo como mínimo 37%. El rango de los valores experimentales fueron overrun: 36.66 – 138.97%, viscosidad aparente: 3754.67 – 801.3 mPa.s, fusión: 86.36 – 25.21%, acidez titulable: 0.067 – 0.102% expresado en ácido láctico y aceptabilidad general: 5.07 – 6.96 (“no me agrada ni me desagrada” – “me agrada moderadamente”). Se determinó la combinación óptima para obtener valores intermedios de overrun (54.32%), viscosidad aparente (1784 mPa.s), fusión (86.56%), acidez titulable (0.07% expresado en ácido láctico) y mayor calificación en aceptabilidad general de 7.36 (“me agrada moderadamente”), resultando una mezcla de leche de quinua, coco y evaporada de 7.40%, 26.64% y 39.96%, respectivamente. El modelo más adecuado para representar el comportamiento de cada variable respuesta fue el modelo especial cúbico con valores de R^2 de 0.664, 0.632, y 0.686 para overrun, fusión y acidez titulable respectivamente, mientras que la viscosidad aparente fue explicada por el modelo cuadrático con R^2 de 0.607 y la aceptabilidad general se explicó por el modelo lineal con R^2 de 0.688. Los valores obtenidos mediante la optimización fueron mayores comparados con valores comerciales.

ABSTRACT

In this paper the effect of mixing three combinations of milk (quinoa, coconut and evaporated) on the overrun, apparent viscosity, melting, titratable acidity and ice cream overall acceptability type was investigated. A simplex design blends with centroid expanded with restriction evaporated milk was applied, containing at least 37%. The range of experimental values were overrun: 36.66 - 138.97 %, apparent viscosity: 3754.67 - 801.3 mPa.s, melting: 86.36 - 25.21 %, titratable acidity: 0,067 - 0,102% expressed as lactic acid and general acceptability: 5.07 - 6.96 ("I don't like or dislike me" - "I like moderately "). The optimal combinations was determined for intermediate values of overrun (54.32%), apparent viscosity (1784 mPa.s), melting (86.56%), titratable acidity (0.07% expressed as lactic acid) and overall acceptability increased rating 7.36 (they approached 7 rating = "I like moderately"), values optimal mix of quinoa milk, coconut and evaporated to 7.40%, 26.64% and 39.96% respectively were obtained. The most suitable to represent the behavior of each variable response model was the special model cubic with R^2 values of 0.664, 0.632, and 0.686 to overrun, melting and titratable acidity respectively, while the apparent viscosity was explained by the quadratic model with R^2 of 0.607 and general acceptability explained by the linear model with R^2 of 0.688. The values obtained by optimization were higher compared with commercial values.

I. INTRODUCCIÓN

La quinua, es el único alimento vegetal que posee todos los aminoácidos esenciales, oligoelementos y vitaminas que requiere el ser humano. Los aminoácidos esenciales se encuentran en el núcleo del grano, a diferencia de otros cereales que los tienen en el exosperma o cáscara, como el arroz o trigo. En 1996 la quinua fue catalogada por la FAO como uno de los cultivos promisorios de la humanidad no sólo por sus grandes propiedades benéficas y por sus múltiples usos, sino también por considerarla como una alternativa para solucionar los graves problemas de nutrición humana (FAO, 2011).

El fruto del coco es muy conocido en el Perú, donde es abundante especialmente en la costa norte y la selva, lugares donde se desarrolla de manera silvestre, así como, en plantaciones dedicadas al cultivo de este producto, generalmente se consume el jugo que tiene en su interior, y el endospermo es usado en múltiples preparaciones de repostería artesanal e industrial (Gonzales y Corbera, 2012; Abu, 2014).

Conservador y muy tradicional, así se puede describir al consumidor peruano. Sin embargo, ello no ha sido barrera para que los peruanos se “lancen” por nuevas tendencias y permitan que el mercado de helados presente un mayor crecimiento en estos últimos años y continúe su tendencia hasta el 2017. Así, los nuevos gustos y sabores ha permitido que el número de heladerías en el Perú haya pasado de 470 en el 2007 a 811 al cierre del 2012, lo que representó un crecimiento de 72.6%, de acuerdo a un estudio realizado por Euromonitor International. Y para el 2017, la firma de investigación de mercados, proyecta que la plaza peruana cuente con 1133 locales de heladerías, lo que significaría un alza de 39.7% (Albán, 2014).

El consumo promedio per cápita de helado al año llega a 1.4 L. El incremento en el consumo de helados en el Perú, se explica tanto por la mejora de la situación económica de los peruanos como por la renovación continua del sector, es decir, la creación de nuevos y muy originales productos, que amplían las opciones para el consumidor (Albán, 2014).

Es por ello que el siguiente trabajo de investigación está basado en la elaboración de un helado tipo crema usando la combinación de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada, aprovechando todos los beneficios nutricionales que estos poseen, manteniendo las características del producto como el overrun, viscosidad aparente, fusión, acidez titulable y aceptabilidad general, brindando perspectivas para la producción de alimentos novedosos, cubriendo así, necesidades actuales de los consumidores.

El problema planteado en esta investigación fue: ¿Cuál es el efecto de la concentración de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre el overrun, viscosidad aparente, fusión, acidez titulable y aceptabilidad general en helado tipo crema?

Los objetivos fueron:

Evaluar el efecto de la leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre el overrun, viscosidad aparente, fusión, acidez titulable y aceptabilidad general en helado tipo crema.

Determinar la formulación de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada que permita obtener valores óptimos de viscosidad aparente, overrun, fusión, acidez titulable y aceptabilidad general en helado tipo crema.

II. REVISIÓN DE BIBLIOGRAFIA

2.1. Quinua

2.1.1. Reseña histórica

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es una planta andina que se originó en los alrededores del lago Titicaca de Perú y Bolivia. La quinua fue cultivada y utilizada por las civilizaciones prehispánicas y reemplazada por los cereales a la llegada de los españoles, a pesar de constituir un alimento básico de la población de ese entonces. La evidencia histórica disponible señala que su domesticación por los pueblos de América puede haber ocurrido entre los años 3000 y 5000 a.C. Existen hallazgos arqueológicos de quinua en tumbas de Tarapacá, Calama y Arica, en Chile, y en diferentes regiones del Perú. A la llegada de los españoles, la quinua tenía un desarrollo tecnológico apropiado y una amplia distribución en el territorio Inca y fuera de él. El primer español que reporta el cultivo de quinua fue Pedro de Valdivia, quien al observar los cultivos alrededor de Concepción menciona que “entre otras plantas, los indios siembran también la quinua para su alimentación”. Garcilaso de la Vega describe en sus comentarios reales que “la planta de quinua es uno de los segundos granos que se cultivan sobre la faz de la tierra denominada quinua y que se asemeja algo al mijo o arroz pequeño” y hace referencia al primer envío de semillas hacia Europa, que desafortunadamente llegaron muertas y sin poder germinar, posiblemente debido a la alta humedad reinante durante la travesía por mar. Posteriormente, Cieza de León en 1560 indicó que la quinua se cultivaba en las tierras altas de Pasto y Quito, mencionando que “en esas tierras frías se siembra poco maíz y abundante quinua”, y finalmente Humboldt, al visitar Colombia, indica que la quinua siempre ha

acompañado a los habitantes de Cundinamarca Colombia (Sierra Exportadora, 2015).

Antes de su domesticación, la quinua silvestre probablemente se usó por sus hojas y semillas para la alimentación. Una evidencia temprana de su morfología se encuentra en la cerámica de la cultura Tiahuanaco, que representa a la planta de quinua con varias panojas distribuidas a lo largo del tallo, lo que mostraría una de las razas más primitivas de la planta. Desde el punto de vista de su variabilidad genética puede considerarse como una especie oligocéntrica, con centro de origen de amplia distribución y diversificación múltiple. La región andina, especialmente las orillas del Lago Titicaca, muestra la mayor diversidad y variación genética de la quinua. Durante la domesticación de la quinua, y como producto de la actividad humana, hubo un amplio rango de modificaciones morfológicas. Entre ellas: la condensación de la inflorescencia en el extremo terminal de la planta, el incremento del tamaño de la planta y la semilla, la pérdida de los mecanismos de dispersión de la semilla, así como altos niveles de pigmentación. Durante la domesticación los pueblos andinos seleccionaron los genotipos por el tipo de uso y por la tolerancia a factores adversos tanto bióticos como abióticos, llegando a obtener las actuales plantas y ecotipos con características diferenciales, tales como las quinuas “chullpi” para sopas, las quinuas “pasankalla” para tostado, las “coytos” para harina, las “reales” para la “pissara” o graneado, la “utusaya” para resistir a la salinidad, las “witullas” y “achachinos” para resistir el frío, las “kcollas” para resistir la sequía, las “quellus” o amarillas para alto rendimiento, las “chewecas” para resistir el exceso de humedad, las “ayaras” por valor nutritivo (alto balance de aminoácidos esenciales y proteína), y las “ratuquis” por precocidad (Sierra Exportadora, 2015).

2.1.2. Taxonomía

Según Revelo (2010) la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es una planta herbácea, botánicamente no pertenece al grupo de los cereales como lo son: el arroz, trigo, cebada o maíz; pero por su elevado contenido de almidón es considerada como un pseudocereal. La clasificación taxonómica es la siguiente:

Jerarquía	Descripción
Reino:	<i>Vegetal</i>
Subreino:	<i>Cellulata</i>
División:	<i>Fanerogámas</i>
Clase:	Dicotiledóneas
Subclase:	<i>Angiospermas</i>
Orden:	Centropermales
Familia:	<i>Chenopodiaceae</i>
Género:	<i>Chenopodium</i>
Especie:	<i>Chenopodium quinoa</i> <i>Willdenow</i>

La semilla constituye el fruto maduro sin el perigonio, es pequeña, aproximadamente mide 2 mm de ancho y 1 mm de espesor, está cubierta por el pericarpio (pared externa del fruto), que es donde se encuentra la saponina que confiere el sabor amargo a la quinua. La semilla presenta tres partes bien definidas que son: episperma, embrión y perisperma. Debajo del pericarpio se encuentra el episperma, una membrana delgada que cubre al embrión. El embrión que está formado por los dos cotiledones y la radícula

envuelve al perisperma en forma de anillo. El perisperma de color blanco, constituye la sustancia de reserva y contiene pequeños gránulos de almidón, además representa el 60% de la superficie de la semilla (Revelo, 2010).

El grano de quinua es un aquenio; el perigonio cubre una sola semilla y se desprende con facilidad al frotarlo; sin embargo, el pericarpio del fruto está adherido a la semilla, presentando alvéolos. En el pericarpio se encuentra la saponina, compuesto que le transfiere el sabor amargo a la quinua (Velasco, 2007).

2.1.3. Composición nutricional

La quinua es un alimento de excepcional valor nutritivo que destaca de los demás alimentos de origen vegetal, principalmente por su alto contenido de proteína (14 - 18%) casi el doble del contenido de proteína de otros cereales como el arroz y el trigo. La proteína de la quinua es rica en histidina y lisina, aminoácidos limitantes en los cereales. A las proteínas se suman el almidón, grasa, minerales y vitaminas en diferente proporción, lo que ha hecho que la quinua sea llamada por los indígenas como “grano madre”, por ser comparable con la leche materna en cuanto a su valor nutricional (Revelo, 2010). La composición nutricional de la quinua se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición nutricional de la quinua

Componente	Cantidad (g/100 g de porción comestible)
Agua	11.20
Proteína	11.60
Lípidos	5.30
Carbohidratos	62.10
Fibra	6.80
Ceniza	3.00
Cantidad (mg/100g de porción comestible)	
Fósforo	226.00
Calcio	115.00
Hierro	5.30
Vitamina A	0.00
Vitamina B ₁	0.73
Vitamina B ₂	0.21
Vitamina B ₃	1.09
Vitamina C	1.10

Fuente: Rodríguez (2015).

Desde el punto de vista nutricional y alimentario la quinua es la fuente natural de proteína vegetal económica y de alto valor nutritivo por la combinación de una mayor proporción de aminoácidos esenciales, entre estos cabe mencionar a la lisina, nutriente básico para el desarrollo del sistema neurológico humano (Montañez y Pérez, 2007; Sotelo, 2014). En el Cuadro 2 se presenta el contenido de aminoácidos por cada 100 g de proteína de quinua.

Cuadro 2. Contenido de aminoácidos en la proteína de quinua

Componente	Cantidad (g/100 g de proteína de quinua)
Histidina*	3.20
Isoleucina*	4.40
Leucina*	6.60
Lisina*	6.10
Metionina*+cistina	4.80
Fenilalanina*+tirosina	7.30
Treonina*	3.80
Triptofano*	1.10
Valina*	4.50
Alanina	4.50
Arginina*	8.50
Acido aspártico	7.80
Acido glutámico	13.20
Glicina	6.10
Prolina	3.30
Serina	4.10

*Aminoácidos esenciales en la alimentación humana.

Fuente: FAO (2013b)

La quinua contiene la vitamina A como el caroteno, Vitamina B como la riboflavina, niacina, tiamina y la vitamina C; es rica en minerales como calcio, hierro, fósforo, potasio, magnesio y minerales que ayudan a tener un sistema óseo fuerte principalmente. Además, es rica en fibra y en vitamina E, lo que favorece la salud y la belleza corporal, asimismo contiene litio que evita el estrés, la melancolía y la depresión (Castañeda, 2015).

A pesar de todos los beneficios que brinda la quinua, también presenta factores antinutricionales que pueden afectar la biodisponibilidad de ciertos nutrientes esenciales, como proteínas y

minerales. Estos antinutrientes son las saponinas, fitatos, taninos e inhibidores de proteasa, de los cuales la saponina es el principal. Debido a ello, es recomendable el usar quinuas dulces como la Blanca de Junín, Samaja, Cheweca de Puno ya que presentan un contenido de saponina menor al 0.06% (Rodríguez, 2015).

2.1.4. Usos de la quinua

Respecto al proceso de industrialización de la quinua, la gama de productos elaborados se basa en la quinua desaponificada en grano, entre ellos se encuentran los alimentos intermedios como hojuelas, harinas de quinua, leche de quinua y expandidos (Pereira, 2011).

a. Harina de quinua

Es un alimento simple y rápido de preparar, muy versátil, puede sustituir a otras harinas. La harina de quinua es un producto obtenido a partir de quinua en grano, la cual pasa por un proceso de limpieza mecánica con aspiración, luego por un proceso de clasificado, molienda y tamizado. Tradicionalmente los granos de quinua se tuestan y con ellos se produce harina. También pueden ser cocidos, añadidos a las sopas, usados como cereales, pastas e inclusive se le fermenta para obtener cerveza o "chicha" la cual es considerada la bebida de los Incas, cuando se cuece toma un sabor similar a la nuez. La harina de quinua es producida y se comercializa en Perú y Bolivia, sustituyendo muchas veces a la harina de trigo, enriqueciendo los derivados de pan, tortas y galletas (Castañeda, 2015).

b. Leche de quinua

La leche de quinua es una bebida extraída del grano de quinua, con algunos aditivos como azúcar y sal para mejorar sus características sensoriales. La leche de quinua cuenta en su composición con proteínas y vitaminas D y E, pero no contiene lactosa ni colesterol, a diferencia de la leche de origen de animal. El contenido de sólidos solubles presentes en la leche de quinua es 7.5 grados Brix (Pereira, 2011).

c. Hojuelas de quinua

Los granos de quinua desaponificada son sometidos a un proceso de laminado en forma artesanal, lo que permite darles una forma laminada o aplanada. Este producto es consumido directo y mezclado con leche en el desayuno bajo la forma de "cereal" (Pereira, 2011).

d. Expandido de quinua

Se obtiene a partir de la quinua desaponificada o de la quinua natural. Este producto es el resultado de la expansión brusca de los granos obtenidos al someterlos a una temperatura alta y descompresión violenta. El extruido de quinua se realiza a partir de la mezcla de harina de quinua y de trigo, que se somete a altas temperaturas para cocinarlas y aumentar su digestibilidad. Se obtiene un producto ligero que puede ser saborizado o endulzado. Por sus características sensoriales y de alto valor nutritivo es ideal para los niños (Pereira, 2011).

2.1.5. Propiedades funcionales de la quinua

La quinua posee un alto porcentaje de fibra dietética total, lo cual la convierte en un alimento ideal que actúa como un depurador del cuerpo, logrando eliminar toxinas y residuos que pueden dañar el

organismo. Produce sensación de saciedad. El cereal en general y la quinua en particular, tienen la propiedad de absorber agua y permanecer más tiempo en el estómago. La quinua es adecuada en el tratamiento del colesterol, en dietas de adelgazamiento, para la hipertensión y para prevenir enfermedades vasculares en general. Debido a su alto contenido mineral, la quinua se emplea como remedio antihemorrágico, contra la gonorrea y en la tuberculosis (Castañeda, 2015).

Cabe destacar que la quinua no tiene gluten y además contiene dos fitoestrógenos: daidzeína y genisteína, que ayudan a prevenir la osteoporosis y muchas de las alteraciones orgánicas y funcionales ocasionadas por la falta de estrógenos durante la menopausia, además de favorecer la adecuada actividad metabólica del organismo y la correcta circulación de la sangre. Por lo anterior las bondades nutricionales y terapéuticas de la quinua permiten considerarla como un alimento completo, nutritivo, saludable y muy recomendable, especialmente para niños, embarazadas, celíacos, mujeres que sufren menopausia, ancianos y personas convalecientes, pero también para deportistas, vegetarianos, diabéticos, personas muy estresadas y adultos en general (FAO, 2011).

2.2. Coco

2.2.1. Generalidades

La planta de coco (*Cocos nucifera*) conocida en inglés como “coconut”, es un miembro de la familia *Arecaceae* (familia de palmeras) y es una especie vegetal que se encuentra distribuida a través de las áreas tropicales y sub tropicales, cuyas plantas han mostrado mucha versatilidad en el uso de sus hojas, brotes, tallos y

frutos, los que son utilizados por los pobladores de dichas zonas. Este fruto tiene una cáscara gruesa, una sola semilla y un endospermo de una capa blanca gruesa, carnososa y comestible, conocida como “pulpa”, que contiene a su vez un endospermo líquido, cuyo volumen puede variar de 300 a 1000 mL, dependiendo del tamaño del coco y del grado de madurez del mismo. Los frutos inmaduros son conocidos como cocos suaves y pueden ser cosechados para beber su líquido, el cual es considerado como una bebida refrescante y saludable por su contenido de calcio, fierro, fibra y bajo contenido calórico (Gonzales y Corbera, 2012).

El origen de esta planta es desconocido, para algunos botánicos es de origen asiático y para otros del Caribe. Sin tomar en cuenta su origen, los cocoteros se han expandido a través de muchas de las zonas tropicales del mundo, ayudado probablemente en muchos casos por el factor humano. El coco como es una semilla resistente, es propagado a grandes distancias por las corrientes marinas, llegándose a ver cocos flotando en las costas del mar de Noruega y aun con posibilidades de ser germinados después en lugares adecuados (Gonzales y Corbera, 2012).

2.2.2. Taxonomía

Según Chan y Elevitch (2006) la siguiente descripción taxonómica se aplica a la alta variedad de cocos que crecen en todas partes del mundo:

Jerarquía	Descripción
Reino:	<i>Plantae</i>
División:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Liliopsida</i>
Orden:	<i>Arecales</i>
Familia:	<i>Areaceae</i>
Género:	<i>Cocos</i>
Especie:	<i>Cocos nucifera</i> L.

2.2.3. Composición nutricional

El coco posee una serie muy interesante de sustancias nutritivas, al ser una fruta muy rica en hierro y potasio, y en definitiva en aquellas sales minerales que participan en la propia mineralización de los huesos, como son el calcio, el fósforo y el magnesio. Al nivel de macronutrientes destaca el contenido de lípidos (33.49%) y carbohidratos (15.23%). En el Cuadro 3, se presenta la composición nutricional del coco.

Cuadro 3. Composición nutricional del coco

Componente	Cantidad (g/100 g de porción comestible)
Agua	46.99
Proteína	3.33
Lípidos	33.49
Carbohidratos	15.23
Fibra	9.00
	Cantidad (mg/100g de porción comestible)
Magnesio	32.00
Calcio	14.00
Fosforo	113.00
Hierro	2.43
Sodio	20.00
Potasio	350.00
Vitamina B ₁	0.07
Vitamina B ₂	0.02
Vitamina B ₃	0.54
Vitamina B ₅	0.30
Vitamina B ₆	0.05
Vitamina C	3.30

Fuente: Lizano (2006).

2.2.4. Usos del coco

a. Leche de coco

La leche de coco es un ingrediente empleado en las cocinas de Asia y el Caribe, como base platos y salsas. Tiene una apariencia similar a la leche. No se debe confundir esta "leche" con el agua de coco, ya que el "agua" no se saca de la pulpa, sino que

está de forma líquida y natural en la cavidad central de la pulpa del coco. El color y sabor de la leche de coco se atribuye a su alto contenido de azúcares y aceites. En Malasia e Indonesia la leche de coco se denomina santan y en las Filipinas se denomina gata (Gonzales y Corbera, 2012).

El contenido de sólidos presentes en la leche de coco, entre los que incluyen proteínas, grasa, carbohidratos y otros componentes, es de 21 grados Brix (Andino y Bustos, 2012).

b. Agua de coco

Se consume como bebida rehidratante. Es usado como sustituto de sueros, posee un alto valor nutritivo (Lizano, 2006).

c. Aceite de coco

Usado en alimentos, cosmetología, combustibles y lubricantes (Lizano, 2006).

d. Harina de coco

Es un subproducto de la extracción de aceite y se usa como alimento para ganado (Lizano, 2006).

e. Copra

Es la carne blanca del coco, se usa como materia prima para la extracción de aceite. También tiene otros usos como coco rallado, deshidratado, conservas y otros (Lizano, 2006).

2.3. Helado

El helado es un producto batido refrescante de distintos sabores, constituido por burbujas de aire limitadas por películas de una

mezcla de proteínas, azúcares, sales y otros componentes, disueltos o no. También contiene glóbulos de grasa emulsionada y cristales de hielo (Mosquera, 2011). Son los productos alimenticios llevados al estado sólido o pastoso por medio de la congelación, elaborados con dos o más de los ingredientes siguientes: leche o productos lácteos en sus diferentes formas, grasa de leche, grasas vegetales deodorizadas; edulcorantes permitidos, huevos, agua, jugos y pulpa de frutas, frutas, chocolate, nueces y/o productos similares, aditivos permitidos y otros (INDECOPI, 2006).

Según Del Castillo y Mestres (2004) a los helados, se los define de la siguiente manera:

- Es el producto resultante de batir y congelar una mezcla debidamente pasteurizada y homogenizada, de leche, derivados de leche y otros productos alimenticios.
- En una forma genérica, los helados son preparaciones alimenticias que han sido llevadas al estado sólido, semisólido o pastoso, por una congelación simultánea o posterior a la mezcla de las materias primas utilizadas y que han de mantener el grado de plasticidad y congelación suficiente, hasta el momento de su venta al consumidor.

2.3.1. Clasificación

Según la norma técnica peruana 202.057 de leches y productos lácteos: helados (INDECOPI, 2006) los helados se clasifican en: tipo crema, de leche, de leche desnatada, de frutas y sorbete.

a. Helados de crema

Aquellos que tienen un alto contenido de grasa comestible y un contenido mínimo de sólidos lácteos no grasos de 6% (INDECOPI, 2006).

Contiene en masa como mínimo:

- 8% de materia grasa exclusivamente de origen lácteo.
- 2.5% mínimo de proteínas, exclusivamente de origen lácteo (Real Decreto 618/1998).

b. Helados de leche

Aquellos en los que predomina el contenido de sólidos lácteos, sin considerar los azúcares (INDECOPI, 2006).

Contiene en masa como mínimo:

- 2.5% mínimo de materia grasa, exclusivamente de origen lácteo.
- 6% mínimo de extracto seco magro lácteo (Real Decreto 618/1998).

c. Sorbetes

Aquellos que tienen en su composición sólidos lácteos y cuyo contenido de grasa vegetal o grasa de leche, sólidos no grasos y sólidos totales es inferior al del helado de leche (INDECOPI, 2006).

Contiene en masa como mínimo:

- 15% de frutas.
- 20% mínimo de extracto seco total (Real Decreto 618/1998).

d. Helados de agua

Aquellos elaborados con agua potable, azúcar, esencias autorizadas o jugos de frutas y en algunos casos, glucosa y espesantes (INDECOPI, 2006).

Contiene en masa como mínimo:

- 12% de extracto seco total (Real Decreto 618/1998).

2.3.2. Composición nutricional

Según Di Bartolo (2005) el valor nutritivo del helado depende de los ingredientes usados, en el Cuadro 4, se presenta el rango de la composición nutricional del helado.

Cuadro 4. Composición nutricional del helado

Componente	Cantidad (g/100 g de porción comestible)
Agua	50 - 78
Proteína	1 - 6
Lípidos	2 - 4
Carbohidratos	13 - 22
	Cantidad (mg/100g de porción comestible)
Magnesio	10 - 20
Calcio	80 - 138
Fosforo	45 - 150
Hierro	0.05 - 2
Vitamina A	0.02 – 0.13
Vitamina B ₁	0.02 – 0.07
Vitamina B ₂	0.17 – 0.23
Vitamina B ₆	0.05 – 0.10
Vitamina C	0.9 – 1.8

Fuente: Di Bartolo (2005).

2.3.3. Estructura física de los helados

Cuando un alimento es el resultado de la mezcla de varios componentes puede presentar diversas estructuras físicas dentro de una apariencia general. En el caso de los helados, su estructura puede parecer típicamente sólida cuando están bien congelados;

pueden tener una estructura pastosa, semisólida, cuando están cerca de su punto de fusión; o pueden ser líquidos si se dejan fundir a temperatura ambiente. Dentro del helado pueden convivir casi todos los tipos de estructura física; al ser el helado una unión de una serie de ingredientes sólidos y líquidos, los tipos de unión pueden ser muy diferentes, así pues se tienen diferentes tipos de disoluciones como: dispersiones (suspensiones y emulsiones), soluciones coloides, soluciones moleculares y soluciones iónicas (Madrid y Cenzano, 2003).

2.3.4. Ingredientes básicos de los helados

a. Leche

Es el componente mayoritario de los helados que no son sorbetes. A los helados se les puede añadir leche entera, desnatada, concentrada, evaporada, o bien, yogurt, suero o proteínas de suero. Lo más habitual es añadir leche en polvo desnatada debido a que es un producto homogéneo, estable y que se puede conservar a largo plazo (García, 2015).

La proteína láctea en el helado cumple varias funciones; las más importantes son: actuar como emulsionante durante la homogenización del mix, que es como se denomina la mezcla base, y como agente tensioactivo durante el proceso de congelación. No obstante, estos dos papeles también los pueden ejecutar emulsionantes añadidos. Es necesario que después de la homogenización la proteína láctea se deposite, en parte, en la superficie de los glóbulos grasos para evitar una coalescencia excesiva, puesto que la ausencia de proteína puede producir glóbulos muy inestables. Esta función, además de las caseínas, también la puede realizar la proteína del suero (Madrid y Cenzano, 2003).

La caseína micelar contribuye a la viscosidad necesaria para la buena consistencia del helado de la fase acuosa junto con los estabilizantes que gelifican en parte la fase acuosa. La caseína a pH bajo, como sucede en el caso de utilizar yogurt en vez de leche, forma un gel que puede interactuar con algunos polisacáridos como la kappa carragenina (García, 2015).

La lactosa y las materias minerales son dos componentes que disminuyen el punto de congelación de los helados. La lactosa tiene también el inconveniente de ser poco soluble y de que si hay fluctuaciones de temperatura y un almacenamiento prolongado, recristaliza formando unos cristales largos de α -lactosa hidratada que pueden conferir al producto una textura arenosa (Del castillo y Mestres, 2004).

b. Agua

El agua debe ser incolora, inodora e insípida, excepto en aguas sometidas a tratamiento en que se tolera el ligero olor y sabor característicos del potabilizante utilizado (Madrid y Cenzano, 2003).

c. Grasa

Como ingredientes en la fabricación de helados se pueden usar grasas comestibles más baratas en sustitución de la grasa de origen lácteo como la crema y la manteca. Dentro de las grasas comestibles podemos clasificarlas en tres grandes grupos: aceites, que son líquidos a temperatura ambiente, grasas vegetales, de estado sólido a temperatura ambiente, grasas animales, que son sólidas a temperatura ambiente e incluyen los sebos y las mantecas de origen animal. Este último grupo no es recomendable ya que incorporan sus propios sabores (Di Bartolo, 2005).

d. Sacarosa

Es un ingrediente ideal por su alta solubilidad, dulzor y bajo coste. Contribuye a aumentar los sólidos y proporciona un buen soporte a los aromas añadidos. Normalmente se utiliza en cantidades que van del 12 a 16% en el total del mix de los helados de leche; en cambio, en los sorbetes es necesario añadir entre el 20 y 30%. El uso de la sacarosa como único azúcar en el helado puede ocasionar una consistencia muy dura a temperaturas de -18°C (Del Castillo y Mestres 2004).

e. Estabilizantes

Los estabilizantes se definen como aquellas sustancias que impiden el cambio de forma o naturaleza química de los productos alimenticios a los que se incorporan, inhibiendo reacciones o manteniendo el equilibrio químico de los mismos (Madrid y Cenzano, 2003).

Los estabilizantes, que mantienen la estabilidad aire-grasa-agua en el mix homogenizado, son polímeros más o menos complejos de glúcidos simples. Estos compuestos se embeben intensamente en agua y forman soluciones coloidales, su función es mejorar la textura, incrementar la firmeza y la viscosidad y reducir la tasa de difusión del agua y de las sales. También demoran el crecimiento de los cristales de hielo y lactosa mejorando con ello la estabilidad de los helados durante el almacenamiento. Si se añade poco estabilizante se puede producir sinéresis, cuando la temperatura ambiente es elevada y en estado congelado, el helado se desmenuza y las burbujas de aire pueden no quedar repartidas homogéneamente con el riesgo añadido de que la grasa se separe en el congelador (Del Castillo y Mestres 2004).

f. Emulsificantes

Se definen como aquellos que añadidos a los productos alimenticios tienen como fin mantener la dispersión uniforme de dos o más fases no miscibles. Para conseguir su finalidad, se concentran en la interfase (grasa y agua) reduciendo la tensión superficial y consiguiendo una emulsión estable (Madrid y Cenzano, 2003).

En los sistemas no miscibles, por ejemplo aceite/agua, los emulsificantes ocupan la superficie limitante entre ambas fases, haciendo disminuir la tensión interfacial. Facilitan así un fino reparto de una fase en el seno de otra. Pero, al contrario que en la mayoría de las emulsiones alimentarias, en los helados una de las misiones de los emulsionantes es la de desestabilizar parcialmente la emulsión, es decir, ayudar a que se produzca una cierta coalescencia y agregación de las gotas de grasa para que puedan formar la red que engloba a las burbujas de aire. Por ello, generalmente se utilizan dos emulsionantes de diferente HLB (balance hidrofílico-lipofílico) (Del Castillo y Mestres 2004).

g. Aire

Es un ingrediente básico. Tiene que ser limpio y libre de microorganismos. Si se trata de aire comprimido tiene que estar libre de aceite y agua, y filtrado en filtro estéril. Para conseguir la mejor textura y cuerpo, las burbujas de aire en el helado tienen que ser más pequeñas que 100 μm , de esta manera también se intensifica el aroma. Cuanto más alto es el contenido en sólidos del helado, más cantidad de aire se acostumbra a añadir, aunque los helados que contienen fruta y frutos secos requieren menos aire (Del Castillo y Mestres 2004).

2.4. Metodología de superficie de respuesta

La metodología de la superficie de respuesta (MSR) se ha utilizado con éxito para optimizar numerosos y diversos procesos, sistemas e instalaciones industriales. Se trata de un método experimental aplicado en laboratorios de investigación y desarrollo y, a veces, al equipo real de una fábrica (Juran y otros, 2005).

En la MSR, las variables importantes seleccionadas del proceso se modifican de manera cuidadosamente estudiada, se efectúan mediciones de las capacidades operativas del proceso y se analizan estos datos para indicar de qué modo deberían ajustarse las variables para mejorar el rendimiento (Juran y otros, 2005).

Se puede considerar a la MSR, dividida en dos etapas:

- Etapa de primer orden, en la que se contempla un modelo matemático, se ejecuta un plan factorial u otro de primer orden, se ajustan los datos, se trazan las curvas de nivel de la superficie de respuesta y se determina la dirección de la pendiente más inclinada.
- Etapa de segundo orden, en la que se contempla una segunda etapa del modelo matemático, se ejecuta un plan compuesto-central u otro de primer orden, se ajustan los datos, se dibujan las curvas de nivel de la superficie de respuestas, se realiza un análisis canónico y se determina un "óptimo".

La MSR es, en realidad, más flexible de lo que estas breves definiciones hacen suponer (Juran y otros, 2005).

La MSR tiene varias ventajas comparada con los experimentos clásicos y métodos de optimización, ya que nos permite obtener una gran cantidad de información a partir de un número pequeño de experimentos. Con el uso de los métodos clásicos, se consume

mayor cantidad de tiempo y son necesarios mayor número de experimentos para explicar el comportamiento del sistema (Montgomery, 2011).

Además, se puede observar el efecto de la interacción de los parámetros que podrían ser más críticos, así como: el sinergismo, antagonismo y adición. La ecuación del modelo fácilmente aclara estos efectos por combinación binaria de las variables independientes; además, el modelo empírico que relaciona la respuesta de variables independientes, es usado para obtener la información del proceso (Montgomery, 2011).

En la mayoría de los problemas de MSR, la forma de la relación entre la respuesta y las variables independientes es desconocida. Por lo tanto, el primer paso de la MSR es encontrar una aproximación adecuada de la verdadera relación funcional entre “y” y el conjunto de variables independientes. Por lo general, se emplea un polinomio de orden inferior en alguna región de las variables independientes. Si la respuesta está bien modelada por una función lineal de las variables independientes, entonces la función de aproximación es el modelo de primer orden:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

Si hay curvatura en el sistema, entonces debe usarse un polinomio de orden superior, tal como el modelo de segundo orden:

$$y = \beta_0 + \sum \beta_i x_i + \sum_{ii} \beta_i^2 x_i^2 + \sum \sum \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

En casi todos los problemas MSR se usa uno de estos modelos o ambos. Es probable que un modelo polinomial sea una aproximación razonable de la verdadera relación funcional en el espacio completo de las variables independientes, pero para una

región relativamente pequeña suelen funcionar bastante bien (Montgomery, 2011).

La MSR es un procedimiento secuencia. Muchas veces, cuando se está en un punto de la superficie de respuesta que está apartado del óptimo, el sistema presenta una curvatura moderada y el modelo de primer orden será apropiado. El objetivo en este caso es llevar al experimentador de manera rápida y eficiente por la trayectoria del mejoramiento hasta la región general del óptimo, puede emplearse un modelo más elaborado, como el de segundo orden, y llevarse a cabo un análisis para localizar el óptimo. El objetivo último de la MSR es determinar las condiciones de operación óptimas del sistema o determinar una región del espacio de los factores en la que se satisfagan los requerimientos de operación (Lesso, 2012).

Experimentos con mezclas (diseño de mezclas)

Es un diseño experimental que se utiliza cuando los factores son los componentes o ingredientes de una mezcla, y por consiguiente, sus niveles no son independientes. Por ejemplo, si $\chi_1, \chi_2, \dots, \chi_p$ denota las proporciones de p componentes de una mezcla, entonces:

$$0 \leq \chi_i \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, p$$

$$\chi_1 + \chi_2 + \dots + \chi_p = 1 \quad (\text{es decir, } 100\%)$$

Estas restricciones se ilustran en la Figura 1 para $p=2$ y $p=3$ componentes. Para dos componentes, el espacio de los factores del diseño incluye los valores que están sobre el segmento de la recta $\chi_1 + \chi_2 = 1$, cada componente acotado por 0 y 1. Con tres componentes, el espacio de la mezcla es un triángulo con vértices

correspondientes a las formulaciones que son mezclas puras (100% de un solo componente).

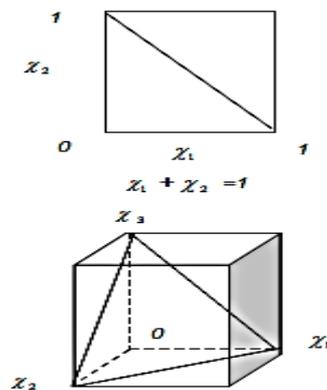


Figura 1. Espacio de los factores restringidos para mezclas con a) $p = 2$ componentes y b) $p = 3$ componentes

Fuente: Montgomery (2011).

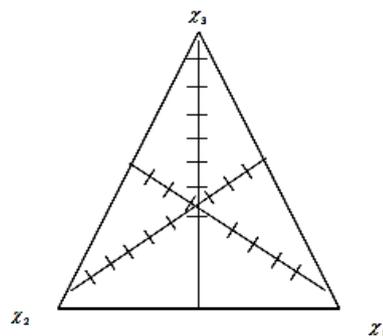


Figura 2. Sistema coordenado trilineal

Fuente: Montgomery (2011).

Cuando hay tres componentes en la mezcla, la región experimental restringida puede representarse convenientemente en papel milimétrico lineal, como se muestra en la Figura 2. Cada uno de los tres lados de la gráfica representa una mezcla que no contiene nada de alguno de los tres componentes (el componente indicado en el vértice opuesto). Las nueve líneas de graduación en cada

dirección marcan incrementos de 10% en el componente respectivo (Montgomery, 2011).

a. Diseño símplex con centroide

Las combinaciones de la mezcla para los diseños simplex y simplex con centroides se encuentran en las orillas del espacio de factores simplex y con la excepción de un punto centroide que contiene la mezcla de todos los componentes. Es posible obtener mezclas más completas si se aumentan los diseños centroides simplex con mezclas sobre los ejes del espacio de factores (Puente y otros, 2015)

Dentro de éstos diseños de mezclas se encuentran los diseños símplex, que se usan para estudiar los efectos de los componentes de una mezcla sobre la variable de respuesta. Un diseño símplex reticular (p, m) para p componentes consta de los puntos definidos por los siguientes arreglos de las coordenadas: las proporciones asumidas por cada componente toman los $m + 1$ valores que están separados por una distancia igual de 0 a 1,

$$i = 1, 2, \dots, p; \chi_i = 0, \frac{1}{m}, \frac{2}{m}, \dots, 1$$

y se usan todas las combinaciones posibles (mezclas) de las proporciones. Así, sea $p=3$ y $m=2$; entonces:

$$i = 1, 2, 3; \chi_i = 0, \frac{1}{2}, 1$$

y el diseño símplex reticular consta de las seis corridas siguientes:

$(\chi_1, \chi_2, \chi_3) = (1, 0, 0); (0, 1, 0); (0, 0, 1); (1/2, 1/2, 0); (1/2, 0, 1/2)$ y $(0, 1/2, 1/2)$. En la Figura 3 se ilustra este diseño, entre otros.

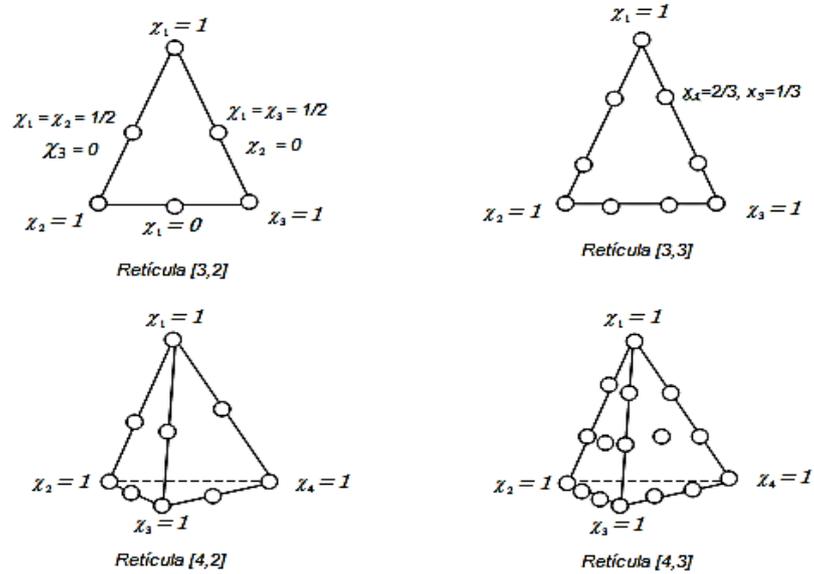


Figura 3. Algunos diseños simplex reticulares para $p=3$ y $p=4$ componentes

Fuente: Montgomery (2011)

Los tres vértices $(1, 0, 0)$, $(0, 1, 0)$ y $(0, 0, 1)$ son las mezclas puras, mientras que los puntos $(1/2, 1/2, 0)$, $(1/2, 0, 1/2)$ y $(0, 1/2, 1/2)$ son mezclas binarias o mezclas de dos componentes localizadas en los puntos medios de los tres lados del triángulo. En la Figura 3 se muestran también los diseños simplex reticulares $(3,3)$; $(4,2)$ y $(4,3)$.

En general, el número de puntos en un diseño simplex reticular

$$(p,m) \text{ es: } N = \frac{(p+m-1)!}{m!(p-1)!}$$

Una alternativa del diseño simplex reticular es el diseño simplex de centroide. En un diseño simplex de centroide con p componentes hay $2^p - 1$ puntos, que corresponden a las p permutaciones de $(1, 0, 0, \dots, 0)$, las $\binom{p}{2}$ permutaciones $(1/2, 1/2, 0, \dots, 0)$, las $\binom{p}{3}$ permutaciones de $(1/3, 1/3, 1/3, 0, \dots, 0)$, ... y el centroide global

$(1/p, 1/p, \dots, 1/p)$. En la Figura 4 se muestran algunos diseños símplex con centroide (Montgomery, 2011).

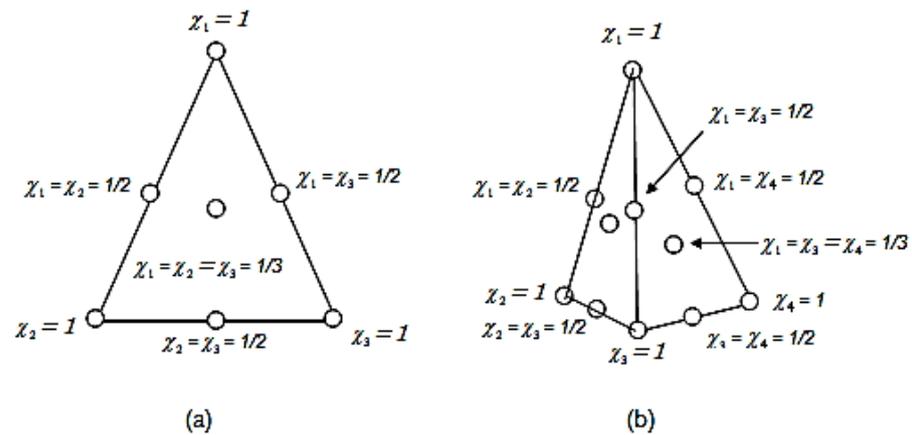


Figura 4. Diseños símplex con centroide, con a) $p=3$ componentes y b) $p=4$ componentes

Fuente: Montgomery (2011)

Una crítica a los diseños símplex descritos antes es que la mayoría de las corridas ocurren en la frontera de la región y, por consiguiente, incluyen solo $p-1$ de los p componentes. Suele ser deseable aumentar el diseño símplex reticular o de centroide con puntos adicionales en el interior de la región donde las mezclas estarán formadas por la totalidad de los p componentes. Los modelos para mezclas difieren de los polinomios usuales empleados en los diseños de superficie de respuesta debido a la restricción ($\sum \chi_i = 1$). Las ecuaciones de los modelos para mezclas que se usan ampliamente son:

Lineal:
$$E(y) = \sum \beta_i \chi_i$$

Cuadrático:
$$E(y) = \sum \beta_i \chi_i + \sum \sum \beta_{ij} \chi_i \chi_j$$

Cúbico completo:

$$E(y) = \sum \beta_i \chi_i + \sum \sum \beta_{ij} \chi_i \chi_j + \sum \sum \delta_{ij} \chi_i \chi_j (\chi_i - \chi_j) \\ + \sum \sum \sum \beta_{ijk} \chi_i \chi_j \chi_k$$

Cúbico especial:

$$E(y) = \sum \beta_i \chi_i + \sum \sum \beta_{ij} \chi_i \chi_j + \sum \sum \sum \beta_{ijk} \chi_i \chi_j \chi_k$$

Los términos de estos modelos tienen interpretaciones relativamente simples. En todas las ecuaciones, el parámetro β_i representa la respuesta esperada para la mezcla pura $\chi_i = 1$ y $\chi_j = 0$ cuando $j \neq i$. A la porción $\sum \beta_i \chi_i$ se le llama porción de mezcla lineal. Cuando hay una curvatura derivada de una mezcla no lineal entre pares de componentes, los parámetros β_{ij} representan una mezcla sinérgica o bien antagónica. Los términos de órdenes superiores suelen ser necesarios en los modelos para mezclas porque 1) los fenómenos estudiados pueden ser complejos y 2) la región experimental con frecuencia es la región de operabilidad completa y, en consecuencia, es grande y requiere un modelo elaborado (Montgomery, 2011).

b. Optimización

Los diseños de experimentos factoriales y fraccionales, sirven para hacer una selección de factores más relevantes que afectan el desempeño del proceso. El paso siguiente es la optimización del proceso, o la búsqueda de las condiciones de operación para las variables del proceso que lo optimicen. Muchos problemas de superficies de respuesta incluyen el análisis de varias respuestas. La consideración simultánea de las respuestas múltiples requiere construir primero un modelo de superficie de respuesta adecuado para cada respuesta y después encontrar un conjunto de condiciones de operación que optimice en cierto sentido todas las respuestas o que al menos las mantenga en los rangos deseados. Un enfoque relativamente directo para optimizar varias respuestas que funciona bien cuando solo hay pocas variables en el proceso es la superposición de graficas de contorno de cada respuesta (Montgomery, 2011).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

Las pruebas experimentales, análisis fisicoquímicos y sensoriales se realizaron en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Privada Antenor Orrego.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materia prima

- Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) variedad Blanca de Junín, (IncaSur)
- Leche de coco, (Chaokoh) (Extracto de coco, agua, ácido cítrico, metabisulfito de sodio)
- Leche evaporada con 26% de sólidos totales, (Gloria)

3.2.2. Insumos

- Crema de leche, (Nestle)
- Azúcar blanca, (Cartavio)
- Carboximetilcelulosa, GELYCEL F1-4000, (Linros Interinsumos)
- Huevos, (La Calera)

3.2.3. Equipos e instrumentos

- Reómetro Digital Brookfield. Modelo DV-III+, rango 0 – 150 rpm a 4 °C.
- Congeladora Marca BOSH. Modelo GSD32
- Batidora manual. Marca Oster. Modelo 2532
- Licuadora. Marca Oster. Modelo 4655.

- Balanza analítica. Marca Mettler Toledo. Modelo AB204.
Capacidad 210 g, aprox. 0.0001 g.
- Balanza electrónica marca Sartorius Ag Goettingen capacidad
3100 g, aprox. 0.001 g.

3.2.4. Otros

- Coladores
- Jarras
- Cucharas
- Ollas
- Recipientes plásticos
- Tazón de acero inoxidable
- Bandejas de acero inoxidable

3.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño de mezclas simplex con centroide ampliado con restricciones, para el caso de la leche evaporada, siempre debió haber en la formulación un mínimo de 37% (50% de la mezcla de leches), por ser esta un ingrediente fundamental en la elaboración de helados. En el diseño experimental (Cuadro 5) se tuvo la mezcla de leche de quinua (0 – 37%), leche de coco (0 – 37%) y leche evaporada (37 – 74%), del cual se generó las 10 combinaciones o tratamientos más 4 repeticiones dentro de diseño.

Cuadro 5. Combinaciones del diseño de mezclas simplex con centroide ampliado

Tratamientos	Leche de quinua (%)	Leche de coco (%)	Leche evaporada (%)
1	37.00	0.00	37.00
2	0.00	37.00	37.00
3	0.00	0.00	74.00
4	18.50	18.50	37.00
5	18.50	0.00	55.50
6	0.00	18.50	55.50
7	12.33	12.33	49.33
8	24.67	6.17	43.17
9	6.17	24.67	43.17
10	6.17	6.17	61.67
11*	0.00	0.00	74.00
12*	0.00	18.50	55.50
13*	37.00	0.00	37.00
14*	0.00	37.00	37.00

*Repeticiones dentro de diseño

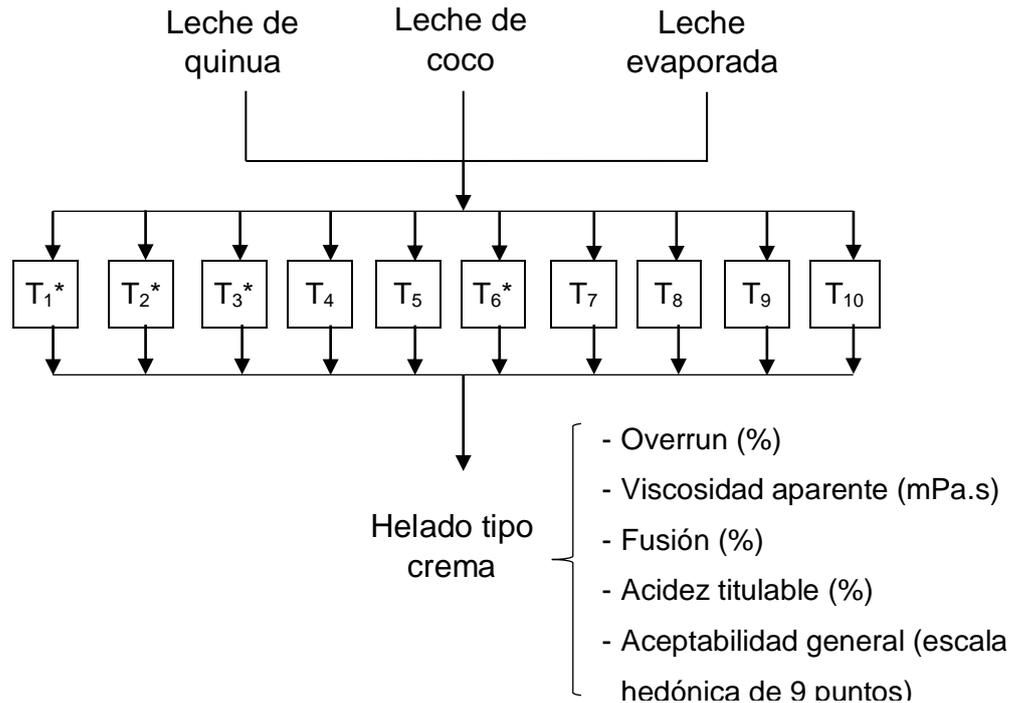
Restricciones:

0% ≤	Leche de quinua	≤	37%
0% ≤	Leche de coco	≤	37%
37% ≤	Leche evaporada	≤	74%

3.4. Esquema experimental

En la Figura 5, se muestra el esquema experimental, que tiene como variables independientes a la leche de quinua, leche de coco y leche evaporada en el rango de 0 – 74% respecto a la mezcla total de estos ingredientes en helado tipo crema. Se evaluó el

overrun, viscosidad aparente, fusión, acidez titulable y aceptabilidad general.



Donde:

- T₁*: 37.00% de LQ, 0.00% de LC, 37.00% de LCV
 T₂*: 0.00% de LQ, 37.00% de LC, 37.00% de LCV
 T₃*: 0.00% de LQ, 0.00% de LC, 74.00% de LCV
 T₄: 18.50% de LQ, 18.50% de LC, 37.00% de LCV
 T₅: 18.50% de LQ, 0.00% de LC, 55.50% de LCV
 T₆: 0.00% de LQ, 18.50% de LC, 55.50% de LCV
 T₇: 12.33% de LQ, 12.33% de LC, 49.33% de LCV
 T₈: 24.67% de LQ, 6.17% de LC, 43.17% de LCV
 T₉: 6.17% de LQ, 24.67% de LC, 43.17% de LCV
 T₁₀: 6.17% de LQ, 6.17% de LC, 61.67% de LCV

*Replicas dentro de diseño.

LQ: leche de quinua, LC: leche de coco y LCV: leche evaporada

Figura 5. Esquema experimental para la evaluación del helado tipo crema

3.5. Proceso experimental

3.5.1. Elaboración de leche de quinua

En la Figura 6, se observa el flujo de proceso que se siguió para la elaboración de la leche de quinua.

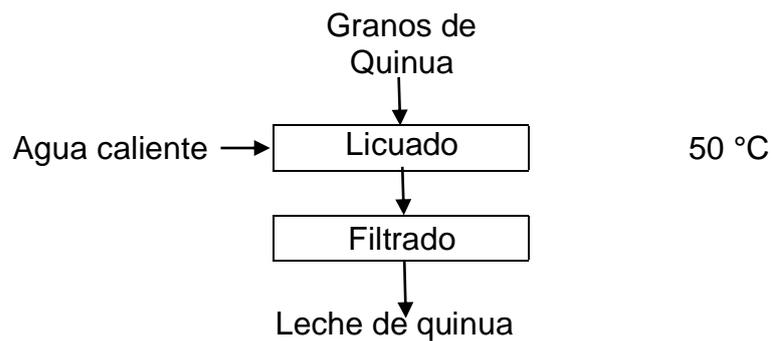


Figura 6. Diagrama de flujo para la elaboración de leche de quinua

Fuente: Solórzano (2013).

Para la elaboración de la leche de quina se usó 3.8% de granos de quinua y 96.2% de agua. A continuación, se describe cada operación que se siguió (Solórzano, 2013):

Licuado

Se licuaron los granos de quinua con agua caliente a 50 °C a velocidad baja por 1 min, posteriormente a velocidad media por 3 min.

Filtrado

Se filtró el producto con un colador y tela organza (0.05mm); se enfrió y almacenó a 4 °C hasta su uso en la elaboración de helado.

3.5.2. Elaboración de helado tipo crema

En la Figura 7, se presenta el flujo de proceso que se siguió para la elaboración de helado tipo crema.

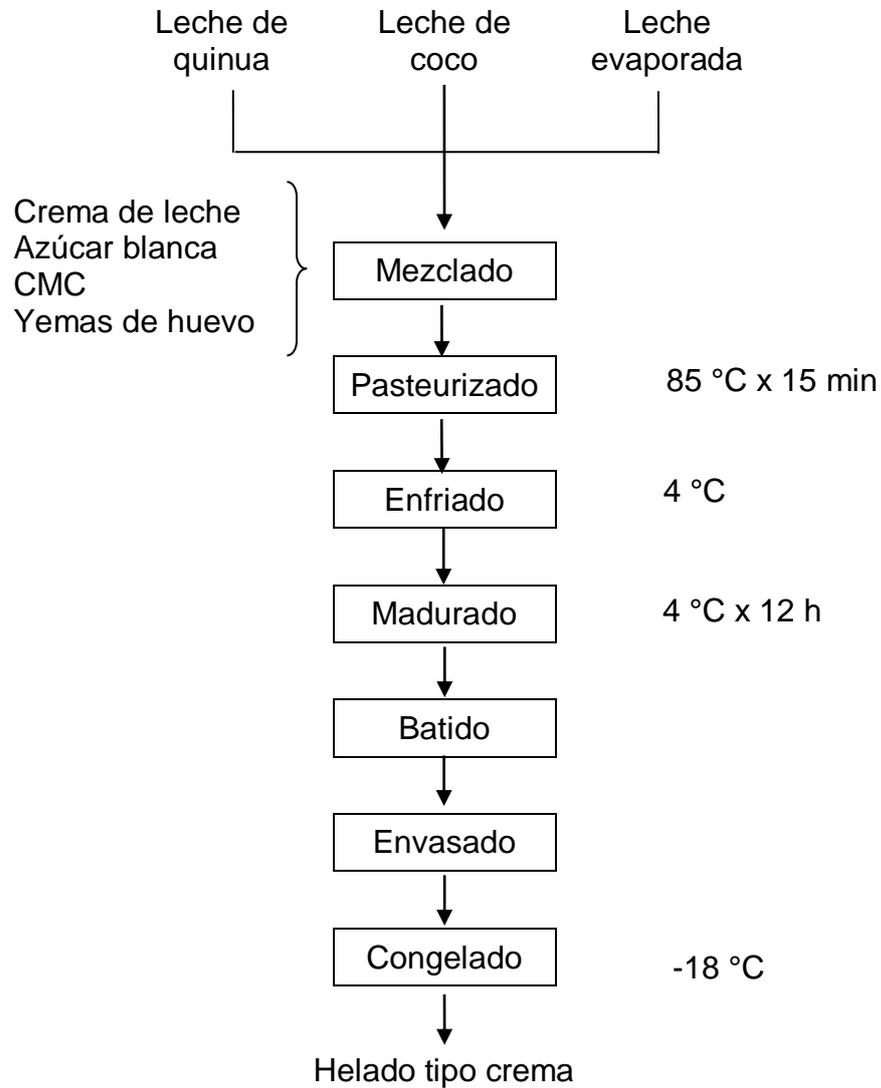


Figura 7. Diagrama de flujo para la elaboración de helado tipo crema con leche de quinua, leche de coco y leche evaporada

A continuación, se describe cada operación que se realizó para obtener el helado tipo crema con leche de quinua, leche de coco y leche evaporada (Chango, 2010; Tuba y otros, 2011; Solórzano, 2013; García, 2015):

Mezclado

Se mezclaron los ingredientes líquidos (donde varió la proporción de leche de quinua, leche de coco, leche evaporada según el diseño de mezclas conformando un total de 74% del total de la formulación) y se calentó la mezcla a 40 °C; a continuación, se añadieron la crema de leche, azúcar blanca, CMC y yemas de huevo según la formulación (Cuadro 6), el mezclado tuvo que ser constante hasta que los ingredientes formaron una mezcla uniforme.

Cuadro 6. Formulación de helado tipo crema

Ingredientes	Cantidad (%)
Mezcla de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada	74.00
Otros Ingredientes	
Crema de leche	8.00
Azúcar blanca	16.00
CMC	0.50
Yemas de huevo	1.50
Total	100.00

Fuente: Elaborado a partir de la formulación propuesta por García (2015) y Solórzano (2013).

Pasteurizado

Se realizó con la finalidad de eliminar microorganismos patógenos y las enzimas que pudieron producir modificaciones de sabor durante el almacenamiento. Se trabajó a 85 °C durante 15 min.

Enfriado

Se dejó enfriar la mezcla a temperatura ambiente hasta 4 °C por el tiempo de 1 hora.

Madurado

La mezcla enfriada se mantuvo en una cámara de frío a 4 °C por un periodo de 12 h, con la finalidad de mejorar las características físicas del helado.

Batido

Se llevó la mezcla a un recipiente de acero inoxidable y este se colocó en otro recipiente que contenía hielo y sal (temperaturas de -4 a -2 °C), se batió (batidora de mano) durante 15 min con la finalidad de incorporar aire y conseguir la formación de cristales finos de hielo.

Envasado

Las mezclas batidas se llenaron en envases plásticos de polipropileno de 1.5 L, posteriormente fueron cerrados para pasar a la siguiente operación.

Congelado

Se llevó a una cámara de congelación a -18 °C por 24 horas. El helado tipo crema con leche de quinua, leche de coco y leche evaporada se conservó en congelación hasta su evaluación.

3.6. Método de análisis**3.6.1. Overrun**

El contenido de aire incorporado al helado se cuantificó por el parámetro denominado overrun que se define como índice de aireación del helado. Se midió el volumen inicial de la mezcla y posteriormente el volumen final del helado (García, 2015). Para los 14 tratamientos se trabajaron 2 Lts de helado (volumen inicial). El cálculo se realizó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Overrun} = \frac{V_f - V_i}{V_i} \times 100$$

Donde:

V_i : volumen inicial de mezcla.

V_f : volumen final del helado.

3.6.2. Viscosidad aparente

Las muestras de helado se agitaron suavemente para eliminar el aire a partir de las mezclas, se estandarizó la temperatura a 4 °C para hacer las lecturas en el reómetro digital Brookfield Modelo DV-III+, equipado con husillo N° 27 a 80 rpm. Los resultados fueron expresados en mPa.s (Gutiérrez y otros, 2005).

3.6.3. Fusión

Se pesaron 250 g de helados, que se colocaron en un recipiente rectangular provisto en la parte inferior central de un orificio de 2.5 mm, a temperatura ambiente (20 °C). En una balanza se tuvo una bandeja en la cual se recibió el helado derretido. Se tomó el peso en la bandeja receptora a tiempos de: 0, 5, 10, 30, 40 y 50 min (Rincón y otros, 2008).

El tiempo normal en el que una persona consume un helado es de aproximadamente 30 minutos, por tal razón se consideró este dato como un parámetro importante en el análisis de los resultados (Ramírez-Navas, 2015).

El factor de fusión se expresó:

$$F(\%) = \frac{P_{ib}}{P_{ih}} \times \frac{P_{fh}}{P_{fb}} \times 100$$

Donde:*Pib*: peso de la bandeja receptora*Pih*: peso inicial del helado*Pfb*: peso final bandeja receptora*Pfh*: peso final del helado**3.6.4. Acidez titulable**

Se llevó la muestra de helado a temperatura ambiente (20 °C), luego se pesó 20 g del helado derretido y se diluyó con 40 mL de agua destilada, se agregaron 4 gotas de fenolftaleína. Finalmente, se tituló con NaOH al 0.01 N hasta alcanzar una coloración grosella (Paredes, 2012). La acidez titulable se determinó mediante la ecuación siguiente:

$$Acidez (\%) = \frac{V \times N \times meq}{g} \times 100$$

Donde:*V* = mL de NaOH usados para la titulación de la alícuota*N* = normalidad del NaOH*meq* = miliequivalentes de ácido láctico (0.09)*g* = peso de la muestra**3.6.5. Aceptabilidad general**

Se usó una prueba de escala hedónica para determinar el helado tipo crema con la combinación leche de quinua, leche de coco y leche evaporada con mayor grado de aceptación general. Los tratamientos a evaluar fueron sometidos a un panel sensorial conformado por 120 jueces, no entrenados, evaluándose la aceptabilidad general (Ureña y otros, 1999; Anzaldúa-Morales, 2005).

Al momento de presentar a los jueces los tratamientos a evaluar se utilizó un diseño de bloques incompletos balanceados (DBIB). De los 10 tratamientos sólo se le brindaron 7 a cada juez en forma balanceada y aleatoria (Figura 8), ya que a un mayor número de tratamientos existe una saturación en el paladar del evaluador. Este diseño es utilizado cuando el número de tratamientos que el juez evalúa se ajusta al que habitualmente está acostumbrado, lo que permite un análisis efectivo, preciso y válido. Dicho número elegido por el de uno mayor que un diseño completo al establecerse bloques de tamaño más pequeño facilita al juez mayor retención en la memoria de atributos sensoriales y la consistencia en el juicio al percibirlos y calificarlos (Ureña y otros, 1999). Para distribuir dichos tratamientos constantes, se hizo un arreglo de distribución de tratamientos, bloques, repeticiones y pares de tratamientos (Montgomery, 2011).

El cuadro del diseño de bloques incompleto balanceado utilizado en prueba de aceptabilidad general se detalla en Anexo 1.

Parámetros de bloques incompletos balanceados (DBIB)

- λ , número de pares del tratamiento que aparece en el diseño: 56
- Total de tratamientos: 10
- Tratamientos a evaluar: 7
- Bloques o jueces: 120
- Replicación: 84
- Factor de eficiencia 0.95

Los tratamientos fueron colocados en vasos de plástico de 3 oz debidamente codificados con 3 dígitos seleccionados al azar (fueron servidos a temperatura de -2 °C), se les proporcionó un vaso con agua para enjuagar el paladar entre cada muestra evaluada; a los panelistas se les entregó una tarjeta de evaluación (Figura 8). Cada panelista asignó la calificación correspondiente de acuerdo al nivel de agrado, siendo el valor de más alto puntaje el de me gusta muchísimo (9 puntos) y el de menor puntaje el de me disgusta muchísimo (1 puntos), con un valor intermedio de ni me gusta ni me disgusta (5 puntos) (Anzaldúa - Morales, 2005).

Prueba de aceptabilidad general							
Nombre del producto: helado tipo crema							
Instrucciones: pruebe de una en una las muestras de helado tipo crema que se le han proporcionado y califique según la escala que se presenta, marcando con una (X) en el casillero correspondiente de acuerdo al nivel de agrado o desagrado que le produzca.							
ESCALA	MUESTRAS						
	721	987	389	485	164	208	157
Me agrada muchísimo							
Me agrada mucho							
Me agrada moderadamente							
Me agrada poco							
No me agrada ni me desagrada							
Me desagrada poco							
Me desagrada moderadamente							
Me desagrada mucho							
Me desagrada muchísimo							
Comentarios _____							

Figura 8. Tarjeta de evaluación para la prueba de aceptabilidad general de helado tipo crema.

Fuente: Anzaldúa – Morales (2005).

3.7. Método estadístico

Una vez obtenidos los resultados, se aplicó un análisis de varianza para determinar qué modelo (lineal, cuadrático o cúbico especial) fue significativo ($p < 0.05$), además, se determinó el coeficiente de determinación R^2 (describió cuanto de la regresión representa el evento) y R^2 -ajustado (cuantos valores observados realmente están cercanos a los valores predichos), estos debieron ser iguales o superiores al 85 y 75%, respectivamente, para validar el modelo matemático que representó el comportamiento del fenómeno en estudio (Montgomery, 2011).

Si en este proceso se obtiene un valor de R^2 elevado, muy bien, aunque ellos no es evidencia a favor del modelo, y si este valor es pequeño, esto no significa que el modelo sea necesariamente malo. Estudios publicados, muestran valores para R^2 que van desde 0.44 hasta 0.87, donde se afirma la validez de la técnica de los puntos. Sin embargo, es una conclusión que no se desprende directamente. Son valores explicativos, no predictivos. Los valores de R y R^2 no son las medidas más adecuadas para evaluar la predicción de un modelo, se trata de las medidas del ajuste de la ecuación a los datos, no de la capacidad predictiva del modelo (Martínez, 2005).

La falta de ajuste indica que los modelos no son buenos predictores, debido a que las réplicas que se realizaron corresponden a experimentos independientes por lo que se recomienda que para mejorar el ajuste y la precisión se deben realizar réplicas en algunos puntos. La repetibilidad y reproducción de los datos en las muestras seleccionadas permiten evaluar el error aleatorio (Pinillos y Lopera, 2009).

Cuando se usan datos de corte transversal es frecuente obtener valores bajos, pero esto no significa que el modelo ajustado sea malo (Uriel, 2013).

La superficie de respuesta del diseño de mezclas simplex con centroide ampliado proporcionó una adecuada representación gráfica de superficie y de contornos. El diseño de contornos está definido por un triángulo (Figura 9) que representa todo el universo de posibilidades de combinaciones de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada, sobre las variables respuesta (overrun, viscosidad aparente, fusión, acidez titulable y aceptabilidad general).

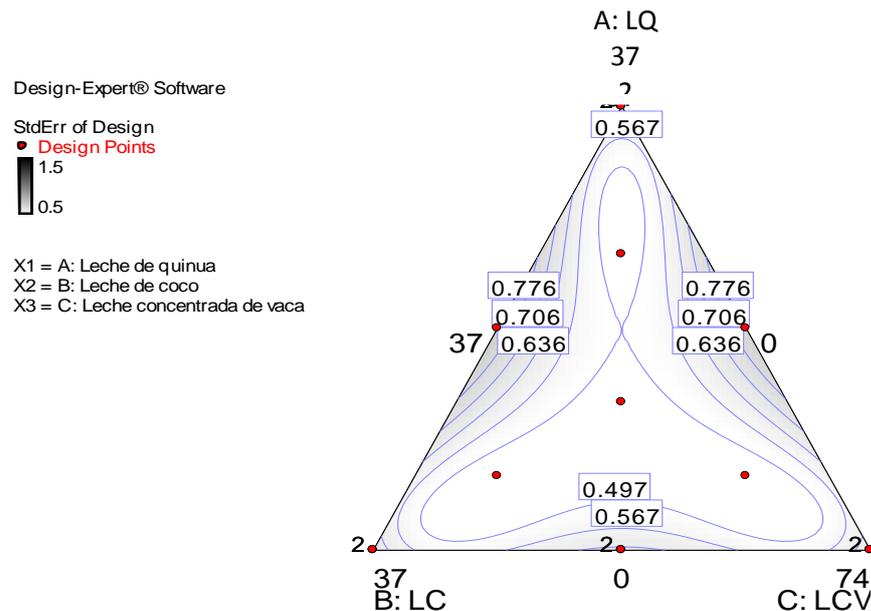


Figura 9. Diseño de mezclas simplex centroide ampliado para helado tipo crema

Para encontrar la combinación óptima de combinaciones de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada que brinde los mejores resultados en las variables respuesta, se realizó una superposición de gráficos y se halló la zona de operación, que optimizó el proceso de elaboración de helado tipo crema. La generación del diseño de mezclas y el desarrollo estadístico se realizó con el paquete estadístico Desing-Expert® versión 7.0.

Validación

Con los valores de la combinación óptima predicha se realizaron 3 corridas experimentales, evaluándose las variables respuesta (overrun, viscosidad aparente, fusión, acidez titulable y aceptabilidad general) si los resultados se encuentran dentro del intervalo de confianza al 95% de las respuestas predichas, el modelo matemático quedó validado para realizar estimaciones.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Efecto de mezcla de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre overrun en helado tipo crema

Los valores de overrun obtenidos para las 14 muestras, variaron desde 36.66 hasta 138.97% (Cuadro 7). En la Figura 10 se muestra los contornos generados por el Diseño de mezcla simplex con centroide ampliado, donde se aprecia el efecto del overrun en el helado tipo crema, evidenciando que los valores se encuentran dentro y fuera de lo esperado al ser comparado con lo mencionado en la Norma Técnica Peruana para Helados (NTP 202.057), que indica que esta característica no debe ser mayor de 120%.

Así mismo podemos mencionar que al evaluar el efecto simple de las variables independientes, se denota que la concentración de leche evaporada permite obtener valores altos de overrun, sin sobrepasar el límite indicado por la NTP.

En el caso del efecto binario se encontró que la concentración de leche evaporada y leche quinua, obtuvo la región de interés adecuada con valores cercanos a 80% de overrun. Mientras que al medir el efecto ternario se determinó que valores intermedios de concentración de leche evaporada, concentraciones bajas de leche de quinua y leche de coco permitieron obtener altos valores de overrun, sin sobrepasar el límite indicado por la NTP.

Se puede comparar nuestros resultados con los reportados por Barrionuevo y otros (2011) quienes mencionaron un valor de overrun de 71% en helado tipo crema con 40% de pulpa de arándano y 10% de inulina, indicando que esta variable estuvo

influenciada por la correcta reconstitución, hidratación y tiempo de batido de las claras deshidratadas y de las propiedades funcionales de las proteínas que permitieron incorporar aire durante el batido, obteniendo un mayor volumen en el producto final, comportamiento similar al observado en nuestro producto cuando se tuvo en formulación mayor contenido de leche evaporada y leche de quinua.

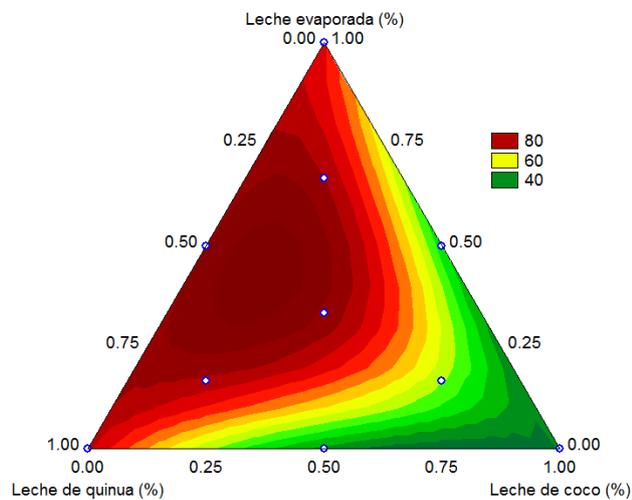


Figura 10. Contornos del efecto simple y combinaciones de las concentraciones de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre el overrun

Los resultados de overrun analizados con el diseño de mezcla, determinaron que el modelo especial cúbico fue el que mejor describió la relación entre la variable respuesta y las variables independientes (Cuadro 8). El coeficiente de determinación (R^2) de 0.664, indicó que el modelo seleccionado fue el que presentó mejor ajuste de los datos. Además, el análisis de varianza (ANVA) mostró la significancia estadística del modelo ($p < 0.05$).

Cuadro 7. Componentes originales y codificados (cod.) del diseño de mezcla y respuestas experimentales obtenidas para cada tratamiento

Tratamientos	Leche de quinua		Leche de Coco		Leche evaporada		Overrun (%)	Viscosidad aparente (mPa.s)	Fusión (%)	Acidez Titulable*	Aceptabilidad General
	%	cod.	%	cod.	%	cod.					
1	37	0.5	0	0	37	0.5	82.27	815.6	40.62	0.093	5.45
2	0	0	37	0.5	37	0.5	36.66	1450	52.04	0.079	6.96
3	0	0	0	0	74	1	63.64	946.9	41.53	0.096	6.92
4	18.5	0.25	18.5	0.25	37	0.5	49.29	1481	45.56	0.067	5.79
5	18.5	0.25	0	0	55.5	0.75	75.6	2481	77.28	0.082	5.07
6	0	0	18.5	0.25	55.5	0.75	36.89	3733.33	79.14	0.084	6.51
7	12.3	0.17	12.3	0.17	49.3	0.67	63.48	1587	72.26	0.078	6.19
8	24.7	0.33	6.17	0.08	43.2	0.58	59.04	2713	79.18	0.078	6.01
9	6.17	0.08	24.7	0.33	43.2	0.58	54.72	2684	86.36	0.072	6.94
10	6.17	0.08	6.17	0.08	61.7	0.83	138.97	859.4	25.21	0.102	6.46
11	0	0	0	0	74	1	64.95	931.3	39.52	0.095	-
12	0	0	18.5	0.25	55.5	0.75	37.87	3754.67	79.89	0.084	-
13	37	0.5	0	0	37	0.5	80.73	801.3	39.86	0.092	-
14	0	0	37	0.5	37	0.5	37.36	1406	51.31	0.078	-

*Acidez titulable expresado en % de ácido láctico.

- No se reportó valores por ser repeticiones.

Cuadro 8. Análisis de varianza para los diferentes modelos fijados para el overrun

Modelo	Suma de Cuadrados	Grados Libertad	Cuadrado Medio	p	R ²
Lineal	3128.9	2	1564.45	0.066	19.90
Cuadrático	2259.9	2	1129.94	0.119	29.60
Especial cúbico	3516.29	1	3516.29	0.018	66.40
Total	9556.97	13			

El Cuadro 9 muestra los coeficientes de regresión usados para establecer la ecuación seleccionada que determinó el efecto de las variables independientes en la respuesta (Ecuación 1), así como, la significancia del coeficiente para que pueda ser elegido como componente del modelo.

$$\text{Overrun} = 72.96 \cdot C - 1613 \cdot AB - 1591 \cdot AC + 3795 \cdot ABC \text{ (Ecuación 1)}$$

La Ecuación 1 indicó que el efecto simple de la concentración de leche evaporada y el efecto ternario de la combinación de las leches, contribuyeron en el modelo. Lo que es corroborado a través de los valores de los coeficientes positivos y observado en la Figura 10.

Cuadro 9. Coeficientes de regresión del modelo fijado para el overrun

Componente	Coefficiente	p
(A)Leche de quinua (%)	9.36	0.969
(B)Leche de coco (%)	74.17	0.711
(C)Leche evaporada (%)	72.96	0.005
AB	-1613	0.046
AC	-1591	0.046
BC	-149.47	0.691
ABC	3795	0.018

4.2. Efecto de mezcla de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre la viscosidad aparente en helado tipo crema

Los valores de viscosidad aparente obtenidos para las 14 muestras, variaron desde 801.3 a 3754.67 mPa.s (Cuadro 7). En la Figura 11 se muestra los contornos generados por el Diseño de mezcla simplex con centroide ampliado, donde se aprecia el efecto de la viscosidad aparente en helado tipo crema, evidenciando que los valores se encuentran por encima de los helados tipo crema comerciales marca D'Onofrio y Yamboli que fueron analizados y cuyos valores fueron 675 y 775 mPa.s, respectivamente. Los valores de los helados comerciales fueron obtenidos en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos.

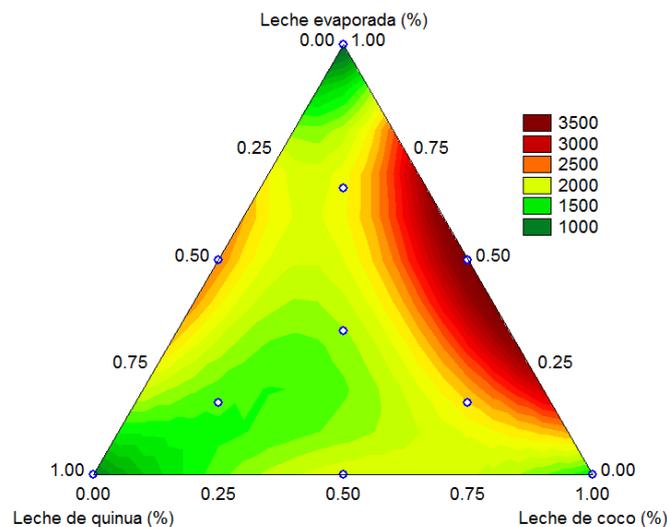


Figura 11. Contornos del efecto simple y combinaciones de las concentraciones de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre la viscosidad aparente

Podemos mencionar que al evaluar el efecto simple de las variables independientes (Figura 11), denota que la baja concentración de leche evaporada o baja concentración de leche quinua permite obtener valores bajos de viscosidad aparente, cercanos a los reportados por los helados comerciales.

En el caso del efecto binario se encontró que a mayor concentración de leche evaporada y menor concentración de leche quinua, se obtuvo la región de interés adecuada con valores por debajo de 1500 mPa.s. Mientras que al medir el efecto ternario se determinó que valores intermedios de concentración de leche quinua, concentraciones bajas de leche de evaporada y leche de coco permitieron obtener bajos valores de viscosidad aparente.

Gutiérrez y otros (2005) reportaron valores de viscosidad aparente de 141.33 mPa.s (con goma guar), 259.89 mPa.s (con goma de tara) y 3776.67 mPa.s (con carragenina) para las muestras de helado tipo crema conteniendo: 7% de grasa (grasa vegetal), 11% de sólidos lácteos no grasos (leche descremada), 0.5% de polisacáridos (goma guar, goma de tara y carragenina) y 0.5% de un estabilizante/emulsificante. Así mismo las combinaciones con la misma proporción de polisacáridos mostraron valores de viscosidad aparente de 659.11 mPa.s, cercano a los valores de los helados comerciales indicados en la parte superior. También se indicó que los polisacáridos actúan como estabilizantes, otorgando una mayor viscosidad.

Rincón y otros (2008) mencionan que los polisacáridos favorecen una excelente incorporación y distribución uniforme del aire, mejora la textura y estabilidad durante el almacenamiento. La interacción proteína – polisacárido ocurre a través de sus grupos funcionales, formando una red tridimensional, que contribuye a formar la estabilidad y la uniformidad de la matriz del sistema.

Los resultados de viscosidad aparente analizados con el diseño de mezcla, determinaron que el modelo cuadrático fue el que mejor describió la relación entre la variable respuesta y las variables

independientes (Cuadro 10). El coeficiente de determinación (R^2) de 0.607 indicó que el modelo seleccionado fue el que presento mejor ajuste de los datos. El análisis de varianza (ANVA) mostró la significancia estadística del modelo ($p < 0.05$).

Cuadro 10. Análisis de varianza para los diferentes modelos fijados para la viscosidad aparente

Modelo	Suma de Cuadrados	Grados Libertad	Cuadrado Medio	p	R²
Lineal	2502859	2	1251430	0.123	44.80
Cuadrático	4300398	2	2150199	0.044	60.70
Especial cúbico	2016495	1	2016495	0.068	74.70
Total	14381632	13			

El Cuadro 11 muestra los coeficientes de regresión usados para establecer la ecuación seleccionada que determina el efecto de las variables independientes en la respuesta (Ecuación 2), así como también la significancia del coeficiente para que pueda ser elegido como componente del modelo.

$$\text{Viscosidad aparente} = -17647 \cdot B + 57953 \cdot AB + 39843 \cdot BC \quad (\text{Ecuación 2})$$

La ecuación 2 indicó que el efecto individual de la concentración de la leche de coco influye de manera negativa disminuyendo la viscosidad, mientras que la combinación binaria con signo positivo contribuye en el modelo.

Cuadro 11. Coeficientes de regresión del modelo fijado para la viscosidad

Componente	Coeficiente	p
(A)Leche de quinua (%)	-11141	0.125
(B)Leche de coco (%)	-17647	0.011
(C)Leche evaporada (%)	727	0.178
AB	57953	0.035
AC	49894	0.059
BC	39843	0.004
ABC	-90882	0.068

4.3. Efecto de mezcla de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre fusión en helado tipo crema

Los valores de fusión obtenidos para las 14 muestras, variaron desde 25.212 a 86.356% (Cuadro 7). En la Figura 12 se muestra los contornos generados por el Diseño de mezcla simplex con centroide ampliado, donde se aprecia el efecto de esta variable, evidenciando que los valores se encuentran por debajo y por encima de los rangos mencionados por Villacís (2010) quién indicó que resultados por debajo de 12% de fusión indica textura muy suave y gomosa y son calificados como regulares, valores de 12 a 30% de fusión indica textura suave y cremosa y son calificados como regulares, valores entre 31 a 70% de fusión indica una textura adecuada y cremosa y son calificados como muy buenos, valores entre 71 a 100% de fusión indica textura consistente poco cremosa y se califica como buena, valores por encima de 100% indica textura dura y hielosa y se califican como regulares, aplicado en helados tipo crema.

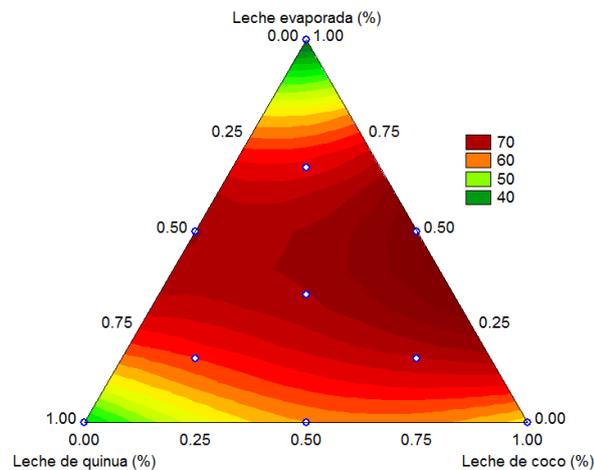


Figura 12. Contornos del efecto simple y combinaciones de las concentraciones de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre la fusión en helado tipo crema

Podemos mencionar que al evaluar el efecto simple de las variables independientes (Figura 12), denota que la concentración de leche de coco permite obtener valores de fusión entre 31 a 70 %, de acuerdo a lo reportado por Villacís (2010).

En el caso del efecto binario se encontró que a mayor concentración de leche de coco y menor concentración de leche evaporada, se obtuvo la región de interés adecuada. Mientras que al medir el efecto ternario se determinó que valores intermedios de concentración de leche evaporada, concentraciones bajas de leche de quinua y altas de leche de coco permitieron obtener valores de fusión dentro del rango señalado anteriormente.

Resultados similares fueron reportados por Villacís (2010) quién determinó valores entre 92 y 78% de fusión en helado tipo crema con adición de 10 y 6% de sólidos lácteos no grasos. Campos y otros (2016) reportaron que la velocidad de fusión en el helado tipo crema se ve afectado por muchos factores incluyendo la cantidad

de aire incorporado, la naturaleza de los cristales de hielo y la red de glóbulos grasos formada durante la congelación. También indican que la causa potencial de una lenta fusión con alto overrun, puede ser por la diferencia en la velocidad de transferencia de calor, debido a la mayor presencia de aire que es un buen aislante y sin duda disminuye la velocidad de transferencia de calor en los helados tipo crema con altos valores de overrun.

Los resultados de fusión analizados con el diseño de mezcla, determinaron que el modelo especial cúbico fue el que mejor describió la relación entre la variable respuesta y las variables independientes (Cuadro 12). El coeficiente de determinación (R^2) de 0.632, indicó que el modelo seleccionado fue el que presento mejor ajuste de los datos. El análisis de varianza (ANVA) mostró la significancia estadística del modelo ($p < 0.05$).

Cuadro 12. Análisis de varianza para los diferentes modelos fijados para el porcentaje de fusión en helado tipo crema

Modelo	Suma de Cuadrados	Grados Libertad	Cuadrado Medio	p	R²
Lineal	2466.9	2	1233.4	0.038	15.40
Cuadrático	2514.1	2	1257.0	0.036	26.20
Especial cúbico	1968.1	1	1968.1	0.022	63.20
Total	5307.8	13			

El Cuadro 13 muestra los coeficientes de regresión usados para establecer la ecuación seleccionada que determina el efecto de las variables independientes en la respuesta (Ecuación 3), así como, la

significancia del coeficiente para que pueda ser elegido como componente del modelo.

$$\% \text{ fusión} = 34 * C + 1696 * AB + 1620 * AC - 2839 * ABC \text{ (ecuación 3)}$$

La Ecuación 3 indicó que el efecto individual de la concentración de la leche evaporada influyó de manera positiva contribuyendo en el modelo.

Cuadro 13. Coeficientes de regresión del modelo fijado para el porcentaje de fusión en helado tipo crema

Componentes	Coeficiente	p
(A)Leche de quinua (%)	-200.08	0.292
(B)Leche de coco (%)	-178.21	0.247
(C)Leche evaporada (%)	34.00	0.038
AB	1696	0.013
AC	1620	0.015
BC	507.88	0.097
ABC	-2839	0.022

4.4. Efecto de mezcla de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre acidez titulable en helado tipo crema

Los valores de acidez titulable obtenidos para las 14 muestras, variaron desde 0.067 – 0.102% de acidez expresado como ácido láctico (Cuadro 7). En la Figura 13 se muestra los contornos generados por el Diseño de mezcla simplex con centroide ampliado, donde se aprecia el efecto de esta variable, evidenciando que los valores se encuentran dentro y por encima de los helados tipo crema comerciales marca D’Onofrio y Yamboli que fueron analizados y sus valores fueron de 0.065 y 0.075% de

acidez expresado como ácido láctico, respectivamente. Los valores de los helados comerciales fueron obtenidos en el Laboratorio de Tecnología de Alimentos.

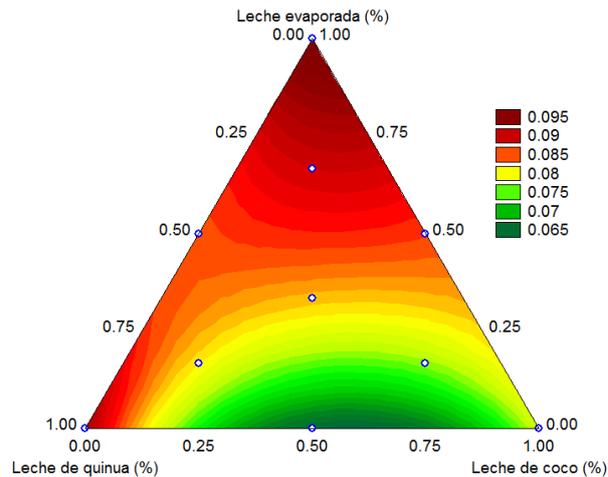


Figura 13. Contornos del efecto simple y combinaciones de las concentraciones de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre la acidez titulable en helado tipo crema

Podemos mencionar que al evaluar el efecto simple de las variables independientes (Figura 13), denota que la concentración de leche de quinua permite obtener valores de acidez titulable cercanos a los encontrados en los helados tipo crema comerciales.

En el caso del efecto binario se encontró que a concentraciones intermedias de leche de coco y leche de quinua, se obtuvo la región de interés adecuada. Mientras que al medir el efecto ternario se determinó que valores intermedios de concentración de leche de quinua y leche de coco, y concentraciones bajas de leche de evaporada permitieron obtener valores de acidez dentro del rango señalado anteriormente.

Rodríguez (2015) reportó valores de 0.35, 0.45 y 0.70% de acidez expresado en ácido láctico en helado tipo crema con adición de 10, 20 y 30% de pulpa de aguaymanto, respectivamente. Rodríguez y otros (2010) reportaron valores de 0.28, 0.27 y 0.25% de acidez expresado en ácido láctico en helado tipo crema con sustitución de 59.28, 55.27 y 44% de leche de soya, respectivamente. Bejarano y Silva (2010) encontraron valores de 0.12 – 0.13% de acidez expresado en ácido láctico en helado tipo crema con 74% de leche.

Se ha encontrado que la acidez de la leche de coco fue de 0.11% (Cruz- Gonzales y otros, 2014) y la acidez de la leche de quinua fue de 0.06 % (Pereira, 2010), pudiendo asumir que la leche de coco es la variable que ejercería mayor efecto en la variación de la acidez del helado tipo crema. Rivera (2014) mencionó que la acidez cambia debido a la presencia de fosfatos ácidos y pequeñas cantidades de ácidos orgánicos (principalmente el ácido láctico) presente en la leche. Rodríguez (2015) indicó que el aumento de pulpa de aguaymanto en los helados tipo crema podrían influir en el aumento de la acidez como resultado de la presencia de diversos ácidos orgánicos en su composición.

Los resultados de acidez analizados con el diseño de mezcla, determinaron que el modelo especial cúbico fue el que mejor describió la relación entre la variable respuesta y las variables independientes (Cuadro 14). El coeficiente de determinación (R^2) de 0.686 indicó que el modelo seleccionado fue el que presento mejor ajuste de los datos. El análisis de varianza (ANVA) mostró la significancia estadística del modelo ($p < 0.05$).

Cuadro 14. Análisis de varianza para los diferentes modelos fijados para la acidez titulable en helado tipo crema

Modelo	Suma de Cuadrados	Grados Libertad	Cuadrado Medio	p	R²
Lineal	0.000683	2	0.000341	0.013	20.30
Cuadrático	0.000495	2	0.000248	0.030	38.60
Especial cúbico	0.000336	1	0.000336	0.020	68.60
Total	0.001121	13			

El Cuadro 15 muestra los coeficientes de regresión usados para establecer la ecuación seleccionada que determina el efecto de las variables independientes en la respuesta (Ecuación 4), así como, la significancia del coeficiente para que pueda ser elegido como componente del modelo.

$$\% \text{ Acidez titulable} = 0.165*A + 0.097*C - 0.685*AB - 0.719*AC + 1.173*ABC \text{ (ecuación 4)}$$

La Ecuación 4 indicó que el efecto individual de la concentración de la leche de quinua y leche evaporada influye de manera positiva contribuyendo en el modelo.

Cuadro 15. Coeficientes de regresión del modelo fijado para la acidez titulable en helado tipo crema

Componentes	Coefficiente	p
(A)Leche de quinua (%)	0.165	0.016
(B)Leche de coco (%)	0.076	0.115
(C)Leche evaporada (%)	0.097	0.000
AB	-0.685	0.016
AC	-0.719	0.012
BC	-0.035	0.665
ABC	1.173	0.025

4.5. Efecto de mezcla de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre aceptabilidad general en helado tipo crema

Los valores de aceptabilidad general obtenidos para las 14 muestras, variaron desde 5.071 – 6.964 que corresponde a una percepción de me gusta ligeramente a me gusta moderadamente (Cuadro 7). En la Figura 14 se muestra los contornos generados por el Diseño de mezcla simplex con centroide, donde se aprecia el efecto de la aceptabilidad general en helado tipo crema.

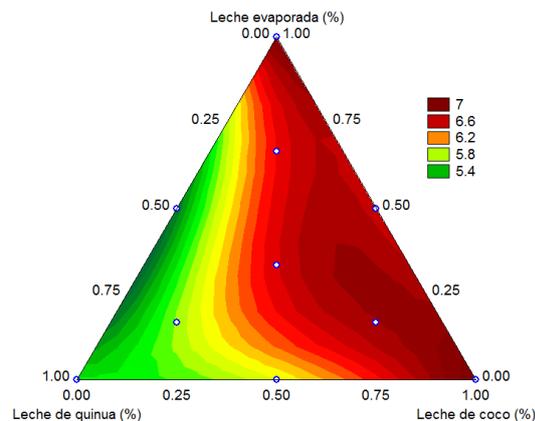


Figura 14. Contornos del efecto simple y combinaciones de las concentraciones de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada sobre la aceptabilidad general en helado tipo crema

Podemos mencionar que al evaluar el efecto simple de las variables independientes (Figura 14), denota que la concentración de leche evaporada y leche de coco permitió obtener valores altos de aceptabilidad general.

En el caso del efecto binario se encontró que a concentraciones intermedias de leche de coco y de leche evaporada, se obtuvo la región de interés adecuada. Mientras que al medir el efecto ternario se determinó que valores intermedios de concentración de leche coco, concentraciones altas de leche de evaporada y bajas concentraciones de leche de quinua permitieron obtener valores más altos de aceptabilidad general.

Campos y otros (2016) encontraron valores de aceptabilidad general de 6.87, 7.01 y 7.89 en helado tipo crema con sustitución de emulsificante por gel de chíá en 1 y 2% y en la muestra control, respectivamente, indicando que estas puntuaciones pueden ser justificadas por la presencia de residuos de semilla de chíá en el producto.

Echevarría y otros (2015) reportaron valores de aceptabilidad general de 3.5 a 6.8 en helado tipo crema con adición de almidón en 38.40 y 22.50%, respectivamente, indicando que la prueba hedónica con escala no estructurada tiene la ventaja de que no existe la necesidad de describir las características sensoriales del producto independientemente es decir el sabor, textura, color, olor, etc., sino solamente establecer la aceptación general de la evaluación. Sin embargo, se tiene la desventaja de que la asignación de la calificación dada por el panel consumidor quede completamente a criterio suyo, lo cual confiere un cierto grado de subjetividad a las calificaciones.

Los resultados de porcentaje de aceptabilidad general analizados con el diseño de mezcla, determinaron que el modelo lineal fue el que mejor describió la relación entre la variable respuesta y las variables independientes (Cuadro 16). El coeficiente de determinación (R^2) de 0.688 indicó que el modelo seleccionado fue el que presentó mejor ajuste de los datos. El análisis de varianza (ANVA) mostró la significancia estadística del modelo ($p < 0.05$).

Cuadro 16. Análisis de varianza para los diferentes modelos fijados para la aceptabilidad general en helado tipo crema

Modelo	Suma de Cuadrados	Grados Libertad	Cuadrado Medio	p	R^2
Lineal	2.645	2	1.322	0.017	68.80
Cuadrático	0.444	3	0.148	0.561	80.30
Especial cúbico	0.498	1	0.498	0.094	93.30
Total	3.843	9	0.427		

El Cuadro 17 muestra los coeficientes de regresión usados para establecer la ecuación seleccionada que determinó el efecto de las variables independientes en la respuesta (ecuación 4), así como, también la significancia del coeficiente para que pueda ser elegido como componente del modelo.

Aceptabilidad general = $12.830 \cdot A + 10.408 \cdot B + 6.904 \cdot C$ (Ecuación 5)

La Ecuación 5 indicó que el efecto individual de la concentración de la leche de quinua, leche de coco y leche evaporada influyó de manera positiva contribuyendo en el modelo.

Cuadro 16. Coeficientes de regresión del modelo fijado para la aceptabilidad general en helado tipo crema

Componentes	Coeficiente	p
(A)Leche de quinua (%)	12.830	0.024
(B)Leche de coco (%)	10.408	0.041
(C)Leche evaporada (%)	6.904	0.000
AB	-96.414	0.095
AC	-17.406	0.055
BC	-6.574	0.331
ABC	181.092	0.094

4.6. Optimización simultánea de respuestas

Después de obtenidos los modelos matemáticos para cada una de las respuestas estudiadas (ecuaciones 1, 2, 3, 4 y 5), se realizó la optimización simultánea de estas. Para realizar la optimización de las respuestas, se procedió a utilizar las características del helado tipo crema y sus restricciones de overrun, viscosidad, acidez y aceptabilidad general, estas características son presentadas a continuación; de esta manera, la formulación seleccionada como óptima debía contar con las siguientes características:

- Overrun: mayor es mejor; entre 40 – 120 % (NTP, indica que no debe ser superior a 120%)
- Viscosidad aparente: menor es mejor; entre 665 – 2000 mPa.s (se tomó como referencia helados tipo crema comerciales marca D’Onofrio y Yamboli)
- Acidez titulable: menor es mejor; entre 0.065 – 0.075 % expresado en ácido láctico (se tomó como referencia helados tipo crema comerciales marca D’Onofrio y Yamboli)

- Aceptabilidad general: mayor es mejor; entre 6 – 7 (corresponde al promedio de valores obtenidos, desde una percepción de me gusta ligeramente a me gusta moderadamente)

La optimización de la mezcla fue realizada sobre la zona de formulación factible, la cual se determinó mediante el método de superposición de superficies de respuestas, a fin de obtener el área determinada por los valores aproximados a los deseados de las variables respuesta.

En la Figura 17 se visualiza en el triángulo simplex el punto óptimo de formulación, el cual se obtuvo a partir de las restricciones impuestas.

En el Cuadro 18 se indican las formulaciones óptimas que cumplen con las restricciones antes mencionadas.

Se realizó la validación experimental preparando el helado tipo crema con las concentraciones teóricas proyectadas por el modelo, pudiendo apreciar los resultados obtenidos para cada formulación. Se observa que las variables independientes consideradas importantes (overrun, viscosidad aparente acidez titulable y aceptabilidad general) se encuentran dentro de la región optimizada. Finalmente fue seleccionada la formulación 2 como la más adecuada por presentar adecuado valor de overrun, fusión, acidez titulable y aceptabilidad general, aunque el valor de viscosidad aparente fue alto. En el caso de la Formulación 1 y 3 no fueron seleccionadas por presentar un elevado valor de fusión y acidez en el helado, y valores menores de aceptabilidad general.

Cuadro 17. Componentes de las mezclas obtenidas por optimización simultánea de respuestas

Formulación	Componentes							Respuestas			
	Leche quinua		Leche coco		Leche evaporada		Overrun (%)	Viscosidad aparente (mPa.s)	Fusión (%)	Acidez titulable (%)	Aceptabilidad general
	Cod.	%	Cod.	%	Cod.	%					
1	0.20	14.80	0.25	18.50	0.55	40.70	63.54	1728	94.68	0.08	7.10
2	0.10	7.40	0.36	26.64	0.54	39.96	54.32	1784	86.56	0.07	7.36
3	0.18	13.32	0.29	21.46	0.53	39.22	65.63	1566	99.16	0.08	7.16

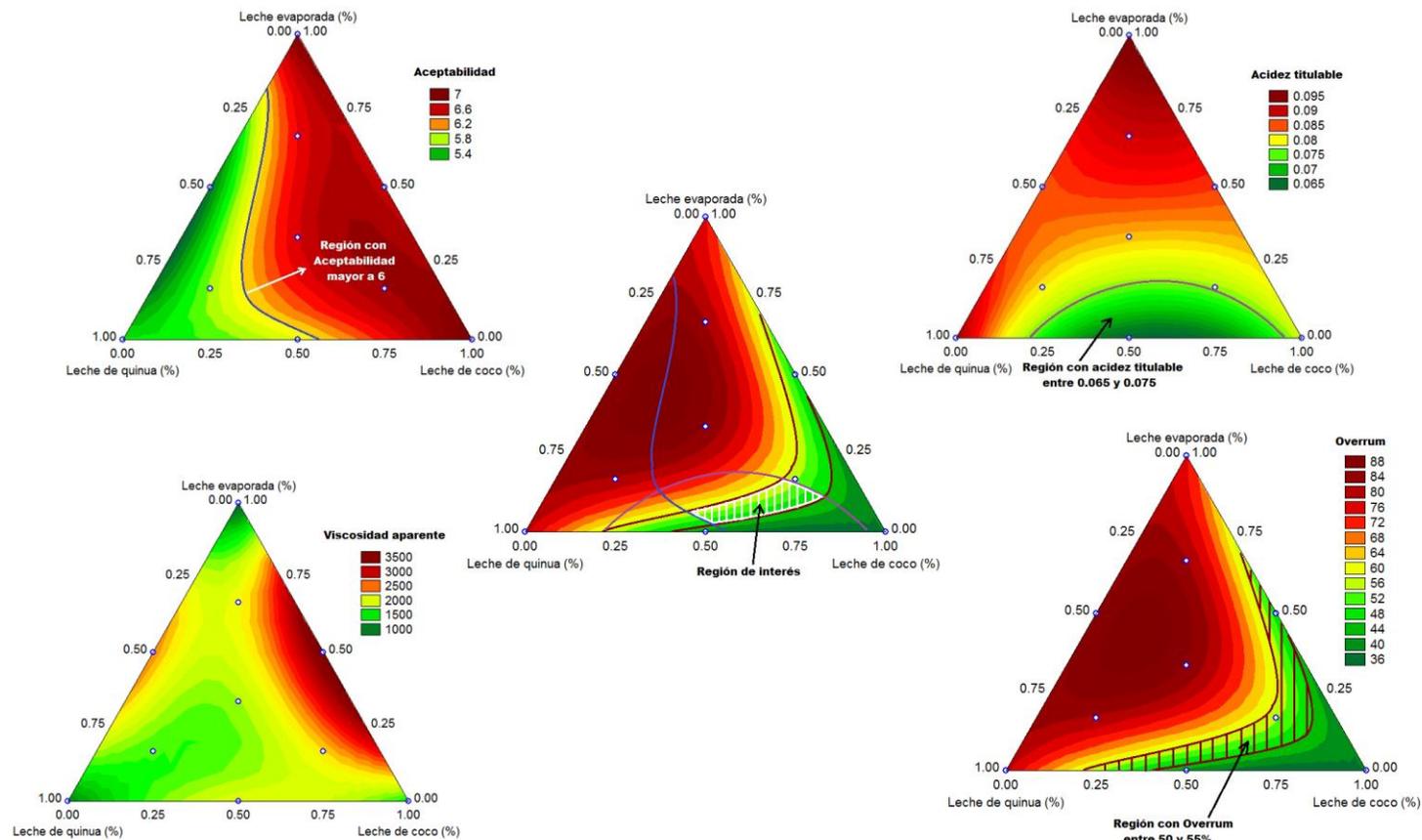


Figura 15. Contornos de la zona de formulación de la mezcla óptima para las variables overrum, viscosidad aparente, acidez titulable y aceptabilidad general

V. CONCLUSIONES

Se encontró efecto significativo en helado tipo crema sobre el overrun con la leche de coco; sobre la viscosidad aparente con la leche de coco; sobre la acidez titulable con leche de quinua y leche evaporada; sobre la fusión con leche evaporada y sobre aceptabilidad general con leche de quinua, leche de coco y leche evaporada.

La mejor formulación tuvo 7.4% de leche de quinua, 26.64% de leche de coco y 39.96% de leche evaporada, con respuestas de 54.32% de overrun, 1784 mPa.s de viscosidad aparente, 86.56% de fusión, 0.07% expresado en ácido láctico de acidez titulable y 7.36 puntos de aceptabilidad general.

VI. RECOMENDACIONES

Realizar una caracterización reológica del helado tipo crema ya que la viscosidad es una de las principales características de calidad del producto.

Realizar un estudio sobre la textura del helado tipo crema, tomando como referencia helados artesanales.

Se recomienda utilizar algún colorante permitido para mejorar el color del helado tipo crema.

Comparar helado tipo crema de leche de quinua, leche de coco y leche evaporada con helados artesanales comerciales.

Medir el contenido de sólidos de leche de quinua y leche de coco.

VII. BIBLIOGRAFIA

Abu, S. (2014). El coco: fruta rica en fibra, calcio y ácido fólico. Portal Radio Programas del Peru. Visitado: 22 de Agosto del 2015. Disponible en: http://www.rpp.com.pe/2014-01-20-el-coco-fruta-rica-en-fibra-calcio-y-acido-folico-noticia_663329.html

Albán, C. (2014). Para el 2017 habrá 1133 heladerías en el mercado peruano. Diario Gestión. Lima, Perú. Visitado: 22 de Agosto del 2015. Disponible en: <http://gestion.pe/tendencias/2017-habra-1133-heladerias-mercado-peruano-2088020>

Álvarez, Y. (2012). Elaboración y caracterización de dos bebidas proteicas a base de quinua malteada y quinua sin maltear. Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann. Tacna, Perú.

Andino, J. y Bustos, J. (2012). Estudio de prefactibilidad de la producción de leche de coco. Tesis para optar el título de Ingeniero de Alimentos. Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador.

Anzaldúa – Morales, A. (2005). Evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y en la práctica. Editorial Acribia. 2da Edición. Zaragoza, España.

Barrionuevo, M., Carrasco, J., Cravero, B. y Ramón, A. (2011). Formulación de un helado dietético sabor a arándano con características prebióticas. Revista: DIAETA; 29(134): 23-28. Buenos Aires. Argentina.

Castañeda, E. (2015). Efecto de tres sustituciones de harina de trigo por harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) sobre el contenido de proteína, color, firmeza y aceptabilidad general de nuggets de pollo. Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.

Chan, E. y Elevitch, C. (2006). Cocos nucifera (coconut). Revista: Species Profiles for Pacific Island Agroforestry. Holualoa, Hawái. Visitado: 22 de

agosto del 2015. Disponible en:
<http://www.agroforestry.net/images/pdfs/Cocos-coconut.pdf>

Chango, F. (2010). Sustitución de crema de leche por pulpa de aguacate enriquecido con spirulina en la elaboración de helado base soft para bonipan. Tesis para optar el título de Ingeniero de Alimentos. Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador.

Del Castillo R. y Mestres J. (2004). Productos Lácteos Tecnología. Editorial Edicions UPC. Barcelona, España.

Diario Gestión. (2015). MINAGRI: La quinua representa el 86% de la producción de los granos andinos en el Perú. Lima, Perú. Visitado: 22 de julio del 2015. Disponible en: <http://gestion.pe/economia/minagri-quinua-representa-86-produccion-granos-andinos-peru-2135792>

Di Bartolo, E. (2005). Guía para la elaboración de helados. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Subsecretaría de Política Agropecuaria y Alimentos. Dirección Nacional de Alimentos. Argentina.

FAO. (2011). La quinua: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Visitado: 22 de julio del 2015. Disponible en: http://www.fao.org/fileadmin/templates/aiq2013/res/es/cultivo_quinua_es.pdf

FAO. (2013a). Descriptores para quinua y sus parientes silvestres. ISBN: 978-92-9043-927-1. Visitado: 25 de julio del 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/018/aq658s/aq658s.pdf>

FAO. (2013b). Quinua, 2013 año internacional, un futuro sembrado hace miles de años. Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Latin America and the Caribbean. Santiago de Chile. Visitado: 23 de Agosto del 2015. Disponible en: <http://www.fao.org/quinoa-2013/what-is-quinoa/nutritional-value/es/>

García, A. (2015). Efecto de la proporción de pulpa de zanahoria (*Daucus carota* L.) en las características fisicoquímicas y aceptabilidad general de

un helado tipo crema. Tesis para optar el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Cesar Vallejo. Trujillo, Perú.

Gonzales, L. y Corbera, J. (2012). El jugo del coco envasado y su potencial de exportación a los Estados Unidos de América. Revista: Agrícola, Embajada del Perú en los Estados Unidos de América. 1(10): 5-6: Lima, Perú. Visitado: 20 de Agosto del 2015. Disponible en: <http://www.rree.gob.pe/noticias/Documents/boletinagricolanov2012.pdf>

Gutiérrez, P., Ludeña, F. y Castillo, L. (2005). Evaluación de una mezcla de estabilizantes conteniendo goma tara en la elaboración de helados. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

Ibarz A. y Barboza G. (2005). Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. Ediciones Mundi Prensa. España.

INDECOPI. (2006). Norma Técnica Peruana 202.057. Leche y productos lácteos: Helados, requisitos. 2da edición. Lima, Perú.

Juran, J., Gryna, F. y Bingham, R. (2005). Manual de control de calidad. Editorial Reverté S.A. España.

Lesso, J. (2012). Aplicación de diseño de experimentos para la mejora del proceso de moldeo por inyección de plástico de la pieza "fin instrument" en industrias CAMCA S.A. de C.V. Tesis para obtener el título de Maestro en ingeniería de calidad. Universidad Autónoma de Queretaro. Queretaro, México.

Lizano, M. (2006). Guía técnica del cultivo de coco. Programa nacional de Frutas de El Salvador. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Santa Tecla, El Salvador. Visitado: (2015). Disponible en: <http://www.bio-nica.info/biblioteca/LizanoGuiaTecnicaCoco.pdf>

Madrid A. y Cenzano I. (2003). Helados: elaboración, análisis y control de calidad. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España.

Martínez, R. (2002). Evaluación de una mezcla de estabilizantes y emulsificantes en la elaboración de un helado cremoso con grasa vegetal sobre las características de la mezcla base y del producto final. Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales, Colombia.

Montañez, C., y Pérez, I. (2007). Elaboración y evaluación de una salchicha tipo Frankfurt con sustitución de harina de quinua desaponificada (*Chenopodium Quinoa*, Wild). Tesis para optar el título de Ingeniero de alimentos. Universidad de La Salle. Bogotá, Colombia.

Montgomery, D. (2011). Diseño y análisis de experimentos (2^{da} ed.). Limusa. D.F., México.

Mosquera, D. (2011). El helado. Revista: Ingeniería Agroindustrial. Visitado: 22 de agosto del 2015. Disponible en <http://elingenieroagroindustrial.blogspot.pe/2011/01/universidad-del-cauca-facultad-de.html>

Paredes, G. (2012). Formulación, elaboración y evaluación nutritiva y nutracéutica de helado enriquecido con fitoesteroles y omega ácidos. Tesis para obtener el título de Bioquímico Farmacéutico. Escuela superior politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

Pereira, S. (2011). Elaboración de leche de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

Puente, E., Romero, R., Rodríguez, M. y Trejo, H. (2015) Aplicación del diseño por mezclas en la industria alimentaria. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. México.

Pinillos, J. y Lopera, C. (2009). Elaboración de una formulación farmacéutica a través de un diseño experimental de mezclas. Revista: Scielo. Visitado: 15 de marzo del 2016. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-40042009000300008

Ramírez-Navas, J., Rengifo, C. y Rubiano, A. (2015). Parámetros de calidad en helados. Universidad del Valle. Colombia.

Real Decreto 618/1998 (1998). Reglamentación técnico-sanitaria para la elaboración, circulación y comercio de helados y mezclas envasadas para congelar. Madrid, España.

Revelo, A. (2010). Desarrollo y evaluación de las tecnologías de un snack laminado a partir de quinua. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniera Agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

Rincón F., León G., Beltrán O., Clamens C., y Guerrero R. (2008). Funcionalidad de una mezcla de gomas de *Acacia glomerosa*, *Enterolobium cyclocarpum* e *Hymenaea courbaril* en la preparación de helados de bajo contenido calórico. Centro de Investigaciones en Química de los Productos Naturales. Maracaibo, Venezuela.

Rodríguez, W. (2015). Efecto de dos sustituciones de cebada por quinua y de dos valores de pH inicial de maceración en las características fisicoquímicas y aceptabilidad general de una cerveza tipo Ale. Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.

Sierra Exportadora. (2015). Orígenes e historia de la quinua. Lima, Perú. Visitado: 22 de Agosto del 2015. Disponible en: <http://www.sierraexportadora.gob.pe/quinua/historia-y-caracteristicas/>

Solórzano, F. (2013). Ayara, Madre Quinua. Editorial Santillana. Lima, Perú.

Sotelo, E. (2014). Efecto de la temperatura de incubación y porcentaje de sacarosa en las características fisicoquímicas y aceptabilidad general de una bebida fermentada a base de *Chenopodium quinoa* Wild (quinua) malteada. Tesis para optar el título de Ingeniero Agroindustrial. Universidad Cesar Vallejo. Trujillo, Perú.

Tuba, E., Elif, D. y Mustafa, S. (2011). Influencia de la adición de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.) en las características químicas y sensoriales y concentración mineral del helado. Erzurum, Turquía.

Ureña, M., D'arrigo, M. y Girón, O. (1999). Evaluación sensorial de los alimentos. Editorial Agraria. 1ra Edición. Lima, Perú.

Velasco, M. (2007). Elaboración de una bebida nutritiva a partir del malteado de quinua. Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrialización de Alimentos. Universidad Tecnológica Equinoccial. Quito, Ecuador.

Villacís, E. (2010). Formulación de helados aptos para diabéticos. Tesis para optar por el título de Ingeniera Agroindustrial. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

Zegarra, M. (2014). Efecto de la concentración de CMC, goma guar y goma xantana sobre las características reológicas y consistencia sensorial de una salsa de aguaymanto (*Physalis peruviana* L.). Tesis para optar el título de Ingeniera en Industrias Alimentarias. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.

Zhondon, E. (2010). Diseño del proceso para la elaboración de helados de fruta tipo sorbete. Tesis para optar el título de Ingeniero de Alimentos. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1. Diseño de bloques incompleto balanceado utilizado en prueba de aceptabilidad general.

Bloque	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
1	A	B	C		E	F			I	J
2	A	B	C		E	F	G		I	
3		B	C			F	G	H	I	J
4	A		C	D	E		G	H		J
5	A	B	C		E	F		H		J
6	A			D		F	G	H	I	J
7	A		C	D	E		G	H	I	
8		B	C	D	E		G	H	I	
9	A	B	C	D			G		I	J
10	A			D	E	F	G		I	J
11		B	C		E	F	G	H	I	
12	A	B	C	D	E			H	I	
13		B		D	E		G	H	I	J
14	A	B		D	E	F		H		J
15	A	B	C				G	H	I	J
16	A		C	D	E	F			I	J
17		B	C		E	F		H	I	J
18	A		C	D			G	H	I	J
19	A		C	D		F	G	H	I	
20	A		C	D	E	F	G	H		
21	A	B	C	D			G	H		J
22		B		D	E	F	G		I	J
23	A		C	D		F		H	I	J
24				D	E	F	G	H	I	J
25	A	B		D	E	F	G		I	
26	A	B	C	D	E		G			J
27			C	D	E	F	G	H	I	
28	A	B	C		E	F		H	I	
29	A		C	D	E			H	I	J
30	A	B	C	D	E		G	H		
31		B			E	F	G	H	I	J
32			C		E	F	G	H	I	J
33		B	C	D	E	F		H	I	
34	A	B		D	E		G		I	J
35		B		D	F		G	H	I	J

Bloque	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
36	A	B	C		E		G	H	I	
37	A	B	C	D	E	F				J
38	A		C	D	E	F		H	I	
39		B	C	D	E	F	G	H		
40		B	C	D	E	F			I	J
41	A	B		D	E	F	G	H		
42	A		C		E	F	G	H	I	
43		B	C	D	E	F		H		J
44	A	B	C	D	E				I	J
45		B	C	D		F	G	H		J
46			C	D	E		G	H	I	J
47	A	B	C	D		F			I	J
48	A		C	D	E	F		H		J
49		B		D	E	F	G	H		J
50	A		C		E	F	G		I	J
51	A	B		D	E	F			I	J
52	A	B		D	F		G	H		J
53	A			D	E		G	H	I	J
54	A	B	C		E			H	I	J
55		B	C	D		F	G	H	I	
56		B	C	D			G	H	I	J
57		B	C	D	E		G		I	J
58	A	B			E	F		H	I	J
59	A		C	D		F	G	H		J
60	A		C			F	G	H	I	J
61	A	B	C	D	E		G		I	
62	A	B	C		E		G	H		J
63	A	B	C	D	E	F		H		
64			C	D	E	F	G		I	J
65		B		D	E	F	G	H	I	
66	A	B			E	F	G	H	I	
67		B		D	E	F		H	I	J
68	A		C		E		G	H	I	J
69	A			D	E	F	G	H	I	
70	A	B	C			F	G		I	J

Bloque	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
71	A		C		E	F	G	H		J
72	A		C	D		F	G		I	J
73	A	B			E	F	G	H		J
74	A	B		D	E			H	I	J
75	A	B	C	D	E	F	G			
76	A			D	E	F		H	I	J
77	A	B	C	D				H	I	J
78	A	B	D	D		F	G		I	J
79	A	B		D	E	F		H	I	
80		B	C	D	E		G	H		J
81	A	B			E		G	H	I	J
82	A	B	C	D		F		H	I	
83	A	B	C	D		F	G		I	
84		B	C	D		F		H	I	J
85	A	B	C	D		F		H		J
86	A	B		D	E	F	G			J
87	A	B	C		E	F	G	H		
88	A	B		D		F	G	H	I	
89	A	B	C	D	E			H		J
90	A	B	C			F		H	I	J
91	A	B	C		E	F	G			J
92	A	B	C	D		F	G	H		
93	A	B				F	G	H	I	J
94	A	B	C		E		G		I	J
95	A	B	C			F	G	H	I	
96		B	C		E	F	G	H		J
97	A		C	D	E		G		I	J
98			C	D	E	F		H	I	J
99	A	B		D		F		H	I	J
100	A	B			E	F	G		I	J
101	A		C		E	F		H	I	J
102	A	B	C			F	G	H		J
103	A	B	C	D		F	G			J
104		B	C		E		G	H	I	J
105	A	B		D	E		G	H	I	

Bloque	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
106		B	C	D	E	F	G			J
107	A				E	F	G	H	I	J
108	A		C	D	E	F	G			J
109			C	D		F	G	H	I	J
110		B	C		E	F	G		I	J
111	A	B		D	E		G	H		J
112	A	B	C	D			G	H	I	
113	A	B	C	D	E	F			I	
114	A			D	E	F	G	H		J
115		B	C	D	E	F	G		I	
116	A		C	D	E	F	G		I	
117		B	C	D	E			H	I	J
118		B	C	D		F	G		I	J
119	A	B		D			G	H	I	J
120			C	D	E	F	G	H		J

ANEXO 2. Aceptabilidad general de helado tipo crema con leche de quinua, leche de coco y leche evaporada.

Bloque	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
1	9	8	9		8	8			7	6
2	3	9	7		4	7	9		8	
3		4	4			4	4	3	5	5
4	2		7	7	2		6	3		6
5	3	8	6		7	4		5		7
6	4			8		7	6	6	8	2
7	8		7	8	8		8	7	7	
8		5	8	2	2		7	4	6	
9	6	6	9	3			7		4	7
10	2			8	5	3	6		7	4
11		6	9		6	8	9	7	6	
12	6	7	6	5	5			2	6	
13		7		4	3		5	8	7	5
14	6	7		7	7	8		6		8
15	6	6	7				7	7	6	7
16	2		4	3	7	8			8	5
17		8	7		6	9		8	9	8
18	2		6	5			5	5	4	4

Bloque	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
19	6		9	6		8	9	7	8	
20	6		8	7	6	9	8	9		
21	7	4	6	5			5	7		7
22		8		3	4	4	5		5	4
23	6		7	3		4		8	6	4
24				6	6	6	7	7	7	4
25	6	6		5	6	7	7		7	
26	6	8	7	7	3		8			8
27			8	7	6	8	7	4	7	
28	5	6	5		4	6		7	7	
29	5		4	8	7			6	7	8
30	8	7	7	4	5		8	8		
31		9			4	3	2	6	2	7
32			8		8	6	6	5	7	8
33		7	8	6	8	7		6	6	
34	1	6		2	6		6		4	5
35		8		2		6	1	7	8	6
36	6	5	9		6		8	7	8	
37	7	8	6	6	5	6				7
38	7		6	6	4	5		7	5	
39		6	8	7	5	6	7	5		
40		6	3	5	2	6			3	6
41	8	5		8	7	9	8	7		
42	7		4		6	8	6	7	6	
43		5	4	4	7	8		9		8
44	1	8	5	3	2				8	9
45		9	7	7		9	8	6		7
46			5	4	5		8	9	7	9
47	4	5	7	3		7			6	8
48	9		8	7	6	7		8		7
49		8		6	4	8	5	7		8
50	6		5		5	7	6		8	6
51	6	8		9	8	7			9	8
52	8	6		6		4	8	7		8
53	7			5	6		6	7	8	8

Bloque	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
54	7	8	7		6			5	8	9
55		7	6	8		3	4	7	8	
56		5	7	9			8	8	9	6
57		4	9	2	7		6		8	3
58	6	5			1	4		7	9	9
59	6		6	7		8	7	8		8
60	4		6			6	8	7	7	6
61	8	2	5	4	5		8		7	
62	6	3	3		5		2	6		4
63	9	8	8	7	8	7		9		
64			8	8	6	5	4		7	9
65		6		9	2	7	8	2	7	
66	2	9			7	9	7	8	6	
67		7		8	6	7		7	8	7
68	5		6		7		4	8	7	8
69	7			5	9	8	6	6	7	
70	7	6	8			7	7		8	8
71	5		7		7	4	6	6		7
72	4		8	6		7	7		9	8
73	7	7			6	5	6	7		8
74	8	9		8	7			6	7	7
75	4	8	8	6	6	7	8			
76	1			9	3	6		3	7	1
77	6	5	3	4				7	5	2
78	1	4		6		2	8		5	7
79	6	7		8	4	7		4	8	
80		7	8	5	6		7	8		7
81	7	7			6		6	7	7	7
82	5	7	6	5		9		7	8	
83	5	8	6	7		4	8		8	
84		8	7	8		6		9	9	9
85	5	7	7	6		7		6		8
86	6	8		5	4	5	5			5
87	8	7	7		6	7	6	7		
88	7	6		8		8	8	8	7	

Bloque	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
89	4	6	8	4	1			1		8
90	9	9	9			6		6	6	7
91	3	6	7		3	7	2			6
92	1	4	6	3		6	5	4		
93	7	7				3	7	4	8	9
94	6	7	6		5		6		7	6
95	3	6	7			7	3	3	8	
96		7	8		7	1	6	8		9
97	6		8	5	6		8		7	5
98			8	6	8	5		6	8	9
99	2	7		6		8		3	8	5
100	8	8			8	8	8		8	7
101	8		9		9	4		9	9	9
102	7	9	8			9	8	4		6
103	4	9	7	4		8	7			5
104		8	9		4		1	2	5	4
105	6	9		4	2		4	3	6	
106		9	8	4	1	7	6			7
107	4				2	7	3	4	5	7
108	1		8	6	3	7	9			6
109			7	5		8	7	4	6	6
110		8	7		4	8	6		8	6
111	4	9		3	2		4	5		6
112	3	9	8	4			5	3	7	
113	8	9	8	6	3	8			8	
114	8			8	4	7	1	4		6
115		9	7	8	2	7	6		8	
116	5		7	6	4	8	7		7	
117		8	9	7	2			4	7	7
118		9	8	8		9	6		7	4
119	8	9		8			6	7	7	1
120			8	6	1	7	7	4		5
PROMEDIO	5	7	7	6	5	7	6	6	7	6