



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCVELICA



MEJORANDO LA BEBIDA FUNCIONAL CON AGUAYMANTO Y MASHUA AMARILLA

estrategias con el método
de superficie de respuesta

Evelin Contreras
Alfonso Ruiz Rodriguez

DOI: 10.35622/inudi.b.142

Mejorando la bebida funcional con aguaymanto y mashua amarilla: estrategias con el método de superficie de respuesta

DOI: <https://doi.org/10.35622/inudi.b.142>

Evelin Contreras

Universidad Nacional de Huancavelica
<https://orcid.org/0000-0002-5128-5216>
karinaekcl@gmail.com.pe

Alfonso Ruiz Rodríguez

Universidad Nacional de Huancavelica
<https://orcid.org/0000-0002-0852-5878>
alfonso.ruiz@unh.edu.pe



UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCVELICA



Mejorando la bebida funcional con aguaymanto y mashua amarilla: estrategias con el método de superficie de respuesta

Autores:

Evelin Karina Contreras Lujan
Alfonso Ruiz Rodriguez

Primera edición digital
Publicado en Puno, diciembre de 2023

Libro electrónico disponible en:
<https://editorial.inudi.edu.pe>

ISBN: 978-612-5130-50-1 (PDF)

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2023-13017

DOI: <https://doi.org/10.35622/inudi.b.142>

Categoría: Libro de resultado de investigación científica.

CONSEJO EDITORIAL

Director: Lic. Sergio Antonio Flores Vargas

Editor Jefe: Eddy Rodrigo Gonzales Huaman

Editores:

Dra. Bethzabe Cotrado Mendoza / Dra. Manuela Daishy Casa Coila / Dr. Edgar Estanislao Mancha Pineda / Dra. Luz Wilfreda Cusi Zamata / MSc. Rebeca Alanoca Gutiérrez / Dr. Wilson Gregorio Sucari Turpo / Dra. Yolanda Lujano Ortega / Dra. Sheyla Lenna Cervantes Alagón / Dra. Dometila Mamani Jilaja / Dr. Peregrino Melinton Lopez Paz / Dra. Nina Eleonor Vizcarra Herles / Mg. Lourdes Antonieta López Cueva / Dr. Carlos Alfredo Castro Quispe / Dr. Edgar Darío Callohuanca Avalos / Dra. Diana Águeda Vargas Velásquez / MSc. Yésica Dominga Díaz Vilcanqui / Dra. Tania Carola Padilla Cáceres / Patty Samanta Aza Suaña.

Editado por:

Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C.

Urb. Ciudad Jardín Mz. B3 Lt. 2, Puno - Perú

RUC: 20608044818

Email: editorial@inudi.edu.pe / info@inudi.edu.pe

Teléfono: +51 973668341

Sitio web: <https://editorial.inudi.edu.pe>

Universidad Nacional de Huancavelica

Av. Agricultura N° 319 - 321. Sector - Paturpampa, Huancavelica - Perú

RUC: 20168014962

Email: tramitedocumentario@unh.edu.pe

Teléfono: 067- 451551

Sitio web: <https://www.unh.edu.pe/>

Publicado en Perú / Posted in Peru



Esta obra está bajo una licencia CC BY-NC-SA 4.0 DEED Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional

Evaluación de contenido: Esta obra ha sido evaluada por pares doble ciego, aprobada por el Consejo Editorial del Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú y editada bajo procedimientos que garantizan su normalización.

Los autores son moral y legalmente responsables de la información expresada en este libro, así como del respeto a los derechos de autor; por lo tanto, no comprometen en ningún sentido a la editorial.

Declaración conflictos de interés:

Los autores de esta publicación declaran la inexistencia de conflictos de interés de cualquier índole con instituciones o asociaciones comerciales.

Financiamiento:

Publicación financiada por la Universidad Nacional de Huancavelica como resultado de un concurso promovido por el Vicerrectorado de Investigación, durante el año fiscal 2023.

Información adicional:

Este libro es producto de la tesis "Optimización de la bebida funcional a partir de aguaymanto (*Physalis peruviana*) y mashua amarilla (*Tropaeolum tuberosum*) utilizando el método de superficie de respuesta" presentada a la Universidad Nacional de Huancavelica.



Director Ejecutivo

Dr. Wilson Gregorio Sucari Turpo

Director Académico

Lic. Sergio Antonio Flores Vargas

Director de Investigación

Dr. Pedro Carlos Huayanca Medina

Director de Innovación y Transferencia Tecnológica

Lenin López Yucra

Revisores Pares Externos

Se encuentra en el siguiente enlace:

<https://editorial.inudi.edu.pe/index.php/editorialinudi/about/editorialTeam>

Contribución de autores

Nombre del autor	Rol	Descripción
Evelin Karina Contreras Lujan (Autor principal)	Conceptualización, metodología, supervisión, administración del proyecto.	Participó en los análisis estadísticos y las pruebas diferenciales de las hipótesis, proporcionó los materiales necesarios para la síntesis de datos, recopiló los datos, elaboró la presentación de tablas y figuras.
Alfonso Ruiz Rodríguez (Coautor)	Conceptualización, metodología, supervisión, administración del proyecto.	Lideró el equipo de investigación, definió los objetivos del estudio, diseñó el método de investigación, analizó los resultados y redactó el manuscrito.

Dedicatoria

*El libro lo dedico a Dios, a mis familiares y amigos,
que están siempre a mi lado y motivándome a seguir
adelante.*

Contenido

SINOPSIS.....	12
ABSTRACT.....	13
PRÓLOGO.....	14
INTRODUCCIÓN.....	15

CAPÍTULO I

AGUAYMANTO, MASHUA AMARILLA Y COMPUESTOS BIOACTIVOS

1.1 Aguaymanto (<i>Physalis peruviana</i>)	19
1.1.1 Descripción taxonómica	19
1.1.2 Descripción botánica.....	20
1.1.3 Descripción de la producción.....	21
1.1.4 Composición nutricional.....	29
1.1.5 Propiedades funcionales	30
1.1.6 Beneficios.....	31
1.1.7 Usos y consumos	31
1.2 Mashua amarilla (<i>Tropaeolum tuberosum</i>)	32
1.2.1 Descripción taxonómica	32
1.2.2 Valor nutricional y composición química.....	33
1.2.3 Beneficios y propiedades funcionales	34
1.2.4 Características morfológicas.....	34
1.2.5 Sistema de cultivo, cosecha y post- cosecha.....	35
1.2.6 Usos y consumos	37
1.3 Compuestos bioactivos.....	38
1.3.1 Compuestos fenólicos.....	39
1.3.2 Carotenoides	41
1.3.3 Ácido ascórbico (Vitamina C).....	42

CAPÍTULO II

MÉTODO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

2.1 Superficie de respuestas	44
2.1.1 Algoritmo	47
2.1.2 El análisis de superficie de respuesta de segundo grado.....	47

2.1.3 La localización del punto estacionario	48
2.1.4 Características de la ortogonalidad	51
2.1.5 Diseño de primer orden	52
2.1.6 Diseño de segundo orden	54
2.1.7 Bloqueo de diseños.....	57
2.1.8 Pasos estándar y aplicación de la metodología.....	57
2.2 5 Software estadístico Statgraphics	60

CAPÍTULO III

BEBIDA FUNCIONAL CON EL MÉTODO SUPERFICIE DE RESPUESTA

3.1 Razones de la investigación	72
3.2 Objetivo de la investigación	74
3.3 Método, diseño y tipo de investigación	74
3.4 Consideraciones éticas	76
3.5 Resultados de la investigación.....	77
3.5.1 Formulación	77
3.5.2 Compuestos bioactivos.....	80
3.6 Discusión de resultados.....	80

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y REFLEXIONES

4.1 Conclusiones	88
4.2 Recomendaciones	88
4.3 Reflexiones.....	89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
ANEXOS.....	95

Índice de tablas

Tabla 1	<i>Taxonómica del aguaymanto</i>	19
Tabla 2	<i>Clasificación taxonómica de aguaymanto</i>	29
Tabla 3	<i>Clasificación taxonómica de la mashua amarilla</i>	32
Tabla 4	<i>Composición química de mashua (g/100g)</i>	33
Tabla 5	<i>Combinación de factores del diseño factorial 2³</i>	53
Tabla 6	<i>Datos de caso a ejemplificar</i>	60
Tabla 7	<i>Diseño factorial 2³</i>	65
Tabla 8	<i>Los puntos estrella</i>	65
Tabla 9	<i>Corrida del ejemplo de superficie de respuesta</i>	67
Tabla 10	<i>Diseño de Box-Behnken</i>	69
Tabla 11	<i>Balance de materia según las formulaciones</i>	77
Tabla 12	<i>Evaluación sensorial y datos de control</i>	78
Tabla 13	<i>Compuestos bioactivos</i>	80

Índice de figuras

Figura 1 <i>Germinación del aguaymanto</i>	22
Figura 2 <i>Bolsa con sustrato para su trasplante del aguaymanto</i>	23
Figura 3 <i>Trasplante de plántula</i>	24
Figura 4 <i>Colocación de postes principales</i>	25
Figura 5 <i>Amarre de la planta para su desarrollo de los frutos</i>	26
Figura 6 <i>Eliminación de ramas indeseables</i>	26
Figura 7 <i>Cosecha de los frutos maduros</i>	28
Figura 8 <i>Germinación del aguaymanto</i>	47
Figura 9 <i>Metodología de superficie de respuesta tridimensional</i>	48
Figura 10 <i>Germinación del aguaymanto</i>	49
Figura 11 <i>Germinación del aguaymanto</i>	50
Figura 12 <i>Germinación del aguaymanto</i>	52
Figura 13 <i>Diseño simple $k=2$, factores a la izquierda y $k=3$ factores a la derecha</i>	54
Figura 14 <i>El Diseño Central Compuesto Circunscrito (CCC) es ejemplificado para $K=2$ factores (izquierda) y $k=3$ factores (derecha)</i>	55
Figura 15 <i>Diseño CCF para $K=2$ factores (imagen izquierda) y $k=3$ factores (imagen derecha)</i>	56
Figura 16 <i>Diseño con $k=3$ -Box -Behnken</i>	56
Figura 17 <i>Experimentos en dos bloques</i>	57
Figura 18 <i>Diseño con $k=3$ -Box -Behnken</i>	61
Figura 19 <i>Ventana de opciones de definición de factores</i>	62
Figura 20 <i>Ventana de opciones de definición de respuestas</i>	63
Figura 21 <i>Ventana de lista de diseño de superficie de respuesta</i>	64
Figura 22 <i>Ventana de las opciones de diseño compuesta</i>	66
Figura 23 <i>Respuesta de superficie de respuesta</i>	70

SINOPSIS

La bebida funcional contiene componentes antioxidantes y probióticos que son beneficiosos para mejorar la salud, que en aplicación del método de superficie de respuesta busca resolver los problemas de una o más características de calidad del producto que deben optimizarse. El objetivo del libro es obtener una bebida funcional utilizando el método de superficie de respuesta para determinar la obtención de una bebida óptima y cumplir con características sensoriales, fisicoquímicas y compuestos bioactivos favorables para el consumidor. El estudio es aplicativo de diseño experimental, obteniendo información a través de 10 formulaciones proporcionales: 2*2 factoriales+2 centrales + 4 axiales tomando los siguientes porcentajes de mashua amarilla (30-40%) y aguaymanto (50-60%) completando el 100% con agua. Los resultados revelaron un balance general con una merma entre mashua amarilla (16.7%) y aguaymanto (21.4%); por otro lado, el balance de materia ha evidenciado que la bebida alcanza un rendimiento de 87%, considerando rentable su comercialización de 4 soles por litro; mientras que la evaluación sensorial destaca las formulaciones por sus valores elevados en sabor, acidez y aceptación de acuerdo a los parámetros de control como °Brix (12-12.8), pH (3.92-4.18) y % acidez (0.16-0.77), lo que proporciona el mantenimiento de la calidad deseada. Concluyendo que la bebida funcional fue óptima, el cual recibió altas calificaciones en sabor y aceptación general de acuerdo a la evaluación sensorial, lo que respalda un perfil nutricional favorable. Se recomienda implementar el método de superficie de respuesta en el desarrollo de bebidas funcionales enfocadas en mantener parámetros de control de calidad para garantizar productos consistentes para el consumidor.

Palabras clave: aguaymanto, bebida funcional, calidad deseada, mashua amarilla, superficie de respuesta.

ABSTRACT

The functional beverage contains antioxidant and probiotic components that are beneficial for improving health. Through the application of the response surface methodology, the aim is to resolve issues related to one or more quality characteristics of the product that need optimization. The objective of the book is to obtain a functional beverage using the response surface methodology to determine the optimal beverage and meet favorable sensory, physicochemical, and bioactive compound characteristics for the consumer. The study is an applied experimental design, obtaining information through 10 proportional formulations: 2*2 factorials + 2 central points + 4 axial points, using the following percentages of yellow mashua (30-40%) and goldenberry (50-60%), with the remaining percentage being water to complete 100%. The results revealed a general balance with a loss between yellow mashua (16.7%) and goldenberry (21.4%). On the other hand, the material balance showed that the beverage achieves a yield of 87%, making its commercialization at 4 soles per liter profitable. Sensory evaluation highlights the formulations for their high values in flavor, acidity, and acceptance, according to control parameters such as °Brix (12-12.8), pH (3.92-4.18), and % acidity (0.16-0.77), ensuring the maintenance of the desired quality. In conclusion, the functional beverage was optimal, receiving high ratings for flavor and overall acceptance according to sensory evaluation, supporting a favorable nutritional profile. It is recommended to implement the response surface methodology in the development of functional beverages focused on maintaining quality control parameters to ensure consistent products for the consumer.

Keywords: desired quality, functional beverage, goldenberry, response surface, yellow mashua.

PRÓLOGO

La búsqueda de la bebida perfecta, que no solo cumpla con estándares sensoriales, sino que también sea aprobado por el gusto de los consumidores, implica la consideración de factores críticos como °Brix, % de acidez y pH. A menudo, este proceso de formulación consume tiempo y recursos, lo cual lleva a la necesidad de encontrar estrategias eficaces en la optimización de formulaciones de bebidas.

La elección de la metodología de superficie de respuesta se revela como una decisión clave en este contexto, ya que permite la obtención eficiente de una bebida óptima en un lapso reducido. Se convierte en una estrategia inteligente para formular bebidas con parámetros óptimos obtenidos a través de un enfoque matemático y experimental.

Los resultados de la investigación reflejan la evaluación de las formulaciones por parte de jurados consumidores, cuyas opiniones se expresaron mediante categorías que abarcan desde "ni me gusta ni me disgusta" hasta "me gusta mucho". Estas evaluaciones proporcionan la base para determinar el promedio de las percepciones sensoriales.

Es fundamental reconocer que, al igual que en la construcción de edificaciones, donde las formulaciones matemáticas son cruciales, pero pueden llevar a consecuencias significativas si fallan, en la formulación de alimentos se busca una solución práctica y eficiente. En este sentido, la formulación en la investigación se revela como una herramienta ágil y eficaz, evitando pérdidas de tiempo y recursos.

El uso de la metodología de superficie de respuesta implica la consideración cuidadosa de parámetros y datos de control para garantizar resultados precisos en la formulación. En este viaje de exploración hacia la bebida óptima, comparto mi motivación personal y profesional para emprender esta investigación. Agradezco sinceramente a todas las personas e instituciones que brindaron su apoyo y contribuyeron de manera significativa a este proyecto.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la industria de las bebidas funcionales ha experimentado un notable crecimiento a nivel mundial, impulsada por una demanda creciente de productos que ofrezcan beneficios adicionales para la salud más allá de la simple hidratación. Este auge ha llevado a una mayor diversificación de ingredientes, donde frutas autóctonas y tubérculos andinos, como el aguaymanto (*Physalis peruviana*) y la mashua amarilla (*Tropaeolum tuberosum*), han comenzado a ganar protagonismo debido a sus características nutricionales y propiedades bioactivas. Ambos cultivos, oriundos de las regiones altoandinas de Perú y países circundantes, ofrecen un potencial significativo para la elaboración de productos funcionales que contribuyan no solo a una alimentación saludable, sino también a la valorización de productos agrícolas regionales.

El aguaymanto, también conocido como uchuva o cereza del Perú, es una fruta rica en vitaminas A y C, además de contener altos niveles de fibra y antioxidantes. Estas cualidades lo convierten en un ingrediente ideal para la elaboración de productos derivados que no solo aprovechen su perfil nutricional, sino también sus propiedades funcionales (Biopat, 2015). Por su parte, la mashua amarilla, un tubérculo andino menos conocido, pero de igual valor nutricional, es reconocido por su resistencia a plagas y su contenido en aminoácidos esenciales, antioxidantes y glucosinolatos (Paucar Anasi, 2014). A pesar de su sabor acre y picante, la mashua ha sido utilizada tradicionalmente por sus beneficios medicinales, particularmente en el tratamiento de problemas de próstata y como antibacteriano.

La conjunción de estos dos productos en una bebida funcional representa una oportunidad tanto para los productores rurales como para los consumidores conscientes de su salud. Estudios recientes han demostrado que el aguaymanto puede transformarse en productos como mermeladas, néctares y jugos, mientras que la mashua, a pesar de su menor demanda comercial, ofrece un valor agregado por su resistencia natural y sus propiedades medicinales. Sin embargo, el reto reside en cómo formular una bebida que no solo sea nutricionalmente rica,

sino también sensorialmente atractiva, para garantizar su aceptación en el mercado.

Este libro, "Mejorando la bebida funcional con aguaymanto y mashua amarilla: estrategias con el método de superficie de respuesta", busco aportar a la optimización de productos funcionales a partir de estos ingredientes mediante la aplicación del Método de Superficie de Respuesta (MSR). Este enfoque matemático y estadístico, ampliamente reconocido por su capacidad para modelar y optimizar procesos complejos (Box & Draper, 1987; Piña et al., 2006), permite identificar las proporciones óptimas de los ingredientes para mejorar las características sensoriales y fisicoquímicas de la bebida.

El uso del MSR no solo facilita la optimización del producto, sino que también minimiza los costos experimentales y reduce el tiempo de desarrollo, permitiendo a los investigadores y productores identificar rápidamente las combinaciones de ingredientes que ofrecen los mejores resultados. Además, esta metodología ayuda a maximizar los beneficios nutricionales de los ingredientes utilizados, asegurando que las propiedades funcionales del aguaymanto y la mashua se conserven en el producto final, lo que a su vez puede fomentar una mayor inclusión de estos cultivos en la agroindustria nacional.

En términos prácticos, la importancia de este estudio radica en su potencial para contribuir al desarrollo de productos alimenticios que integren ingredientes autóctonos, promoviendo la sostenibilidad agrícola y el desarrollo económico de las zonas rurales. La valorización del aguaymanto y la mashua no solo mejora los ingresos de los productores locales, sino que también fortalece la identidad cultural a través del consumo de productos nativos de los Andes.

A lo largo de este libro, se examinan en detalle las propiedades nutricionales y funcionales de ambos ingredientes, su producción y procesamiento, así como el proceso de desarrollo de una bebida funcional optimizada mediante el Método de Superficie de Respuesta. Este enfoque no solo busca ofrecer un producto de alta calidad para los consumidores, sino también generar nuevas oportunidades

para la agroindustria rural, destacando el valor de las especies autóctonas del Perú y su potencial en el mercado global.

El libro está estructurado en tres capítulos que abordan de manera integral la investigación y desarrollo de este producto funcional. En el Capítulo I, se presenta una descripción detallada de los insumos principales, el aguaymanto y la mashua amarilla, donde se examinan su taxonomía, morfología, producción y propiedades funcionales, destacando su valor nutricional y potencial en la industria de alimentos. En el Capítulo II, se introduce y desarrolla el Método de Superficie de Respuesta (MSR), ofreciendo una revisión de los fundamentos teóricos y prácticos de esta técnica de optimización experimental, junto con ejemplos de su aplicación en el diseño de productos alimentarios, enfocándose en cómo esta metodología permite maximizar las propiedades sensoriales y nutricionales de la bebida. En el Capítulo III se centra en el desarrollo de la bebida funcional, describiendo el proceso experimental para la combinación óptima de aguaymanto y mashua, evaluando las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y bioactivas del producto final, con el objetivo de proporcionar una propuesta innovadora y comercialmente viable para el mercado de bebidas saludables. Finalmente, en el Capítulo IV establecemos las conclusiones, recomendaciones y reflexiones.

CAPÍTULO I

AGUAYMANTO, MASHUA AMARILLA Y COMPUESTOS BIOACTIVOS

1.1 Aguaymanto (*Physalis peruviana*)

El aguaymanto en tiempos remotos es conocido como capulí, puchipuchi, tomate silvestre, topotopo (en quechua), uchuva, amor en bolsa, cereza del Perú, motojobobo emolsado y entre otros que depende de la ciudad, cultura y ubicación en donde se observa que es una planta herbácea cultivada desde la época prehispánica y es nativa de Perú. Esta planta es considerada como una fruta autóctona que es consumida como parte de la dieta alimenticia en el sector rural, ya que dicha fruta se encuentra de forma silvestre en áreas cálidas y secas (Izquierdo Polo, 2013). En los últimos tiempos, la demanda de este fruto, tanto en su forma fresca como en productos transformados, ha experimentado un crecimiento significativo a nivel local, nacional y extranjero.

1.1.1 Descripción taxonómica

El aguaymanto es considerado como una planta herbácea que pertenece a la familia de las solanáceas, como parte de la familia del tomate y de la papa. Una de sus características relevantes es tener un fruto redondo de sabor agridulce y es originario del Perú (Calua Sánchez & Vásquez García, 2017).

Tabla 1

Taxonómica del aguaymanto

Reino	: Plantae
División	: Embriophyta
Sub división	: Angiospermas/ Angiospermophyta
Clase	: Dicotyledoneae
Sub clases	: Methachlamydeae
Orden	: Tubiflorales
Familia	: Solanacea
Genero	: <i>Physalis</i>
Especie	: <i>Peruviana</i>
Nombre científico	: <i>Physalis peruviana</i> L.
Nombre común	: Aguyamanto, capulí, tomatillo

Nota. Tomado de *Diseño de una planta procesadora de mermelada de aguaymanto (Physalis peruviana) y Panela orgánica para determinar su rendimiento productivo en la provincia de Piura* (p. 8) por Sandoval Ordinola y Zevallos Barro (2023).

1.1.2 Descripción botánica

– Género

El género *Physalis* es extenso dentro de la familia *Solanaceae*, comprendido entre 75 - 90 especies, según Biopat (2015). Estas especies tienen una distribución amplia, considerando que su centro de diversidad se encuentra en México. Donde se han introducido especies cultivadas y algunas consideradas malezas en áreas cálidas.

La característica distintiva del género es el cáliz que se desarrolla durante la fructificación o la obtención de la fruta, el proceso inicia cuando se alarga y rodea la bahía para luego colgar hacia abajo como una lámpara. Esta singularidad convierte a *Physalis* en uno de los géneros más reconocibles dentro de la familia *Solanaceae*. En términos de ciclo de vida, la especie de *Physalis* son semanalmente anuales o perennes de vida corta, presentan flores solitarias axilares y corolas de color amarillo. La corola, por lo general, es única, con forma de campana que cuenta con colores oscuros que rodean el interior de la flor y en todo el cuerpo cuenta con una coloración amarilla.

– Morfología

De acuerdo con Biopat (2015), es una hierba perenne de considerable tamaño que puede alcanzar alturas que oscilan entre los 45 y 90 cm, llegando incluso a medir hasta 300 cm en condiciones favorables. Morfológicamente, presenta un tallo cilíndrico, poco ramificado y cubierto densamente de vellosidades, lo que le otorga una textura suave al tacto. Su sistema radicular se distingue por la presencia de una raíz principal que se extiende a una profundidad considerable, entre 50 y 80 cm, mientras que la mayor parte de las raíces se encuentran más superficialmente, a entre 10 y 15 cm de profundidad, siendo este un patrón que se acentúa más en zonas de mayor altitud, donde las raíces tienden a ser menos profundas.

Las hojas de esta planta son uno de sus rasgos más notables, ya que están densamente cubiertas de vellosidades, lo que puede tener funciones tanto

protectoras como de retención de humedad. Los pecíolos miden aproximadamente 6 cm de largo y sostienen láminas foliares anchas, de forma ovada, con dimensiones que varían entre 6 y 10 cm. Estas hojas presentan una base subcordada y son, en su mayoría, enteras, aunque pueden mostrar algunos dientes apenas visibles en sus bordes, finalizando en una pequeña especulación.

Las flores de la planta, dispuestas verticalmente o inclinadas, destacan por su coloración y estructura. Están sostenidas por pedúnculos que varían entre 10 y 13 mm de longitud. El cáliz, campanulado y densamente veloso en su cara externa, alcanza de 15 a 18 mm durante la floración y cambia de color en la fructificación, tornándose de verde a beige, con nervios prominentes de tono rojizo. La corola es de un vibrante color amarillo con cinco máculas púrpuras en la garganta del tubo, que mide entre 1 y 1,8 cm de largo y entre 1,2 y 2 cm de ancho. Este tubo está adornado con un anillo de tricomas justo debajo de las máculas, lo que añade complejidad a la estructura floral. Los filamentos y las anteras, ambos de color púrpura, complementan la vivacidad de las flores, y el ovario es verde, coronado por un estilo púrpura y un estigma en forma de clava.

En cuanto a los frutos, la planta produce bayas que, al madurar, adquieren tonos amarillos a anaranjados. Estas bayas tienen forma ovoide o esférica, con dimensiones de 1 a 2 cm de longitud y 1 a 1,5 cm de diámetro, y un peso que varía entre los 4 y 10 gramos. Dentro de cada fruto se encuentran numerosas semillas, de entre 100 a 200, aunque en ocasiones pueden llegar hasta 300, siendo estas pequeñas, de color amarillo y con un diámetro que oscila entre 1,25 y 2,5 mm.

1.1.3 Descripción de la producción

Para poder obtener una buena producción de aguaymanto se tiene que tomar en cuenta las siguientes consideraciones, que corresponde a producción agrícola y posterior transformación. Según Guerrero Larreátegui y Rojas Espinoza (2017), se debe tomar las siguientes apreciaciones:

– Almácigo

Lo primero es obtener buenas semillas, puede ser obtenidas por asociaciones, agricultores o institutos de investigación; el inicio de la preparación del almácigo es preparar el sustrato, utilizando turba, considerando que es la más adecuada para almácigos semillas, posterior la turba se coloca en una tina pequeña para luego humectar y desinfectar, el desinfectante a utilizar es (tiofanate metil + tiram), para la prevención de hongos, el cual causa pudrición durante la germinación. Para iniciar con la siembra se tiene que lavar y desinfectar las bandejas almacigueras con hipoclorito de sodio de preferencia al 50%, esto ayuda a eliminar cualquier espora de hongos y evitar que puedan generar problemas posteriores a las plántulas. Después se realiza la humectación y desinfección de la turba; se empieza a colocar en las bandejas el $\frac{3}{4}$ de concentrado de tierra de su capacidad para luego colocar 02 semillas por celda y al final rellenar con turba cubriendo por completo las semillas. Posteriormente, las semillas empezarán a germinar a partir de los 18 días como mínimo, apareciendo en un 93% de germinación a los 24 días y a los 32 días se da inicio la siembra.

Figura 1

Germinación del aguaymanto



Nota. Tomado de *Adaptación y rendimiento de cinco ecotipos de aguaymanto (physalis peruviana l.) en la parte media del Valle Chancay, Lambayeque* (p. 28) por Guerrero Larreátegui y Rojas Espinoza (2017).

– Trasplante de bolsas (repique)

Para este proceso se usó suelo cernido con bajo contenido en sales, también humus de lombriz y arena de río; dichos componentes fueron usados en la proporción 3:2:1, para que posteriormente sean mezclados homogéneamente. Las bolsas recomendadas para realizar la plantación de los plántones fueron de polipropileno de 12x15 pulgadas. Se llenaron las bolsas con sustrato preparado y para lograr compactar se administran golpes hasta que la bolsa tome forma cilíndrica, antes de culminar con el llenado de las bolsas se deja 02 cm de espacio para el riego.

Figura 2

Bolsa con sustrato para su trasplante del aguaymanto



Nota. Tomado de *Adaptación y rendimiento de cinco ecotipos de aguaymanto (physalis peruviana l.) en la parte media del Valle Chancay, Lambayeque* (p. 30) por Guerrero Larreátegui y Rojas Espinoza (2017).

– Preparación de suelo

La preparación de suelos ayuda a mejorar las propiedades físicas como aumentar la porosidad y aireación del suelo. Para ello se realizó un arado a una profundidad de preferencia 30 cm, posterior a ello se pasó el rastrillo para extraer partículas que no ayuden al desarrollo de la planta, Después se realizó el riego fue realizado con el propósito de que los surcos adquieran firmeza, además en temas de las malezas, se inicia la germinación y posteriormente

eliminarlas de forma manual antes del trasplante de la plántula del aguaymanto.

– **Trasplante**

Los plantines con 26 días de vida son trasplantados a un campo definitivo, previo a ello, se cavaron hoyos de 30 x 30 cm y 40 cm de profundidad haciendo usos de barretas, pico y otro instrumento. Posterior al trasplante, se colocó abono orgánico de aproximado 2 kg/hoyo, incorporando a ello una mezcla de la primera dosis de fertilizante que corresponde a 210 gr. de NPK por hoyo, para luego ser cubierto con una capa de 5 cm de suelo agrícola para evitar la exposición de las raíces de los plantines. Como barreras y controlador biológico de insectos o vientos, se recomienda sembrar maíz a su alrededor de la siembra del aguaymanto.

Figura 3

Trasplante de plántula



Nota. Tomado de *Adaptación y rendimiento de cinco ecotipos de aguaymanto (physalis peruviana l.) en la parte media del Valle Chancay, Lambayeque* (p. 37) por Guerrero Larreátegui y Rojas Espinoza (2017).

– **Construcción de espalderas**

Comienza un mes después del trasplante, utilizando postes en forma de "T" de aproximadamente 4 pulgadas de diámetro y X 2.4 m de longitud, los cuales se colocan a intervalos de cinco metros entre sí. Estos postes se entierran a 40

cm de profundidad, dejando una altura de 2 m sobre el suelo. Sobre los travesaños de los postes se tienden dos hileras de alambre, preferiblemente de número 16, que servirán de soporte para las futuras ramas productoras, permitiendo su alineación vertical y optimizando la producción. Al final de cada hilera se coloca un poste principal para reforzar la estructura y garantizar su estabilidad a lo largo del tiempo.

Figura 4

Colocación de postes principales



Nota. Tomado de *Adaptación y rendimiento de cinco ecotipos de aguaymanto (physalis peruviana l.) en la parte media del Valle Chancay, Lambayeque* (p. 39) por Guerrero Larreátegui y Rojas Espinoza (2017).

– Amarre

Una vez instalado el alambrado se empezó el amarre de las ramas del aguaymanto las que cuentan con 36 días después del trasplante, esta actividad es para evitar que se rajen por el peso de los frutos; para colgar las ramas al alambre se utilizan hilos de algodón de preferencia calibre 5 o 10. Haciendo nudos holgados para evitar romper las ramas y facilitar el desligue de las ramas del aguaymanto con el alambre.

Figura 5

Amarre de la planta para su desarrollo de los frutos



Nota. Tomado de *Adaptación y rendimiento de cinco ecotipos de aguaymanto (physalis peruviana l.) en la parte media del Valle Chancay, Lambayeque* (p. 39) por Guerrero Larreátegui y Rojas Espinoza (2017).

– Poda

La poda es la actividad que ayuda a eliminar un gran número de ramas indeseables, son consideradas como las que absorben los nutrientes de las plantas, reduciendo el potencial de rendimiento del cultivo; para ello se recomienda dejar 04 ramas principales que posterior se convierten en ramas productoras; esta actividad se realiza a los 45 días después del trasplante.

Figura 6

Eliminación de ramas indeseables



Nota. Tomado de *Adaptación y rendimiento de cinco ecotipos de aguaymanto (physalis peruviana l.) en la parte media del Valle Chancay, Lambayeque* (p. 41) por Guerrero Larreátegui y Rojas Espinoza (2017).

– **Riego**

El riego se realiza cada 12 a 14 días, esto durante los dos primeros meses después del trasplante de la planta, el riego es con una frecuencia de 7 a 9 días, debido a la mayor evapotranspiración que es ocasionado por el clima cálido.

– **Control de plagas y enfermedades**

El control de plagas se realiza según a las observaciones y evaluaciones constantes del cultivo, considerando que las plagas y enfermedades que se observa en su mayoría son los gusanos miradores de fruto, caracha, mosca blanca y duración radicular.

Entre los productos recomendados a utilizados para controlar las plagas son: Larvin (*thiodicarb*), Lancer (imidacloprid), Tifón (*clorpirifós*), Azufre en polvo, Coragen (*clorantranilipol*), Homai (*tiofanate metil + tiram*), Phyton (*Sulfato de cobre pentahidratado*); etc. Dichos productos son aplicados con mochilas fumigadoras de capacidad de aproximadamente 20 y 15 litros; a ello, también se colocaron trampas amarillas para el control de mosca blanca.

– **Control de malezas**

Se realiza de acuerdo a la presencia de maleza, esto ocasiona que se deshierbe de forma manual para no dañar a las plántulas del aguaymanto. Como mínimo 03 deshierbas con frecuencia de 2.5 meses.

– **Fertilización**

Se recomienda realizar la fertilización en tres momentos, primero se tiene que utilizar la fórmula de 150:150:450 que corresponde a Urea, Fosfato diamónico y sulfato de potasio. Posterior a ello, el intervalo entre fertilizaciones es de 45 días, donde se coloca la mezcla de fertilizante a una profundidad de 5 cm solo en el contorno de cada planta en forma de media luna.

– Cosecha

La cosecha inicia cuando los capuchones de las frutas tienen un color preferentemente amarillo- naranja y el cáliz (capuchón) muestra una coloración verde amarillenta, pero se tiene que tomar en cuenta que la fruta a su interior también tiene que tener una coloración amarilla- naranja. En caso del aguaymanto silvestre, el fruto maduro se reconoce por un oscurecimiento del capacho, a diferencia de los ecotipos comerciales donde se observa más evidente el cambio de color. La cosecha se realiza a partir de los 2 meses y medio hasta el octavo mes o 2 años en caso de la sierra.

Figura 7

Cosecha de los frutos maduros



Nota. Tomado de *Adaptación y rendimiento de cinco ecotipos de aguaymanto (physalis peruviana l.) en la parte media del Valle Chancay, Lambayeque* (p. 46) por Guerrero Larreátegui y Rojas Espinoza (2017).

Se recomienda que la cosecha se realice cada 12 días por los primeros meses, luego realizar la cosecha cada semana para evitar que la fruta esté madura, considerando que se puede tener un total de 16 campañas en la costa, a diferencia de la sierra, donde puede prolongarse hasta dos años.

– Medición de calidad de la fruta

Una vez cosechada, se realiza un muestreo del producto obtenido para poder determinar la calidad del producto, para ello, se realiza el pesado de la fruta

con capacho y sin ella, considerando que la variación depende del estado de madurez de la fruta, como también el diámetro para poder categorizar según el diámetro.

– Comercialización del producto

Para la comercialización del aguaymanto, en el momento de transporte se recomienda que el producto sea trasladado en jabas y contener como peso máximo de 15 kg. Tomando en cuenta que si se añade más producto puede generar una sobre maduración y deterioro del aguaymanto, generando mayor cantidad de merma.

Para la transformación del aguaymanto en un producto deshidratado, se recomienda que el fruto no cuente con daños físicos y si en caso se encuentre en su mayoría rajados o con cortes o sobre maduros, se recomienda que ese producto se destine para elaborar mermeladas para su aprovechamiento.

1.1.4 Composición nutricional

La composición del fruto de aguaymanto ha sido usada como una fuente de provitamina A, mineral, vitamina C y complejo B. En su mayoría contiene sólidos solubles (15%) y un alto nivel de fructosa, dicho componente teóricamente hace que sea muy útil para personas con diabetes; considerando que el fruto contiene altas cantidades en fósforo y fibra dietética, considerando que la pectina ayuda a regular el sistema digestivo, especialmente las personas que tienen problemas intestinales (Biopat, 2015).

Tabla 2

Clasificación taxonómica de aguaymanto

Componentes	Contenidos de 100 gr.	Calorías diarias (basados en una dieta de 2000 cal.)
Humedad	78.90%	-----
Carbohidratos	16 g	300 g
Ceniza	1.01 g	-----
Fibra	4.90 mg	25 g
Grasa total	0.16 mg	66 g
Proteína	0.05 mg	-----

Ácido ascórbico	43 mg	60 mg
Calcio	8 mg	162 mg
Caroteno	1.61 mg	5000 iu
Fosforo	55.30 mg	125 mg
Hierro	1.23 mg	18 mg
Niacina	1.73 mg	20 mg

Nota. Tomado de aguaymanto *andino: alto contenido de provitamina A* por Inkanat (s.f.).

1.1.5 Propiedades funcionales

La fruta del aguaymanto es una fruta con altos contenidos de provitamina A, vitamina C y complejo de vitamina B. Es considerado como un alimento energético natural que es estupendo para niños, deportistas y estudiantes. En la composición del fruto del aguaymanto muestra que cuenta con valores altos en proteínas y fósforo, siendo uno de los componentes que aportan en el crecimiento, desarrollo y correcto funcionamiento de los diferentes órganos humanos (Biopat, 2015).

Para obtener los aportes nutritivos del fruto del aguaymanto es recomendado consumir el aguaymanto en estado fresco pintones, no tan maduros ni verdes; de preferencia esta fruta es consumida en ensaladas, allí se podrá degustar su sabor agridulce (Saludeo, 2022); en caso de Colombia y Perú se procesa el aguaymanto bajo la forma de mermeladas, yogures, dulces, helados, conservas enlatadas, tortas, pasteles y licores.

Además, en el sector gastronómico el fruto del aguaymanto es usado en la repostería, en la preparación de comidas y bebidas, a la vez como elemento decorativo para los postres como el caso de las cerezas. De esta manera se logra aprovechar en todas las preparaciones gastronómicas y lograr así aprovechar sus componentes nutricionales, por ello, incentivar a que se consuma el fruto.

1.1.6 Beneficios

Los beneficios que brinda el fruto del aguaymanto según sus componentes es la de purificar la sangre, tonificar el nervio óptico y alivia afecciones bucofaríngeas, según recomendaciones las personas con diabetes de todo tipo se recomienda el consumo constante de dicha fruta, ya que gracias a sus atributos antiinflamatorios y diuréticos ayudan a la próstata en caso de varones; además es utilizada como tranquilizante natural por contar con flavonoides que contienen acciones antiespasmódicas, antiulcerosa y entre otros que ayuden a prevenir el cáncer del estómago, colon y del intestino (Saludeo, 2022).

1.1.7 Usos y consumos

Según Saludeo (2022), las propiedades del aguaymanto permiten emplearlo en soluciones para el acné, estreñimiento, diabetes y problemas de próstata, mediante la preparación de jugos e infusiones específicas que aprovechan sus beneficios. A continuación, extendemos estas menciones:

- **Limpiador de rostro:** Para el limpiado del rostro en caso de personas que tengan acné, el aguaymanto ayudará a reducir el tamaño y eliminarlo, Para ello, para la preparación de la solución es de preparar un jugo de aguaymanto de 200 gramos más 200 gramos de papaya y 100 mililitros de sanky en extracto; para luego ser licuado todos los insumos y posterior el líquido colocarlo en un recipiente para que se pueda concentrar los componentes y después de 3 días la solución se procede a tomar por siete días en ayunas, es recomendable variar el tratamiento, descansando 3 días y consumir 3 días, esto continuar con el tratamiento hasta que se pueda observar alguna solución, en caso no se pueda visualizar la solución en una semana se recomienda seguir el tratamiento por otros siete días más.
- **Para el estreñimiento:** Para el caso de estreñimiento se recomienda preparar un licuado de 200 gramos de aguaymanto, 200 gramos de granadilla, 200 gramos de papaya y cinco vasitos medidores del extracto de sanky, todos estos insumos son licuados y de preferencia es consumirlo en la tarde a eso de las seis, cuando el estómago esté vacío.

- **Para la diabetes y próstata:** Para poder controlar la diabetes y la próstata, se recomienda consumir las hojas del aguaymanto en a través de infusiones, ello se puede consumir en cualquier horario, de preferencia se recomienda que el consumo sea seguido.

1.2 Mashua amarilla (*Tropaeolum tuberosum*)

La mashua amarilla es una planta herbácea anual que se distingue por su follaje frondoso, con colores que varían desde un verde amarillento hasta un verde oscuro. Sus tallos son cilíndricos y están separados por entrenudos, presentando una estructura muy ramificada que comienza con un crecimiento erecto, pero eventualmente se torna trepadora. Las flores de esta planta son variadas en color, desde tonalidades anaranjadas hasta un rojo oscuro, y cada una presenta entre 8 a 13 estambres, lo que le confiere una apariencia muy distintiva.

Los tubérculos de la mashua amarilla tienen una forma alargada, cilíndrica o cónica, y miden entre 5 a 15 cm de largo. Su color varía entre blanco, morado, amarillo y rojo, siendo estos colores característicos del tubérculo. En su preparación, al ser sancochada, la mashua adquiere una consistencia harinosa y un sabor acre y picante, debido a su alto contenido de almidón y la presencia de isotiocianatos (Paucar Anasi, 2014).

1.2.1 Descripción taxonómica

En la antigüedad la mashua amarilla se ha extendido desde Colombia hasta el norte de Argentina, teniendo mayor concentración de variabilidad entre Perú y Bolivia, donde se pudo clasificar la taxonomía de la mashua para ello se describe en la siguiente tabla (Paucar Anasi, 2014)

Tabla 3

Clasificación taxonómica de la mashua amarilla

Nombre científico	: <i>Tropaeolum tuberosum</i>
Nombre común	: Mashua/ año/ isaño
Reino	: Plantae
División	: Espermatofita
Clase	: Dicotiledones

Orden	: Brassicales
Familia botánica	: Tropaeolece
Genero	: Tropaeolum
Especie	: Tuberosum
Altura óptima msnm	: 200-400

Nota. Tomado de *Composición química y capacidad antioxidante de dos variedades mashua (tropaeolum tuberosum): amarilla chaucha y zapallo* por Paucar Anasi (2014) (p. 19) citado por Contreras Lujan (2019).

1.2.2 Valor nutricional y composición química

Los valores nutricionales con las que cuenta la mashua es: carbohidratos, proteínas, fibra y glucosinolatos, como también cuentan con componentes secundarios de la familia *Tropaeolaceae* que serán descritos en el siguiente cuadro. El consumo de este tubérculo es uno de los hábitos que debe de ser reforzado e incluido en la dieta alimenticia del peruano, considerando que es uno de los tubérculos que se encuentra en mayor proporción en el Perú, como también cuenta con valores nutritivos más resaltantes como carotenos (vitamina A), vitamina C, además tiene una cantidad elevada de aminoácidos esenciales como lisina, aminoácido que son componentes limitantes en muchos cereales y leguminosos (Paucar Anasi, 2014).

Tabla 4

Composición química de mashua (g/100g)

Componentes	: Base seca
Humedad (%)	: 78.3-92.4
Carbohidratos (g)	: 78.6
Proteína (g)	: 7.22-13.99
Grasa (g)	: 0.1-1.4
Ceniza (g)	: 4.19-6.5
Fibra (g)	: 4.9-8.6
Fósforo (mg)	: 300
Vitamina A (mg)	: 214
Vitamina C (mg)	: 476

Nota. Tomado de *Composición química y capacidad antioxidante de dos variedades mashua (tropaeolum tuberosum): amarilla chaucha y zapallo* por Paucar Anasi (2014) citado por Contreras Lujan (2019).

1.2.3 Beneficios y propiedades funcionales

Los beneficios y propiedades funcionales fueron descubiertas por varios centros de investigación quienes realizaron pruebas acerca de sus usos y beneficios, obteniendo como resultado que la mashua contienen altos valores nutritivos como proteínas, carbohidratos, fibra y calorías, a la vez, contiene altas cantidades de aminoácidos esenciales y rico en vitaminas; considerando dichos componentes es importante para la alimentación. Los tubérculos se consumen cocidos como ingredientes en sopas y mermeladas. Los brotes tiernos y las flores se consumen cocidos como verduras (Izquierdo Polo, 2013).

Los tubérculos tienen propiedades medicinales que son como anti bactericidas, insecticidas, nematicidas y entre otros; también es utilizado como antibióticos en otras culturas. Las poblaciones indígenas y de escasos recursos lo utilizan como un tratamiento de la próstata, ya que tiene la propiedad de reducir los niveles de testosterona, para este tratamiento se recomienda consumir el líquido de la mashua amarilla rallada, atribuyéndose también propiedades curativas para los riñones e hígado.

1.2.4 Características morfológicas

Según Márquez Dávila (2018), la mashua amarilla es una planta herbácea anual que puede alcanzar alturas de entre 20 y 80 cm. Su superficie es completamente lisa, ya que carece de vellosidades (glabra). Sus tallos aéreos son cilíndricos y ramificados, con un grosor de 3 a 4 mm, y presentan una variedad de tonalidades que van del verde al purpúreo grisáceo. A lo largo de su crecimiento, la planta puede cambiar de un estado erecto a uno semipostrado, e incluso trepador, gracias a la capacidad de los peciolos táctiles. Las hojas de la mashua, de color verde que varía entre amarillento y oscuro, muestran una interesante variedad morfológica.

Sus hojas de la mashua son peltadas, lo que significa que el pecíolo se inserta en el centro de la lámina, y pueden medir entre 5 y 6 cm de ancho. Dependiendo de la planta, pueden ser trilobadas o pentalobuladas, con una base truncada. Su superficie es brillante y de color verde oscuro en el haz, mientras que el envés es más claro. Los entrenudos que separan las hojas miden entre 1 y 8 cm, y los peciolo pueden alcanzar longitudes que van desde los 2 hasta los 30 cm. Esta variabilidad en las hojas es notable, ya que en una misma planta pueden coexistir hojas con distinto número de lóbulos.

Sus flores, solitarias y zigomorfas, se presentan sobre tallos delgados de 10 a 15 cm de longitud. Cada flor mide entre 2 y 2,5 cm y está formada por un cáliz de cinco sépalos, siendo el superior prolongado en un espolón. Los pétalos, de color rojo anaranjado con una nervadura roja oscura, también son cinco; los dos superiores son orbiculares, con un diámetro de 5-8 mm, mientras que los tres inferiores son más alargados, midiendo entre 10 y 12 mm. Los estambres, dispuestos en dos verticilos, son desiguales y más cortos que los pétalos inferiores. El ovario es trilobular y verde claro, con un estilo que presenta tres lóbulos.

Finalmente, su fruto es un esquizocarpo compuesto por tres mericarpos uniseminados que se separan al madurar. Este tipo de fruto permite una fructificación abundante. Los tubérculos, alargados y cónicos, muestran una notable diversidad de colores, predominando el amarillo. La piel de los tubérculos puede tener manchas o bandas irregulares, con ojos profundos y estrechos, siempre sin brácteas.

1.2.5 Sistema de cultivo, cosecha y post- cosecha

El ciclo de cultivo de la mashua amarilla varía típicamente de seis a nueve meses. La floración comienza aproximadamente a los tres meses de la siembra, seguida por la producción de semillas uno o dos meses más tarde. Los tubérculos pueden ser cosechados a partir de los siete meses de cultivo. La propagación se realiza clonalmente, utilizando tubérculos seleccionados como semilla asexual para la siguiente temporada de siembra (Chacon Cisa, 2019).

Según Chacon Cisa (2019), el tubérculo desempeña un papel fundamental en los sistemas tradicionales de cultivo andinos, que se basan en la rotación y el policultivo. Se refiere a la rotación de cultivo entre la mashua, oca y ulluco, para ello, se siembra en parcelas pequeñas de monocultivo antes o después de cultivos como la cebada, las habas o el chocho. En el policultivo la mashua se intercala con otros tubérculos, así como cultivos como el haba, quinua o chocho. En regiones de menor altitud, como los valles interandinos del Ecuador (por debajo de los 3000 msnm), la mashua se cultiva junto con maíz y calabaza. Además, la planta es utilizada como cerco en las filas fronterizas de los campos de cultivo, ya que se cree que esta práctica repele las plagas.

Los agricultores suelen cosechar de manera progresiva según sus necesidades, a veces dejando los tubérculos en el suelo durante varias semanas hasta el periodo de cosecha normal. Estos tubérculos pueden permanecer en el suelo durante 1-2 meses después de alcanzar la madurez completa sin deteriorarse. La resistencia del tubérculo es alta, ya que es resistente al deterioro y a las enfermedades, esto puede ser ocasionado por el glucosinolato y a las bajas temperaturas de las regiones donde se cultiva y almacena.

La postcosecha es una de las actividades donde se realiza la limpieza de los tubérculos para así eliminar la tierra impregnada en el tubérculo, para que posterior se realice la clasificación según tamaño y el color, como también eliminar los tubérculos dañados o con algún aspecto no agradable. En el Perú, los tubérculos se colocan comúnmente al aire libre en montones y se cubren tradicionalmente con una capa de hierba conocida como seca ichu (*Stipa ichu*) o rafia. Esta capa, de unos pocos centímetros de espesor, protege a los tubérculos de la luz y las variaciones de temperatura, manteniéndolos en la oscuridad y aislándolos contra las heladas nocturnas y las temperaturas altas del día. La temperatura debajo de la cubierta varía muy poco y se mantiene alrededor de la temperatura ambiente promedio.

Antes de consumir los tubérculos se recomienda que sean expuestos a la luz solar directa durante varios días, esta práctica tiene como objetivo mejorar su dulzura

y palatabilidad. Se cree que la exposición solar puede aumentar el contenido de azúcar en los tubérculos, probablemente mediante la inducción de la degradación del almidón. Sin embargo, también se ha observado que esta práctica puede reducir el contenido de glucosinolatos en los tubérculos.

1.2.6 Usos y consumos

Según Izquierdo Polo (2013), este producto tradicional ha encontrado aplicaciones innovadoras como filtrantes, fermentados y hojuelas, que permiten aprovechar sus propiedades y expandir su uso más allá de su forma original. A continuación, se extiende sus atribuciones:

- **Mashua como filtrante:** Si bien se considera los filtros pueden ser elaborados por distintos insumos como raíces, rama, frutas deshidratadas y entre otras, para aprovechar esta practicidad de obtener una bebida fácil de preparar, se recomienda consumirlo a través de filtros, ya que de esa manera se aprovechará sus componentes nutricionales. Este producto viene en fundas plásticas transparentes de 50gr, la infusión del fruto seco de color amarillo.
- **Mashua fermentado:** Es un producto que es derivado de la mashua, el cual que fermentar añadiendo en un recipiente ciertos insumos para lograr obtener una bebida, dicha bebida es exportada a Estados Unidos, Canadá y Colombia, principalmente. El fermentado de mashua, en su mayoría lo realizan de mashua negro, este proceso es patentado y se puede encontrar en centros naturistas a 35 soles la botella de 750 ml.
- **Hojuelas de oca y mashua:** Los productos derivados es una de las alternativas de poder conservar los productos y poder obtener variedades que sean consumibles, como es el caso de las hojuelas de raíces y/o tubérculos Andinos; pero en el caso de la mashua los productos derivados son difíciles de atraer al consumidor por ser un producto nuevo y que no sea tan perceptibles, por ello la tendencia es decreciente, a pesar de sus enormes potencialidades de uso en la alimentación y su alto valor nutritivo.

1.3 Compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos son compuestos que tienen efectos beneficiosos sobre la salud humana, estos compuestos son producidos principalmente por plantas y microorganismos, hongos, levaduras y bacterias; estos compuestos han mejorado la calidad de vida humana, también es considerado como alimento funcional que demuestra que cuentan con aminoácidos esenciales, ácidos grasos esenciales, vitaminas y minerales. Los estudios han demostrado actividades benéficas para la salud y en muchos casos se han identificado compuestos benéficos, que incluye actividades antioxidantes, antihipercolesterolemias y antihipercolesterolemias; actividades antitumorales, antibacterianas y antivirales; y efectos antihiperglucemiantes y antialérgicos (Díaz-Godínez, 2015).

Desde una perspectiva médica, el consumo de frutas y verduras se ha asociado con una reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares y cáncer debido a su contenido en compuestos bioactivos como antioxidantes, enzimas o compuestos antimicrobianos; considerando que los compuestos han aumentado considerablemente en los últimos años. Considerando que reduce el riesgo de enfermedades cardiovasculares, cáncer o enfermedades degenerativas (Sánchez et al., 2021).

Se entiende por “componente o compuesto bioactivo” en los alimentos, aquellos que ofrecen beneficios adicionales a la salud, más allá de la nutrición básica. Estos compuestos pueden mejorar la función fisiológica o reducir el riesgo de enfermedades. Ejemplos de compuestos bioactivos incluyen vitaminas C, E, K, del grupo B, ácido fólico; minerales como hierro, zinc, calcio, selenio; carotenoides con o sin actividad provitamina A; y compuestos fenólicos, glucosinolatos y fitoesteroles. Estos elementos son clave para promover una salud óptima y prevenir diversas patologías asociadas (Morales & Sanchez-Mata, 2015).

Los compuestos antioxidantes desempeñan un papel importante en el sistema inmunológico al proteger al cuerpo de los radicales libres de oxígeno

responsables del estrés oxidativo, que están estrechamente relacionados con muchos problemas crónicos y enfermedades degenerativas.

1.3.1 Compuestos fenólicos

De acuerdo con Sánchez et al. (2021), los compuestos fenólicos desempeñan un papel importante en la producción del sistema inmunológico, así como en prevención de enfermedades como el cáncer, la aterosclerosis o las enfermedades cardiovasculares, principalmente debido a sus propiedades antioxidantes, considerando que los ácidos fenólicos y los flavonoides son los polifenoles más frecuentes en la naturaleza (30% y 60%, respectivamente). Los compuestos fenólicos con propiedades antioxidantes y antimicrobianas, particularmente antocianinas, ácidos fenólicos, ácidos férricos y ácido cafeico. Con esa aclaración se considera como los productos que cuentan polifenoles son la fresa y frambuesa, que contiene colores intensos.

Las plantas vasculares sintetizan una amplia variedad de moléculas orgánicas, incluidos los fenoles, considerado parte de su metabolismo secundario. Estos compuestos fenólicos están presentes en la mayoría de las partes de las plantas y su concentración varía a lo largo del ciclo vegetativo. Tienen múltiples funciones; como, por ejemplo, asimilar nutrientes, síntesis proteica, actividad enzimática, fotosíntesis, formación de componentes estructurales y la defensa contra factores ambientales adversos (Paladino, 2008). Por lo tanto, son responsables del color y las propiedades sensoriales (sabor, astringencia, dureza), así como de las propiedades antioxidantes de los alimentos de origen vegetal. Su capacidad antioxidante se debe a la reactividad del grupo fenol.

Además, se ha demostrado que los flavonoides y los otros compuestos fenólicos tienen efectos preventivos en el desarrollo de cáncer y las enfermedades coronarias. Por ejemplo, el consumo de vino tinto desalcoholizado o extractos de compuestos fenólicos del vino tinto puede mejorar el estado antioxidante del plasma en humanos. Las dietas ricas en frutas y verduras, que son altas en compuestos fenólicos, también pueden aumentar significativamente la capacidad antioxidante del plasma humano.

Por otro lado, Paladino (2008) menciona que el incremento en la ingesta de antioxidantes fenólicos naturales se ha relacionado con la disminución de las enfermedades coronarias y una mayor esperanza de vida. Estos compuestos también tienen propiedades anticancerígenas, antivirales, antiinflamatorias y efectos beneficiosos sobre la salud cardiovascular, como la inhibición de la peroxidación de lípidos y la captura de radicales libres, que son fuertes actividades antioxidantes, inhibición de las enzimas hidrolíticas y oxidativas como fosfolipasa A2, ciclooxigenasa, lipooxigenasa; como a la vez concierne a la acción antiinflamatoria. Mientras que, los cítricos contienen flavonoides en forma de flavonas polimetoxiladas y flavanonas glicosiladas, que poseen diversas propiedades saludables. Estos compuestos han demostrado tener efectos anticancerígenos, antivirales, antiinflamatorios y pueden fortalecer la fragilidad capilar, así cumple la función de inhibir la agregación de plaquetas humanas.

Tanto las cáscaras como las semillas de los cítricos son ricas en antioxidantes fenólicos, que protegen contra la oxidación de la citronela y otros compuestos. Los extractos de cáscara y semilla de cítricos pueden ser útiles para prevenir la oxidación en jugos de frutas y aceites esenciales. Generalmente, las semillas exhiben una mayor actividad antioxidante a comparación de las cáscaras.

Es importante destacar que no siempre existe una relación directa entre la concentración de compuestos fenólicos y la actividad antioxidante en los cítricos. Se ha observado que la capacidad antioxidante está más relacionada con la concentración total de polifenoles que con la presencia específica de ciertos compuestos.

Precisando lo anterior, son sustancias orgánicas presentes ampliamente en el reino vegetal, responsables de características como el color, la astringencia y el sabor, aspectos esenciales del aroma y sabor de los vegetales. Su distribución en los tejidos y células varía según el tipo de compuesto, pudiendo estar dentro de las células o en la pared celular. Forman compuestos de bajo peso molecular, como flavonoides, flavonas, flavanonas, antocianinas (que aportan colores como

rojo, azul, violeta, naranja y púrpura), e isoflavonas, y son hidrosolubles y estables al calor, aunque susceptibles a cambios químicos durante la maduración y a alteraciones físicas por el picado o calor excesivo. Se encuentran en frutas, verduras, semillas, flores, té verde, té negro y uvas, y son conocidos por su capacidad como antioxidantes naturales, lo que les otorga valor como nutraceuticos beneficiosos para la salud (Paucar Anasi, 2014).

1.3.2 Carotenoides

De acuerdo con Paucar Anasi (2014), los carotenoides son compuestos que actúan como antioxidantes, desempeñando un papel clave en la prevención de la deficiencia de vitamina A y las patologías asociadas a esta carencia. Estos compuestos son los pigmentos responsables de los colores rojos, amarillos y anaranjados en frutas y verduras, encontrándose en altas concentraciones en hojas verdes y frutas de tonos anaranjados y rojos. Además, el papel biológico de los carotenoides no se limita a las plantas, ya que protegen contra el daño por fotosensibilidad en bacterias, animales y humanos. Asimismo, se ha comprobado que reducen el daño genético y las transformaciones malignas.

La capacidad de los carotenoides para inhibir el desarrollo tumoral, especialmente provocado por los rayos UV, ha sido destacada en investigaciones. Además, se ha observado que disminuyen las lesiones premalignas en los humanos. Sin embargo, varios factores afectan el contenido de carotenoides en las plantas, como la genética, el estado de madurez de la fruta, su procesamiento y almacenamiento. Factores ambientales, como la luz, las condiciones de cultivo y las enfermedades de las plantas, también juegan un papel en su concentración. Los carotenos, específicamente, se sintetizan y almacenan en los plastidios de las células vegetales, con la participación de las membranas plasmídicas en su biosíntesis.

Por otra parte, los carotenoides son terpenos que parten de la síntesis de isoprenos, derivados de dos unidades básicas: el isopentenil difosfato (IPP) y su isómero dimetilalil difosfato. Dentro de este grupo, los carotenoides, como la luteína y la zeaxantina, se consideran antioxidantes de alto valor, con un rol

crucial en la salud, sobre todo en la prevención de enfermedades cardiovasculares. Su presencia en la dieta humana se asocia a una mejor protección contra diversas enfermedades, lo que refuerza su importancia tanto en la biología vegetal como en la salud humana.

1.3.3 Ácido ascórbico (Vitamina C)

El ácido ascórbico, conocido como vitamina C, es un potente antioxidante que actúa en entornos acuosos del organismo, colaborando con otros antioxidantes como la vitamina E y los carotenoides. Según ciertas teorías, el ácido ascórbico es capaz de atrapar y neutralizar nitritos, lo que inhibe la formación de compuestos carcinogénicos N-nitrosos en el estómago. Además, la vitamina C desempeña un papel esencial en la regeneración del α -tocoferol en las membranas celulares y lipoproteínas. Aunque muchas plantas y animales sintetizan ácido ascórbico a partir de la glucosa, los humanos no pueden producirlo, por lo que deben obtenerlo mediante la dieta (Paucar Anasi, 2014).

CAPÍTULO II

MÉTODO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

2.1 Superficie de respuestas

La Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) es una herramienta matemática y estadística que se utiliza para modelar y optimizar procesos, cuando las variables involucradas son complejas y no se pueden representar de manera directa. Se trabaja a través de modelos empíricos que aproximan el comportamiento del sistema. En sus inicios, se considera que las variables no son completamente comprendidas, por lo que se utiliza un modelo polinomial de primer orden ajustado a través de mínimos cuadrados. Este modelo se complementa con un diseño factorial fraccionado de resolución III, lo que permite identificar la subregión de las variables predictoras donde se espera encontrar un óptimo (Box & Draper, 1987).

Sin embargo, a medida que se profundiza en el análisis, se observan interacciones entre las variables, lo que evidencia la insuficiencia del modelo de primer orden para describir el comportamiento del sistema en ciertas subregiones. Cuando los efectos de interacción y cuadráticos son significativos, surge la necesidad de un modelo polinomial de segundo orden, aunque este puede enfrentar problemas inherentes, como la multicolinealidad, lo que dificulta la identificación precisa del óptimo. Para contrarrestar este problema, se emplea la regresión, que permite ajustar el modelo polinomial y mejorar su capacidad predictiva en presencia de multicolinealidad (Piña et al., 2006).

La MSR se distingue por ser una estrategia experimental que busca optimizar una o varias características de calidad de un producto, estableciendo las condiciones óptimas de operación de un proceso. Este enfoque no solo mejora los resultados, sino que también permite diseñar nuevos productos y perfeccionar procesos existentes. Según Contreras Luján (2019), el principal objetivo de esta metodología es encontrar “valores óptimos” que mejoren las características del producto, aplicando técnicas estadísticas para identificar cómo las variables independientes afectan a la variable de interés.

Para lograr estos objetivos, el Diseño Compuesto Central (DCC) se convierte en una herramienta fundamental dentro de la MSR. Este tipo de diseño permite

estimaciones más eficientes gracias a sus propiedades de ortogonalidad y optimalidad, lo que asegura que los resultados obtenidos sean lo más precisos posibles. Además, el DCC permite minimizar costos experimentales y reducir el tiempo de experimentación, lo que lo hace especialmente útil en el desarrollo de nuevos productos o la mejora de procesos ya existentes. Como lo mencionan Briones Encinia & Martínez Garza (2002), la facilidad para interpretar los modelos polinomiales de orden menor o igual a tres es una ventaja clave de esta metodología.

A diferencia de otros enfoques experimentales que solo buscan identificar un tratamiento ganador, la MSR se centra en encontrar las condiciones óptimas de operación. Este enfoque es más holístico y permite un control más preciso del proceso, ya que se evalúan múltiples factores a la vez. Según Yepes (2016), esto plantea un reto para el investigador, ya que requiere la secuenciación de varias técnicas experimentales para lograr resultados precisos.

El fundamento de la MSR proviene de la teoría del modelo lineal general, donde se asume que una variable de respuesta depende de varias variables independientes cuantitativas. Este enfoque es flexible, ya que permite modelar sistemas en los que la relación entre las variables no es completamente conocida. Para evaluar la eficiencia de los modelos estimados, se utilizan procedimientos como el error cuadrático medio, que ayudan a garantizar que las predicciones del modelo sean precisas (Briones Encinia & Martínez Garza, 2002).

Una de las técnicas es la de modelar y analizar problemas en los cuales una respuesta de interés viene influenciada por varios factores de carácter cuantitativo ($\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_k$), teniendo como objetivo optimizar dicha respuesta, iniciando con lograr determinar los valores óptimos de los factores involucrados para luego utilizar la metodología. La relación vendrá dada por:

$$y = f(x_1, x_2) + \epsilon$$

Que se supone que debe de continuar en $\epsilon_i, v_i=1, \dots, k$, donde “ ϵ ” representa el ruido o “error” observado en la respuesta, cuya distribución se asume normal con media cero (Gil Martínez, 2019).

Las variables $(\epsilon_1, \epsilon_2, \dots, \epsilon_k)$, en la ecuación anterior, son variables naturales, ya que son unidades de medida. También se pueden transformar a variables codificadas x_1, x_2, \dots, x_k : sin dimensiones, con media cero y la misma desviación estándar.

El valor real esperado que tome la variable respuesta:

$$n = f(x_1, x_2, \dots, x_k)$$

La relación se puede representar o es representada mediante una hipersuperficie denominada superficie de respuesta, pero el éxito depende también en la respuesta que puede ajustarse a un polinomio de primer o segundo grado (Gil Martínez, 2019).

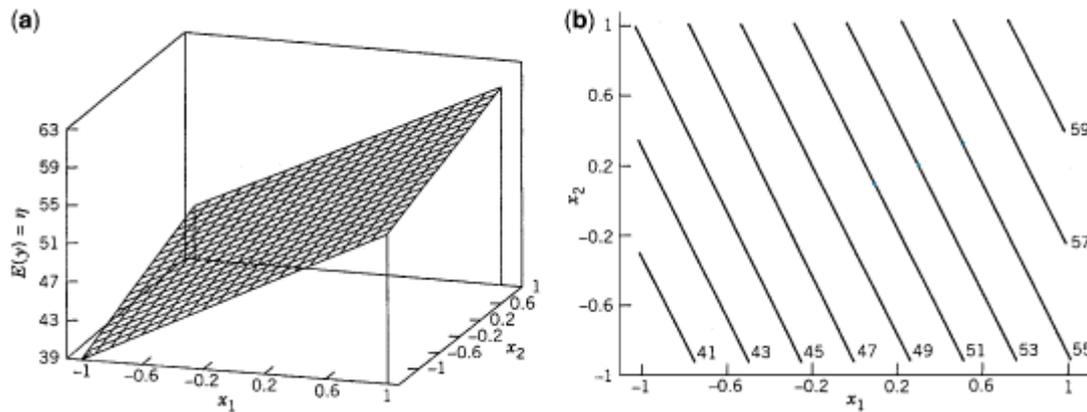
El modelo polinomial de primer orden es dado por:

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

Pudiendo incluir términos de interacción $\beta_1 x_1 x_2$, los cuales introducen algo de curvatura en la función. Contando con $N \geq 3$ podremos obtener a través de mínimos cuadrados los estimadores de los coeficientes de regresión $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$, aparte de ello también se puede obtener la variación del error experimental. La superficie de respuesta se llevará a cabo, por tanto, con la superficie en tres dimensiones obtenidas a partir de una función polinómica de primer grado, en la que se representa la evolución de la respuesta y , en función de dos factores x_1, x_2 . El correspondiente gráfico de contornos ayuda a visualizar la forma de esta relación, donde cada línea de contorno representa una altura determinada de la superficie de respuesta como se puede observar, o lo que es lo mismo, también permite realizar distintas respuestas, el gráfico asociado está formado por una serie de líneas paralelas entre sí (Gil Martínez, 2019).

Figura 8

Germinación del aguaymanto



Nota. a) es considerado como diseño de superficie de respuesta y b) es el gráfico; esto es considerado de un modelo de orden primero. Tomando de *Metodología de superficie de respuesta (RSM)* por Gil Martínez (2019).

2.1.1 Algoritmo

El algoritmo a utilizar de manera física, ayuda a determinar las coordenadas de la trayectoria de máximo pendiente en ascenso, para ello se menciona lo siguiente:

- Se escoge una variable de tamaño que incremente las variables independientes o también conocido como factores ΔX_j . Normalmente, elegimos la variable con mayor coeficiente de regresión absoluto B_j lo que más conozcamos.
- Luego se aplica el incremento en el resto de variables
- $$\Delta X_i = \frac{\hat{B}_i}{\hat{B}_j / \Delta X_j} \quad i=1, 2, \dots, k \quad i \neq j$$
- Convertimos ΔX_i a unidades naturales.

2.1.2 El análisis de superficie de respuesta de segundo grado

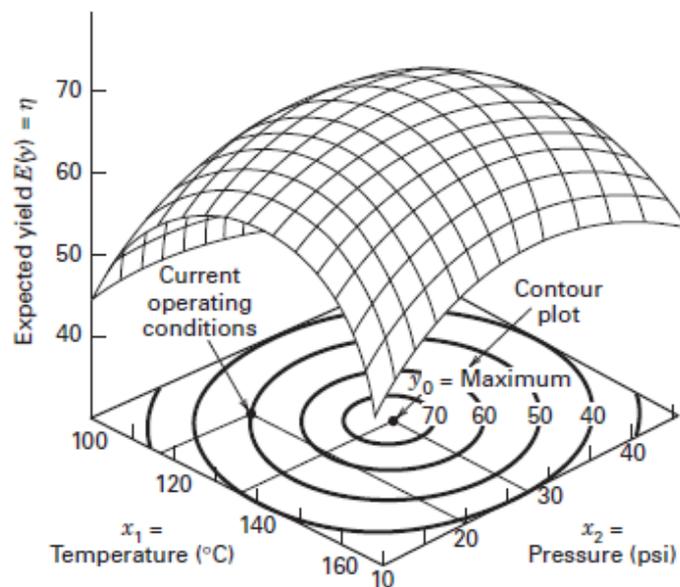
Para el análisis de superficie de respuesta de segundo grado, lo primero es encontrar próximamente el óptimo, será necesario incorporar curvatura al modelo para aproximarlos a la respuesta a predecir. En la materia de los casos bastaba con ajustar un polinomio de grado dos, como se observa a continuación:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon$$

Ejemplo, líneas arriba se observa un modelo polinómico de segundo grado, donde representa la productividad esperada, que es considerado como variable de respuesta esto en función de dos factores: puede ser temperatura y presión (Gil Martínez, 2019).

Figura 9

Metodología de superficie de respuesta tridimensional



Nota. Tomado de *Metodología de superficie de respuesta (RSM)* por Gil Martínez (2019).

2.1.3 La localización del punto estacionario

Para localizar el punto estacionario, se tiene que tomar en cuenta los niveles o valores de los factores, $x_1; x_2, \dots, x_k$ esto ayuda a optimizar la respuesta, considerando las derivadas parciales, serán igual a 0:

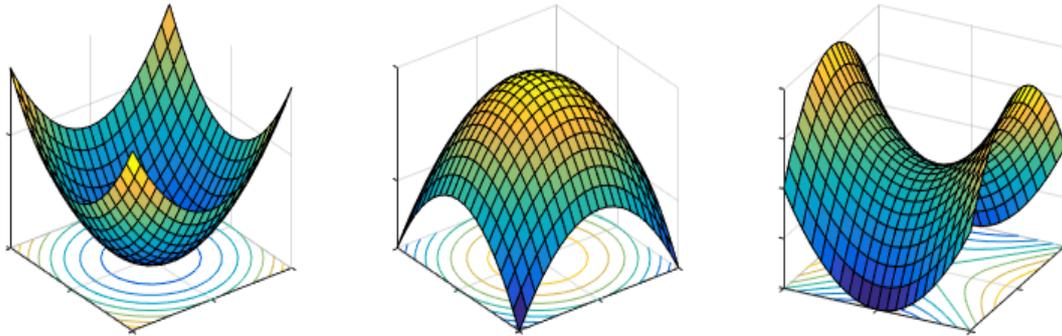
$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial x_1} = \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_2} = \dots = \frac{\partial \hat{y}}{\partial x_k} = 0$$

La formulación es denominada como punto estacionario, y puede representar un punto de máxima respuesta, de mínima respuesta o punto silla, considerando en

que la respuesta aumenta o disminuye a partir del punto estacionario, esto en función a la dirección en la que se formule (Gil Martínez, 2019).

Figura 10

Germinación del aguaymanto



Nota. Tomado de *Metodología de superficie de respuesta (RSM)* por Gil Martínez (2019).

La fórmula matemática que se observa a continuación es útil para la localización del punto estacionario:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + x \cdot b + x \cdot Bx$$

Siendo,

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_k \end{bmatrix} \quad b = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_1 \\ \hat{\beta}_2 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_k \end{bmatrix} \quad \text{and } B = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_{11}, \hat{\beta}_{12}/2, \dots, \hat{\beta}_{1k}/2 \\ \hat{\beta}_{22}, \dots, \hat{\beta}_{2k}/2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ \text{sym} & \hat{\beta}_{kk} \end{bmatrix}$$

Donde “x” es el vector (k x1) de los factores, b es el vector (k x1) de los coeficientes de regresión de primer grado, y “B” es la matriz simétrica (k x k) cuyos elementos en la diagonal son los coeficientes cuadráticos puros ($\hat{\beta}_{ii}$), los de fuera de la diagonal corresponden a 1/2 de los coeficientes cuadráticos mixtos ($\hat{\beta}_{ij}, i \neq j$). La derivada \hat{y} corresponde respecto a los elementos del vector “x” igual a la 0 es:

$$\frac{\partial \hat{y}}{\partial \hat{x}} = b + 2 Bx = 0$$

El punto estacionario es la solución a la ecuación anterior:

$$x_s = -\frac{1}{2}B^{-1}b$$

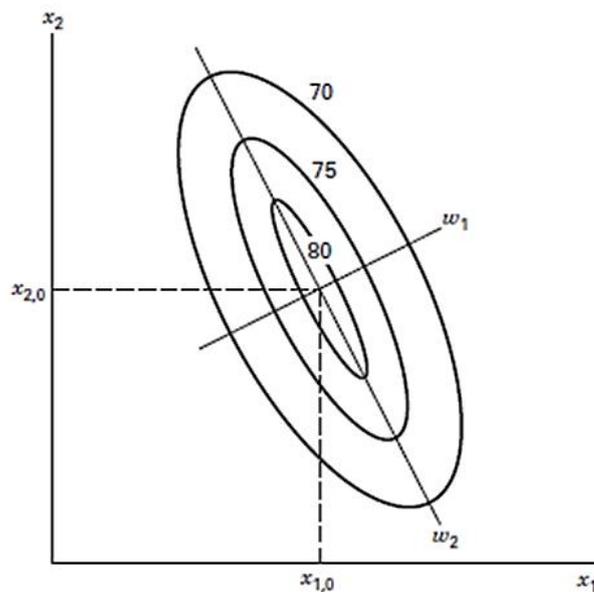
Finalmente, podemos conocer el valor de la respuesta, el cual; el punto estacionario sustituye el valor del punto en la ecuación:

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \frac{1}{2}x_s'b$$

Para caracterizar la superficie de respuesta y poder determinar el punto estacionario, este recurre al análisis canónico, que consiste en transformar el modelo a un nuevo sistema de coordenadas, teniendo así un nuevo origen que se encuentra en el punto estacionario x_s , inicia rotando los ejes de este nuevo sistema para que sean paralelos a los ejes principales de la superficie de respuesta ajustada:

Figura 11

Germinación del aguaymanto



Nota. Tomado de *Metodología de superficie de respuesta (RSM)* por Gil Martínez (2019).

La forma canónica tomaría la siguiente forma:

$$\hat{y} = \hat{y}_s + \lambda_1 w^2_1 + \lambda_2 w^2_2 + \dots + \lambda_k w^2_k$$

Donde w_i son considerados como variables canónicas (variables independientes transformadas) y λ_i las constantes o autovalores de la matriz B (Gil Martínez, 2019).

La naturaleza de la superficie de respuesta se puede determinar a partir del punto estacionario, incluyendo los signos y magnitudes de los valores λ_1 . Teniendo en cuenta que el punto estacionario se encuentra dentro del entorno experimental:

- λ_1 positivas: x_s es un punto mínimo de respuesta
- λ_1 negativas: x_s es un punto máximo de respuesta
- λ_1 positivas y negativas: x_s es en punto silla

Además, la superficie de respuesta tiene mayor pendiente en la dirección w_i para la que $|\lambda_i|$ es mayor (Gil Martínez, 2019).

2.1.4 Características de la ortogonalidad

Para estimar los parámetros del modelo debemos aplicar un diseño experimental apropiado para recopilar los datos necesarios. Para ello, se debe de conocer algunas de las características importantes, las cuales son:

- Proporcionar distribuciones razonables, de punto de datos, y, por tanto, de información, considerando que no tiene que tener una alta lejanía.
- Proporciona estimados precisas de los datos.
- Proporcionar una estimación interna del error.
- Permitir realizar experimentos en bloques.
- No requiere de demasiados niveles de las variables independientes.

Es conveniente que el diseño sea octogonal, considerando que dos vectores son octogonales, ya que la suma de los productos, en este caso sus elementos, son iguales a 0.

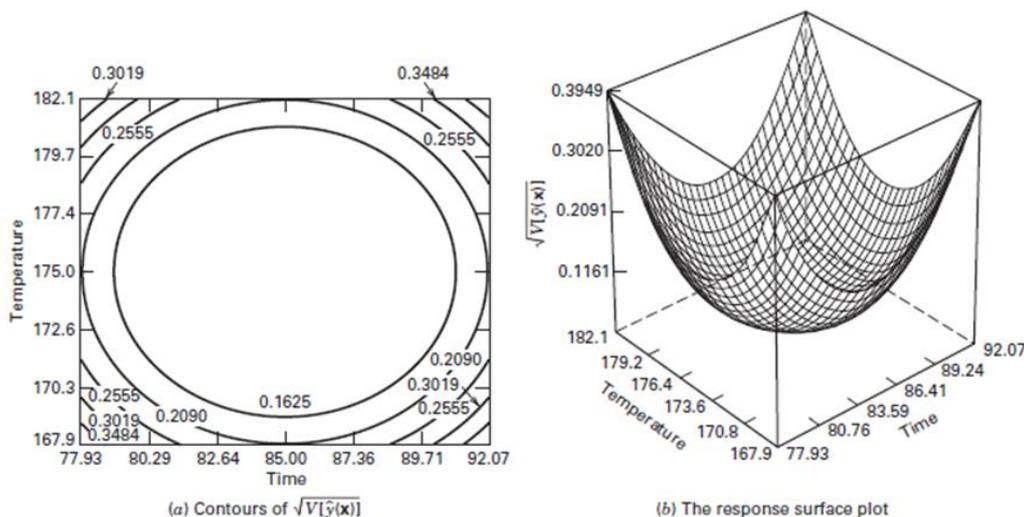
Por ejemplo, el vector $A = (1, -1, 1, -1)$ y $B = (-1, 1, 1, -1)$ son octogonales porque $A \cdot B = 0$:

$$A \cdot B = 1(-1) - 1(1) + 1(1) - 1(-1) = 0$$

La ortogonalidad garantiza que podemos estimar de forma independiente los efectos de los factores, considerando que la varianza de respuesta esperada es expresable como la suma ponderada de las varianzas de los parámetros. El diseño por rotación resulta ser interesante, ya que la varianza de la respuesta esperada va a depender de la distancia entre el punto y el centro del diseño, y no de la dirección, de esa forma dificultando la localización de los parámetros óptimos (Gil Martínez, 2019).

Figura 12

Germinación del aguaymanto



Nota. Tomado de *Metodología de superficie de respuesta (RSM)* por Gil Martínez (2019).

2.1.5 Diseño de primer orden

El diseño de primer orden, es considerado como la única clase de diseños que minimiza la varianza de los coeficientes de regresión $\hat{\beta}_i$ (Gil Martínez, 2019).

Estos incluyen;

- **Diseños factoriales 2^k :** son utilizados en estudios experimentales iniciales de un estudio de respuesta, con la combinación de factores.

Se considera dos niveles por cada factor: k_i un valor máximo como +1, y el mínimo como -1, obteniendo las posibles combinaciones de los niveles de

k factores; por lo tanto, obtendremos muchas combinaciones o tratamientos, por ejemplo:

Tabla 5

Combinación de factores del diseño factorial 2^3

Run	A	B	C
1	-	-	-
2	+	-	-
3	-	+	-
4	+	+	-
5	-	-	+
6	+	-	+
7	-	+	+
8	+	+	+

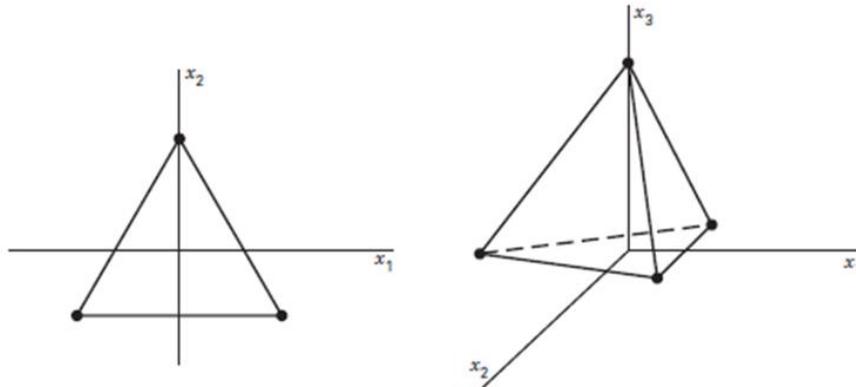
Nota. Tomado de *Metodología de superficie de respuesta (RSM)* por Gil Martínez (2019).

En este caso, no se puede estimar el error experimental, considerando que β_0 representa la media de todas las observaciones (Gil Martínez, 2019).

- **Para fracciones de la serie 2^k :** inicia con el número de combinaciones y parámetros, estimar aumenta rápidamente el número de factores. Se pueden plantear omisión de algunas de las combinaciones o puntos experimentales, considerando únicamente un conjunto de 2^k tratamientos, siendo $k \geq m$. se debe de tener en cuenta que el diseño debe mantenerse como mínimo $k+1$ puntos (por el parámetro a estimar).
- **Diseños simplex:** para el diseño se requiere que $N=k+1$, considerando que los puntos del diseño son representados por los vértices de una figura regular, como por ejemplo el triángulo equilátero, considerando que $k=2$, o en un tetraedro si $k= 3$.

Figura 13

Diseño simple $k=2$, factores a la izquierda y $k=3$ factores a la derecha



Nota. Tomado de *Metodología de superficie de respuesta (RSM)* por Gil Martínez (2019).

2.1.6 Diseño de segundo orden

Los parámetros de un modelo polinómico de segundo orden se pueden estimar utilizando diseños factoriales de $3k$, para ello, se requiere un número de combinaciones muy alto. En otras clases de diseño se permite ajustar este tipo de modelo con un número menor de combinaciones (Gil Martínez, 2019). Como, por ejemplo:

- **Diseño central compuesto (CCD):** Es un diseño para ajustar modelos de regresión cuadrática, las cuales cuenta con tres variantes:

Circunscrito (CCC): se refiere a los puntos experimentales a obtener como, por ejemplo:

En este diseño, los puntos experimentales a obtener son:

$$N = n_f + 2k + n_c$$

Donde:

n_f : Puntos factoriales, considerado como máximo y mínimo de rango.

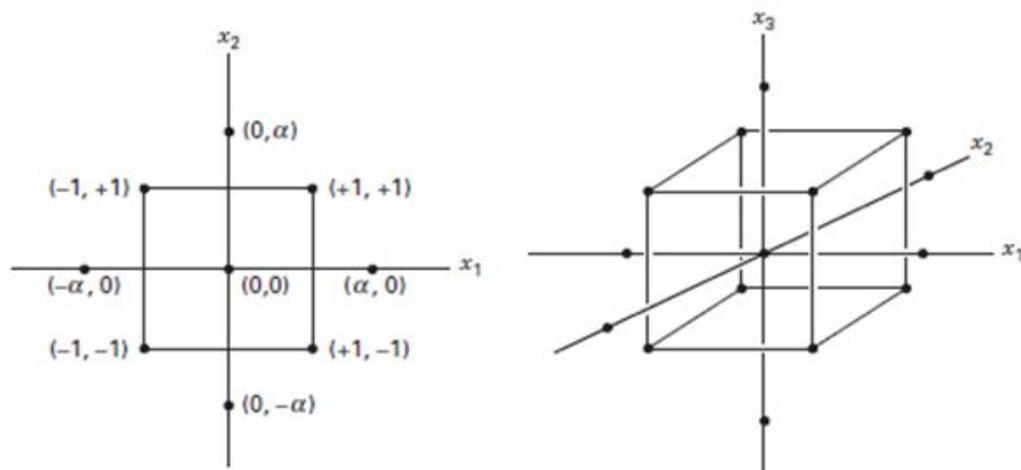
$2k$: Puntos axiales, considerado como nuevos extremos máximos y mínimos de cada factor.

2k: Puntos centrales, requiere específicamente un parámetro adicional para ubicar los puntos axiales.

El CCD cuenta con 5 niveles por factor $(-\alpha, -1, 0, +1, +\alpha)$, dichos signos tienen definiciones como punto axial mínimo, punto factorial mínimo, punto central, punto factorial máximo y punto axial máximo.

Figura 14

El Diseño Central Compuesto Circunscrito (CCC) es ejemplificado para $K=2$ factores (izquierda) y $k=3$ factores (derecha)

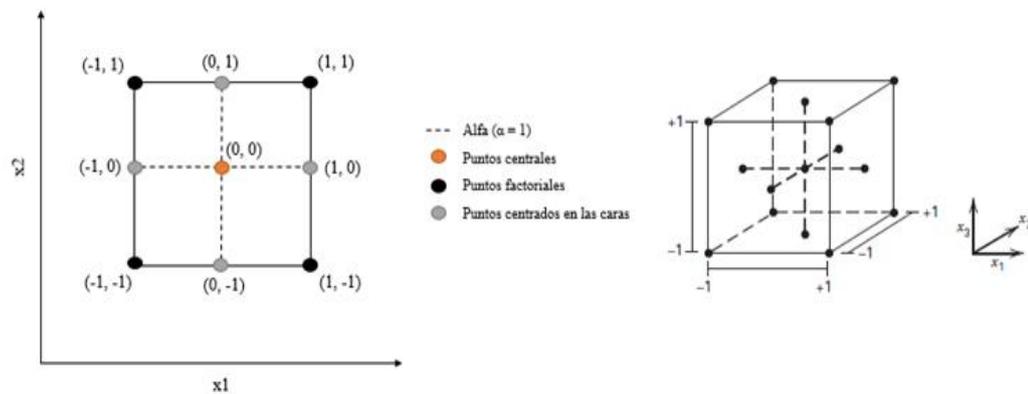


Nota. Tomado de Metodología de superficie de respuesta (RSM) por Gil Martínez (2019).

- *Centrado en las caras (CCF):* Para la variante se emplea $\alpha = 1$, considerando que todos los puntos axiales recaen sobre la superficie de las caras del diseño, manteniendo 3 niveles por factor $(-1, 0, +1)$, se evita combinaciones con valores extremos de los factores. El número de réplicas del punto central también puede ser menos ($n_c = 2$ o 3), sin embargo, este diseño no mantiene la propiedad de rotación.

Figura 15

Diseño CCF para $K=2$ factores (imagen izquierda) y $k=3$ factores (imagen derecha)



Nota. Tomado de *Metodología de superficie de respuesta (RSM)* por Gil Martínez (2019).

- *Diseños Box-Behnken*: Este diseño se usa para ajustar respuestas con al menos tres factores (-1,0, +1). El diseño es destacable, ya que no se incluye ningún punto experimental, como valores máximos de todos los factores.

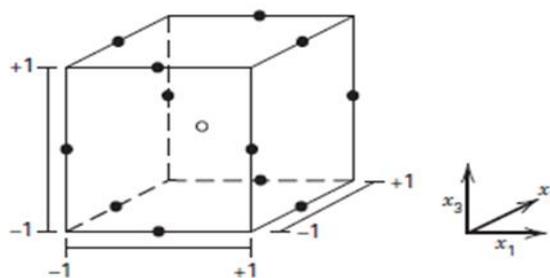
Para el diseño el número de experimentos requeridos viene dado por:

$$N = 2k(k - 1) + n_c$$

Considerando que puede tener menos puntos experimentales, por eso son considerados como menos costosos de llevar a cabo, con un mismo número de factores.

Figura 16

Diseño con $k = 3$ -Box -Behnken



Nota. Tomado de *Metodología de superficie de respuesta (RSM)* por Gil Martínez (2019).

2.1.7 Bloqueo de diseños

Los experimentos en grupo o bloques tienen la posibilidad de llevar a cabo si este es demasiado extenso o si no puede llevarse a cabo bajo condiciones homogéneas, considerando que los bloques nos permiten separar y/o estimar de forma independiente los efectos del bloque. Para el diseño central compuesto; se deduce que el número de bloques ortogonales depende del número de corridas experimentales, número de factores y del diseño. Teniendo en cuenta que las réplicas han de repartirse equitativamente entre todos los bloques, dejando que los puntos axiales se unan únicamente entre uno de ellos, para luego repartirse equitativamente las réplicas del punto central entre los tres bloques.

Figura 17

Experimentos en dos bloques

$$\mathbf{D} = \begin{matrix} & \begin{matrix} x_1 & x_2 \end{matrix} \\ \left[\begin{array}{cc} -1 & -1 \\ 1 & -1 \\ -1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 1.414 & 0 \\ -1.414 & 0 \\ 0 & 1.414 \\ 0 & -1.414 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{array} \right] & \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Block 1} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \text{Block 2} \end{array} \end{matrix}$$

Nota. Tomado de *Metodología de superficie de respuesta (RSM)* por Gil Martínez (2019).

2.1.8 Pasos estándar y aplicación de la metodología

Los siguientes pasos son para aplicar la metodología de respuesta (Piña et al., 2006), considerando lo siguiente:

- **Inicio:** Lo primero que se tiene que hacer es determinar las variables naturales, luego realizar comparaciones entre ellas para que mejore las variables, se recomienda que la codificación sea equidistante.

- **Ajuste de un polinomio:** Se recomienda utilizar un diseño experimental fraccionado de resolución III, considerando que la varianza de la respuesta esperada, para el diseño se requiere un número pequeño de corridas experimentales.
- **Determinación de la adecuación del modelo de primer orden:** El modelo de primer orden polinomial, considera que para moverse dentro de la región de operabilidad hacia el óptimo, esto necesita que el diseño utilizado no sea saturado, teniendo como finalidad determinar el error puro.
- **Aplicar método acelerado para acercarnos al óptimo:** Para iniciar con el método se tiene que tomar en cuenta que si el primer orden es aceptado para representar la superficie en la región actual este tiene que aplicar el método de ascenso acelerado al polinomio para acceder a las cercanías del óptimo, para luego avanzar en la dirección dada por el signo obtenido por los coeficientes de regresión. Considerando los signos positivos y negativos que se encuentran en un diseño central compuesto, esto deberá de ser utilizado para en un modelo completo de segundo orden para su ajuste. Considerando que se debe de aplicar el método de ascenso acelerado hasta que los términos de segundo orden logren potencializar.
- **Aproximación de la superficie de segundo orden:** Es recomendado para el segundo orden el diseño central compuesto, considerando que sus propiedades son el de ortogonalidad, óptimalidad G y óptimalidad D; estas propiedades se encargan de maximizar y determinar la región de confianza del elipsoide de donde se determinan los coeficientes; óptimalidad G, es considerado que en la rotabilidad se agregan puntos axiales aparte de los puntos factoriales del diseño; para los puntos centrales y dar estabilidad a la varianza es recomendado un número determinado de valores. Concluyendo así que este modelo, ayuda a los polinomios canónicos para la optimización de la superficie, de esta manera se logra determinar la localización y naturaleza del punto

estacionario, considerando que esto se obtiene explorando y determinando la localización y naturaleza del punto estacionario.

- **Análisis canónico de la superficie:** Cuando el modelo de segundo orden está completo se determina el diseño, considerando que, si todos son positivos, es un mínimo, y en caso todos son negativos, es considerado como un máximo; y si al menos uno es de diferente signo, se genera el famoso punto silla. Si el punto estacionario es un punto silla; si en caso los puntos caen fuera de la región de experimentación, tiene una forma A, causada por un ajuste al polinomio canónico. Para determinar la nueva dirección de búsqueda del óptimo del polinomio se requiere trabajar a través de la aplicación del método de ascenso acelerado, para esto se deberá ajustar un polinomio canónico en su forma para realizar la explotación en las fronteras tomando como punto central el diseño central compuesto, la gráfica no representa un punto silla. Para eso, el punto óptimo encontrado dentro de esa esfera, deberá de utilizarse como el nuevo centro del diseño, posterior se aplicará el proceso iterativo del método de ascenso acelerado hasta que caiga dentro de la región de experimentación o lleguemos hasta el límite de la región de operabilidad del sistema o proceso analizado, teniendo en cuenta que los puntos tienen que estar dentro de la región experimental en caso no se tiene que ajustar el modelo canónico.
- **Punto estacionario:** En cuanto al punto estacionario esta deberá de tomarse como centro del diseño e identificar al punto representativo para que posterior se realice la caracterización del sistema y lograr así optimizar la respuesta; Para esta situación existen alternativas óptimas que permita optimizar algunas características; La búsqueda del óptimo deberá de realizarse llevando a cabo nuevos experimentos en la dirección ascendente del sistema, hasta el límite de la región de experimentación o hasta que otra característica predominen y así lograr obtener parámetros que sí sean válidos.

- **Determinación del nivel óptimo de los factores:** El nivel óptimo de los factores es resultado de los pasos descritos líneas posteriores, considerando que hay niveles de parámetros bajos y altos que al subir a un sistema estas trabajan mostrando las alternativas de respuestas óptimas.

2.2 5 Software estadístico Statgraphics

El software más adecuado para trabajar el diseño metodología de superficie de respuesta es el estadístico Statgraphics, considerando que una vez identificado valor que ayuden a desarrollar la localización de las condiciones óptimas de los factores; el óptimo implica a menudo trabajar con valores de mínimo o máximo, esto dependiendo de los distintos tipos de diseños enfocados para la optimización de respuesta; lo más conocido para este software y más utilizado es el diseño central compuesto y diseño box-Behnken (StatPoint, 2006).

Por ello, se explica con un ejemplo cuáles son los pasos para realizar el diseño. Ejemplo: cómo lograr obtener datos relacionados con la resistencia de una envoltura de pan. Para realizar el análisis en el Software estadístico Statgraphics se tiene que contar con factores o datos experimentales, como también tener datos del riesgo de valores que serán cambiantes a la hora de obtener datos con los que se trabajará a la hora de realizar los experimentos.

Tabla 6

Datos de caso a ejemplificar

Factor	Bajo	Alto	Unidades
T° de Lacre	225	285	°F
T° de conservación	46	64	°F
Polietileno	0.5	1.7	%

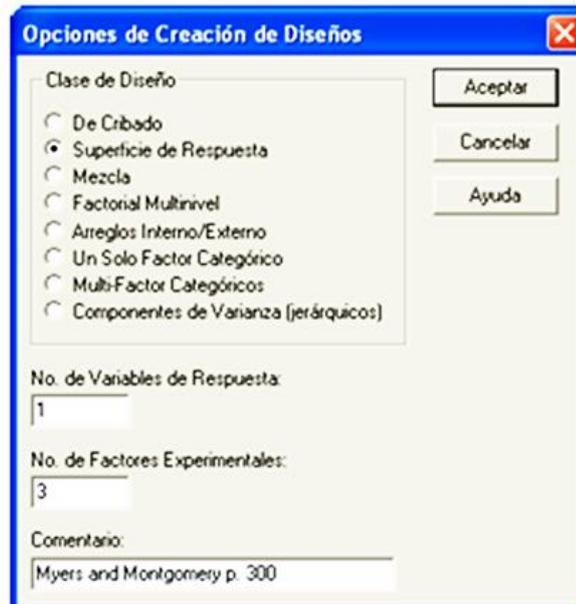
Nota. Tomado de *Diseño de Experimentos – Diseño de Superficie de Respuesta* (p. 1) por StatPoint (2006).

Posterior a ello, se cuentan con los siguientes pasos:

- **Paso 1 Identificación del tipo de diseño:** se crea el diseño, en el Statgraphics ingresando a crear diseño y completando diversas cajas de diálogo, considerando lo siguiente según se observa en la imagen.

Figura 18

Diseño con $k = 3$ -Box -Behnken



Nota. Tomado de *Diseño de Experimentos – Diseño de Superficie de Respuesta* (p. 2) por StatPoint (2006).

Cuando se obtenga en cuadro, se tiene que seleccionar lo siguiente:

- Clases de diseño: es considerado al tipo de diseño que se elija para su creación, como la superficie de respuesta.
- N° de variables de respuestas: Es considerado el número de variables que deberán medirse durante cada corrida experimental, que es recomendado que sea mayor a 1.
- N° de factores experimentales: Es considerado el número de factores que puede variar tras varias corridas y es considerado tener como mínimo 2 factores.

- Comentario: Es considerado al texto que se añade con la intención de que aparezca en los procedimientos de análisis.
- **Paso 2 Factores experimentales:** Es considerado a la información que se requiere de cada factor experimental, como nombres, valores bajos o alto y entre otros, que se puede observar en la ventana adjunta.

Figura 19

Ventana de opciones de definición de factores



Nota. Tomado de *Diseño de Experimentos – Diseño de Superficie de Respuesta* (p. 3) por StatPoint (2006).

Hacer clic donde dice factores y seleccionar las letras A, B, C, ..., según corresponda a su investigación, recomendamos que solo se debe de dar clic una sola vez, posterior a ello ingresar la siguiente información que se pida por cada factor seleccionado.

- Nombre: Es considerado hasta 32 caracteres y debe ser considerado términos representativos.
- Bajo: Se consideran datos de los niveles bajos del factor
- Alto: Se consideran datos de los niveles altos del factor
- Unidades o comentarios: Es considerado como una etiqueta opcional que puede contener hasta 64 caracteres.
- Continuo: Indica las variables que pueden variar entre los niveles alto y bajo.

- **Paso 3 Variable respuesta:** Después de ingresar la información en la ventana anterior, se genera una nueva ventana en la que se requiere información acerca de cada variable.

Figura 20

Ventana de opciones de definición de respuestas



Nota. Tomado de *Diseño de Experimentos – Diseño de Superficie de Respuesta* (p. 4) por StatPoint (2006).

En esta ventana, hacer clic en la opción de respuesta que son datos variables de 1, 2, 3, ..., solo se puede ingresar información para cada variable.

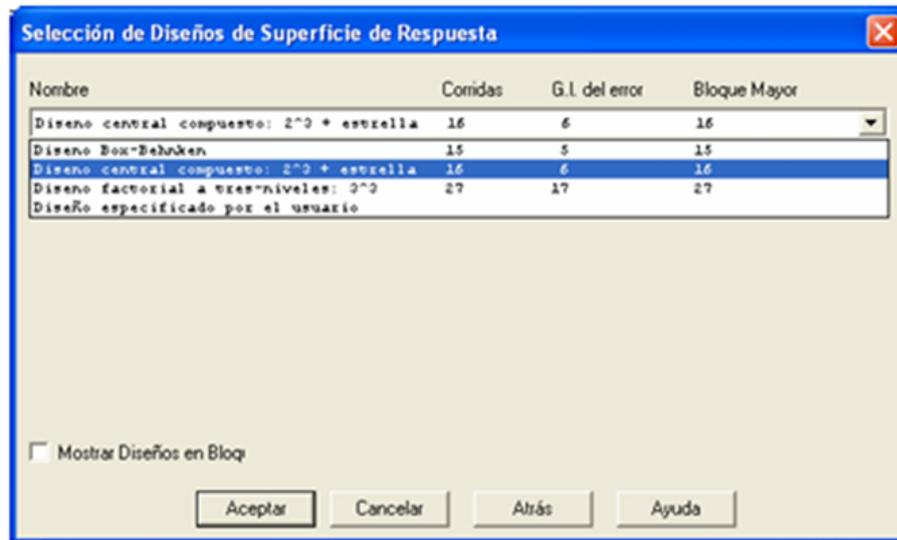
- Nombre: Es el nombre que se considere para la respuesta, esto contiene hasta 32 caracteres.
- Unidades o comentarios: es considerado como etiqueta opcional que tiene hasta 64 caracteres.

Posterior a ello, hacer clic en aceptar.

- **Paso 4 Catálogo de diseño:** Muestra una lista de todos los diseños de superficie de respuesta en Statgraphics, el usuario puede decidir con cuál de los diseños prefiere trabajar.

Figura 21

Ventana de lista de diseño de superficie de respuesta



Nota. Tomado de *Diseño de Experimentos – Diseño de Superficie de Respuesta* (p. 4) por StatPoint (2006).

En la ventana se observa lo siguiente:

- Nombre: se observa el nombre del diseño, considerando que los diseños más utilizados son:

Diseño central compuesto; que se refiere a un diseño factorial completo con puntos al centro o también conocido como un diseño factorial fraccionado, que puede generar puntos estrellas; esto ayudará que se modele la curvatura con respecto a cada punto logrando estimar la curvatura con respecto a los valores otorgados.

Por ejemplo, considerando el diseño factorial 23 mostradas líneas debajo:

Tabla 7

Diseño factorial 2³

Corrida	X1	X2	X3
1	-1.0	-1.0	-1.0
2	1.0	-1.0	-1.0
3	-1.0	1.0	-1.0
4	1.0	1.0	-1.0
5	-1.0	-1.0	1.0
6	1.0	-1.0	1.0
7	-1.0	1.0	1.0
8	1.0	1.0	1.0

Nota. Tomado de *Diseño de Experimentos – Diseño de Superficie de Respuesta* (p. 6) citado por (StatPoint, 2006).

El diseño que se observa en el cuadro corresponde a una expresión en unidades estándares, donde -1 representa el nivel bajo y +1 representa el nivel alto. Los puntos estrella son localizados o descritos de la siguiente forma:

Tabla 8

Los puntos estrella

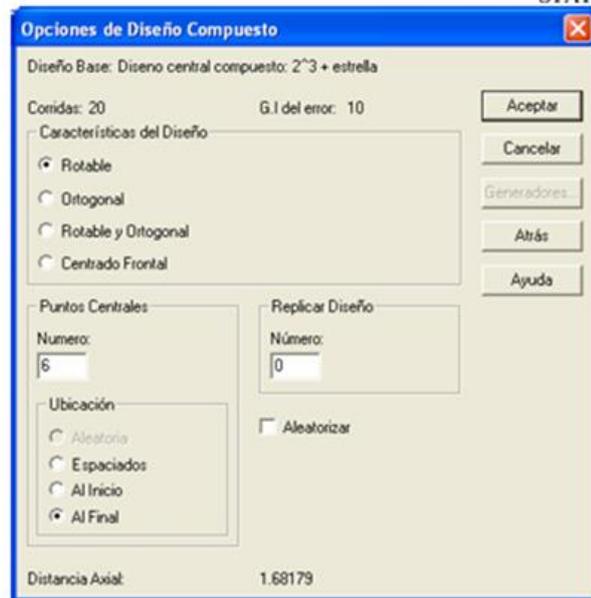
Corrida	X1	X2	X3
9	$-\infty$	0	0
10	∞	0	0
11	0	$-\infty$	0
12	0	∞	0
13	0	0	$-\infty$
14	0	0	∞

Nota. Tomado de *Diseño de Experimentos – Diseño de Superficie de Respuesta* (p. 1) citado por (StatPoint, 2006).

Donde ∞ representa la distancia axial que es ≥ 1 ; esto determina que ∞ es igual a los valores específicos o también conocidos como propiedades deseables que se pueden alcanzar, como parte del diseño es recomendable que se agregue un punto central al diseño.

Figura 22

Ventana de las opciones de diseño compuesta



Nota. Tomado de *Diseño de Experimentos – Diseño de Superficie de Respuesta* (p. 7) por StatPoint (2006).

La ventana que se muestra en la figura 22 corresponde a las características que debe de tener el diseño compuesto, para ello se describe lo siguiente y la definición de cada ítem que se observa.

- **Características del diseño:** se refiere a las propiedades del diseño con la que se requiere trabajar, para eso se define a continuación:
 - *Rotable:* consiste en colocar los puntos estrella en una distancia entre la varianza predicha, esto se trabajará según todos los puntos que se obtengan y se logre observa el punto central el diseño; esto se logra en función a la fijación de la distancia axial.
 - *Ortogonal:* se trabaja con los puntos estrella en una distancia axial que asegura todos los términos de segundo orden, especialmente para los ortogonales.
 - *Rotable y ortogonal:* Alcanza ambas propiedades como el punto central, pero fijando la distancia axial igual a la requerida para alcanzar la rotabilidad.

- *Cara centrada*: Los puntos estrella son colocados en los niveles bajo y alto del diseño factorial. Para tales diseños es usado suficientemente de 1-2 puntos al centro.
- **Puntos al centro (número)**: El número de puntos centrales que son adicionados en el diseño base son considerados como corridas experimentales adicionales y a la vez están localizadas en un punto medio entre el nivel bajo y alto de todos los factores. Cada adición de punto central agrega un grado de libertad estimando el error experimental.
- **Punto centro (localización)**: La posición de los puntos centro depende de la corrida experimental o azar, que está regulada a través de las corridas o a la localización del punto de inicio o final.
- **Réplica del diseño**: Si los valores numéricos son distintos a cero, es ingresado al programa y este deberá repetir el número de veces indicado.
- **Aleatorización**: es para activar la caja de aleatorización para establecer el orden de corridas del experimento, como, por ejemplo: reducir el efecto de variables ocultas como tendencias sobre el tiempo. Considerando que las corridas en el diseño no se aleatorizan.

Para ello, en el ejemplo anterior se tiene la siguiente corrida que se puede observar en el siguiente cuadro.

Tabla 9

Corrida del ejemplo de superficie de respuesta

C ¹	Temperatura de sellado (°F)	Temperatura de la barra de enfriamiento (°F)	Porcentaje de polietileno (%)	Fuerza (gramos por pulgada cuadrada)
1	225	46	0.5	
2	285	46	0.5	
3	225	64	0.5	
4	285	64	0.5	
5	225	46	1.7	
6	285	46	1.7	

7	225	64	1.7
8	285	64	1.7
9	204.546	55	1.1
10	305.454	55	1.1
11	255	39.8639	1.1
12	255	70.1361	1.1
13	255	55	0.0909243
14	255	55	2.10908
15	255	55	1.1
16	255	55	1.1
17	255	55	1.1
18	255	55	1.1
19	255	55	1.1
20	255	55	1.1

Nota. Tomado de *Diseño de Experimentos - Diseño de Superficie de Respuesta* (p. 9) por StatPoint (2006).

Los datos del cuadro se obtienen según a la siguiente corrida:

- Corridas 1-1-8: Una factorial 23
- Corridas 9-14: Los puntos estrella.
- Corridas 15-20: Los puntos al centro replicados.

Diseño de Box- Behnken, el cual es considera un diseño a 3 niveles, esto incluyendo un subconjunto de corridas de un factor completo a tres niveles. Mientras el diseño central compuesto también tiene 3 niveles con puntos al centro, este coloca la mayoría de los puntos del diseño en las esquinas de la región experimental. Sin embargo, si uno está comenzando en una combinación particular de factores y a la vez busca simplificar las mejores condiciones como lograr la eficiencia, es realizar un arreglo más esférico de los puntos.

En resumen, el diseño Box- Behnken consiste de un conjunto de corridas donde cada par de factores varía entre sus niveles bajos y altos, mientras los demás factores experimentales se fijan en el nivel medio.

Tabla 10

Diseño de Box-Behnken

Corrida	X ₁	X ₂	X ₃
1	-1	-1	0
2	-1	-1	0
3	1	-1	0
4	1	-1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	-1
7	1	0	1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	1	-1
11	0	-1	1
12	0	1	1

Nota. Tomado de *Diseño de Experimentos – Diseño de Superficie de Respuesta* (p. 12) por StatPoint (2006).

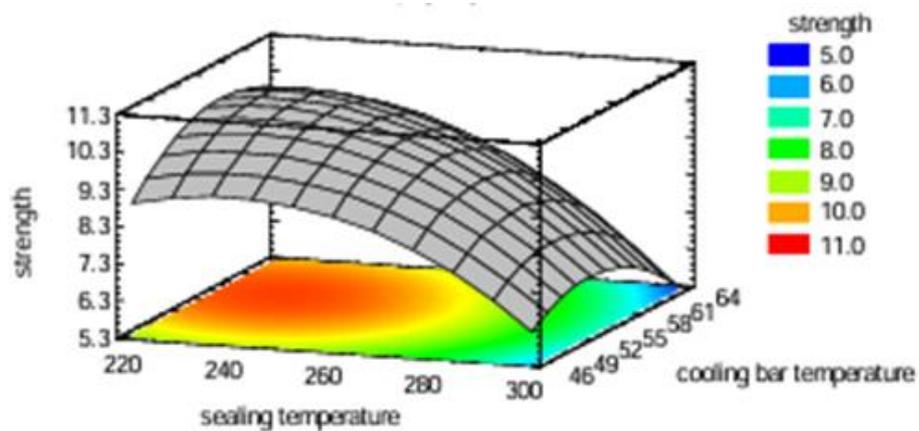
Considerando el cuadro adjunto, se observa que hay 4 corridas consecutivas, es un diseño experimental con 2 niveles implicando seleccionar un par de factores. Además de 3-5 puntos al centro en (0,0,0). Concluyendo que el diseño es comparable en tamaño con el central compuesto y considerablemente más pequeño que una factorial a tres niveles.

- **Corridas:** En el diseño base se tiene que identificar el número de corridas, para eso se tiene que sumar las réplicas o puntos al centro adicional.
- **Grado de libertad del error:** El número de grados de libertad para el error experimental pueda estimarse después de calcular todos los efectos principales, también es considerado como una interacción de segundo orden u efectos cuadráticos. En general, debe de estar disponible para que la prueba estadística a ser desarrollada durante un análisis tenga una razonable potencia, para eso debe de tener al menos 3 grados de libertad.

- **Bloque mayor:** Es considerado el número de corridas dentro de los bloques como un diseño que tiene corridas en más de un bloque.
- **Paso 5 Modelo estadístico:** se basa en el análisis del diseño de superficie de respuesta que expresa la variable respuesta “Y” como una función lineal de los factores experimentales, por eso se tiene como información el efecto cuadrático que causa la estimación de la superficie de respuesta; Se observa la curvatura que tiene forma de una colina, un valle, una cresta o alguna otra figura.

Figura 23

Respuesta de superficie de respuesta



Nota. Tomado de *Diseño de Experimentos – Diseño de Superficie de Respuesta* (p. 15) por StatPoint (2006).

CAPÍTULO III

BEBIDA FUNCIONAL CON EL MÉTODO SUPERFICIE DE RESPUESTA

3.1 Razones de la investigación

Las razones de la investigación, son varias, una de ellas es la formulación de la bebida que puedan optimizar el uso de insumos e impedir el desperdicio de la materia prima u otros insumos, como podría ser el caso del aguaymanto (*Physalis peruviana*) y mashua amarilla (*Tropaeolum tuberosum*); la otra razón es que los insumos mencionados son accesibles de conseguir y son productos que se produce en la sierra y no son aprovechados adecuadamente, sino vendido como materia prima que a veces no genera ganancia al agricultor.

Por ello, la alternativa en la investigación es la elaboración de una bebida, y más aún unir dos insumos que son distintos en un solo producto y obtener una bebida que es considerado funcional por sus componentes y por ofrecer una alternativa a los productos que son desvalorados en la sierra, a la vez, es considerado como una alternativa novedosa para el mercado.

En ese sentido y tomando en cuenta en las estadísticas sobre el consumo de bebidas no alcohólicas según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2012), se describe que el peruano consume 27 litros con 300 mililitros de gaseosa, posterior a ello le sigue agua mineral que es consumido 4 litros con 900 mililitros al año y por último son néctares y entre otras bebidas. Con dicha información se considera que las bebidas funcionales o néctares no son consumidos en mayor cantidad, pero sí consumido por un pequeño grupo que prefieren consumir productos saludables y novedosos que estén elaborados con productos de la zona y que se aproveche la diversidad de sabores.

Ante ello, el aguaymanto es un insumo importante en la transformación de productos derivados, por sus cualidades nutritivas y su sabor agradable, es una fruta que puede ser transformado en productos derivados como una alternativa para la agroindustria rural, generando valor agregado, aumentando el ingreso de los productores. Es decir, el aguaymanto puede ser convertida fácilmente en pulpa para mermelada, conservas, jaleas, néctares, almíbares, jugos, licor, deshidratado de aguaymanto y entre otros (Instituto de Desarrollo y Medio Ambiente [IDMA]., 2016).

En el caso de la mashua, es un tubérculo andino cultivado en las tierras altoandinas de América del Sur, reconocido por su resistencia a plagas y nemátodos, además de su bajo requerimiento de fertilizantes. A pesar de su valor nutritivo, no es muy demandado debido a su sabor agrio. Por otro lado, es una planta que se distingue por su gran diversidad de colores, en especial tonalidades negruzcas, moradas y amarillas. Aunque su consumo es mayormente rural por motivos ancestrales, la mashua posee importantes beneficios nutricionales y medicinales, incluidos compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes y fenólicas (Díaz-Godínez, 2015; Sánchez et al., 2021)

Además, es un producto que forman parte del grupo de cultivos de tubérculos comestibles autóctonos de los lugares andinos templados que tiene apariencia parecida a la papa y a la oca, pero la mashua se presenta en variedad de colores (crema, amarillo, negro, morado, blanco, rosado); económicamente y comercialmente la mashua es menos conocida que los otros cultivos de tubérculos altoandinos y que es considerado como uno de los productos comestibles autóctonos de los lugares andino; a su vez, podría considerarse que es un producto con fuente importante de actividad antioxidante siendo comparado con frutas que contiene un alto contenido de antioxidante como flavonoides y polifenoles (Arteaga-Cano et al., 2022).

Entendiendo sus propiedades de cada insumo, estudios han demostrado su alto contenido de proteínas, carbohidratos, almidón, fibras y un balance adecuado de aminoácidos esenciales, junto con vitaminas C y B. Estos atributos la posicionan por encima de otros cereales y tubérculos en cuanto a su valor nutritivo, aunque no es aprovechada plenamente debido a sus características organolépticas. A pesar de ello, la mashua sigue siendo parte de la dieta tradicional de las zonas rurales, no por sus componentes nutricionales, sino por costumbres ancestrales (Malpartida Yapias et al., 2022).

En ese sentido se puede considerar que las bebidas funcionales a base de jugos de frutas, en especial las que son elaborados de frutas y tubérculos que tiene cualidades únicas que pueden contener variedades de componentes como

bioactivos, vitaminas, antioxidantes, aminoácidos y péptidos; estas frutas al ser consumido de forma directa sin ningún proceso también genera beneficios sinérgicos que son buenos para la salud (Huaraca Aparco et al., 2023), pero el sabor de algunos tubérculos puede no ser agradable para el consumo, por eso el proceso de aprovechamiento y unión de los componentes de los dos insumos es la obtención de una bebida agradable y con altos valores nutricionales que ayudan en una alimentación saludable, esto tomando en cuenta que dependerá de las formulaciones que se realice y de los panelistas que lo evalúen, y puedan deducir cuál de las bebidas formuladas puedan ser las más aceptables y consumibles, ya que los productos que tienen altos valores nutricionales a veces no son consumibles porque no son agradables.

3.2 Objetivo de la investigación

El objetivo es optimizar una bebida funcional a base de aguaymanto y mashua amarilla, identificando las proporciones óptimas para mejorar sus características sensoriales, y determinar su contenido en compuestos bioactivos y características fisicoquímicas mediante el método de superficie de respuesta.

3.3 Método, diseño y tipo de investigación

El método, diseño y tipo de investigación se trabajó en función a los tipos de consumidores como a las formulaciones obtenidas, para ello, el método utilizado fue empírico tomando premisa que se utilizó el método hipotético-deductivo, teniendo en cuenta que a partir de la formulación de la hipótesis y siguiendo las reglas lógicas de la deducción se llega a una conclusión y predicción empírica eso gracias a las formulaciones obtenidas por el método de superficie de respuestas; estos serán verídicos cuando se obtiene los resultados de las encuestas, generando así la comprobación científica que comprueba la veracidad de la hipótesis que sirvió de premisa; concluyendo así que el método hipotético-deductivo desempeña un papel esencial en el proceso de verificación de las hipótesis y la base científicas (García Dihigo, 2006).

El diseño a considerar fue experimental, considerando que en este diseño es para poder recabar datos y verificar la hipótesis en función a los datos que se recabaron en las encuestas realizadas, teniendo como referencia a García Dihigo (2006) quien indica que el método experimental se valida utilizando la estadística en el control de variables y en la medición de los resultados; por eso en la investigación se trabajó con la estadística de método de superficie de respuesta.

A la vez, el tipo de investigación fue considerada como aplicada, ya que se aplican los conocimientos adquiridos en la búsqueda de antecedentes como en la de formulación esto fue de ayuda a poder validar la parte teórica con la parte científica; tomando en cuenta que la investigación aplicada se basa en el análisis de los resultados de investigación que este orientada a resolver problemas sociales, alimentación, forestales y entre otros (Ñaupas Paitán et al. 2014); la bebida funcional es considerada como una bebida que fue aplicada a una población determinada para obtener datos relacionados a sus gustos, necesidades que involucra el tema social y alimentario.

Posterior a ello, la investigación fue realizada en una población que fueron los estudiantes, docentes o administrativos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Huancavelica, ya que dicha población cuenta con conocimientos básicos sobre las bebidas funcionales o de productos alimenticios elaborados con productos de la zona; posterior a ello la determinación de la muestra fue en función a consumidores que en este caso fueron más estudiantes obteniendo en total 30 encuestados considerados como panelistas a quienes se les realizaron las encuestas; el muestreo fue probabilístico aleatorio donde se escogió al azar a los panelistas para realizar la encuesta, esto con la finalidad de evitar que los resultados salgan muy variables.

Para realizar las encuestas se trabajó en función a un instrumento que constaba con nueve escalas que corresponde de me gusta muchísimo hasta me disgusta muchísimo, esta escala es utilizado para las evaluaciones de sabor, acidez y aceptación general, en cada evaluación se evaluaron 10 muestras distintas según las formulaciones obtenidas; la degustación fue realizada en el laboratorio de la

Facultad de Ciencias Agrarias de Acobamba donde el encuestado que fue considerado al grupo de consumidores, fueron llevados a las cabinas de evaluación en donde se le entregó las muestras codificadas y las fichas para su evaluación correspondiente; estos resultados obtenidos con las preguntas ayudaron a recolectar los datos y evaluarlo estadísticamente para determinar la formulación de una bebida óptima en función a la metodología de superficie de respuesta; para que posterior se formule la bebida y proceder a ser llevado al laboratorio “La Molina - Universidad Nacional Agraria”, para su análisis que corresponde a Vitamina C, Compuestos fenólicos o Polifenoles y Carotenoides, estos análisis fueron realizados por especialistas del laboratorio, como también la metodología y el proceso con las que trabaja el laboratorio; en esta etapa no se tuvo injerencia en los análisis, solo se llevó la muestra de 2 litros de bebida y de presento al laboratorio para los análisis mencionados.

3.4 Consideraciones éticas

La investigación realizada tuvo consideraciones éticas como integridad, reconocimiento, originalidad y conflictos de interés, desde la obtención de panelistas con quienes se realizaron la degustación de la bebida funcional hasta la obtención de resultados.

En caso de integridad, se eligió a panelistas al azar, no se manipularon datos obtenidos de las encuestas, tampoco se realizaron modificaciones a los resultados estadísticos; respetando la información obtenida. Mientras que el reconocimiento, se respeta y reconoce a los autores que se citan en el presente libro haciendo respetar sus derechos de autoría como reconociendo los resultados obtenidos, posterior a ello, se respetaron las informaciones obtenidas de cada encuestado. Por otro lado, la redacción del presente libro es considerado como original, ya que es la impronta de la autora, incluyendo y respetando las opiniones de los otros autores, la originalidad genera que el libro sea único, según su esencia de redacción de la autora.

Como última consideración ética se tiene el conflicto de interés, que corresponde a no buscar lucrar con la investigación realizada sino con la finalidad de

demostrar que existen muchas formas de obtener una bebida funcional y que se puede optimizar en el proceso gracias a los avances estadísticos como al interés de la investigadora. Con estas consideraciones se lograron obtener datos verídicos que ayudó en el proceso de investigación y en la optimización de la bebida funcional, esto gracias a los análisis estadísticos, resaltando que las evaluaciones ayudaron a que se formule una bebida con estrategias diferentes encontradas en otras investigaciones.

3.5 Resultados de la investigación

3.5.1 Formulación

Los resultados que se obtuvieron con la investigación, fue la obtención de datos estadísticos gracias al Statgraphics, estos datos fueron formulados según a los valores que se considera para aguaymanto (50-60%) y mashua amarilla (30-40%), luego se utilizó el Diseño Compuesto Central Rotable (DCCR) para obtener datos para su formulación en porcentajes de aguaymanto y mashua amarilla; esto gracias al diseño $2^2 + 2 \cdot 2 + 2$ puntos centrales, haciendo un total de 10 ensayos, tal como se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 11

Balance de materia según las formulaciones

Formulaciones	Porcentajes		Dilución 1:2			Producto final (Litro)
	<i>Mashua amarilla</i> (%)	aguaymanto (%)	<i>Mashua amarilla</i> (gramos)	aguaymanto (gramos)	Agua (gramos)	
1	40	60	400	600	0	2.6
2	35	47.9289	350	479	171	2.6
3	30	50	300	500	200	2.6
4	42.0711	55	421	550	29	2.6
5	30	60	300	600	100	2.6
6	27.9289	55	279	550	171	2.6
7	40	50	400	500	100	2.6
8	35	62.0711	350	621	29	2.6
9	35	55	350	550	10	2.6
10	35	55	350	550	100	2.6

Nota. Tomado de *Optimización de la bebida funcional a partir de aguaymanto (Physalis peruviana) y Mashua amarilla (Tropaeolum tuberosum) utilizando el método de superficie de respuesta* (p. 60) por Contreras Lujan (2019).

En la tabla N° 11 , Se muestra los porcentajes de proporciones que tendrá cada insumo, como el aguaymanto y mashua amarilla, ya que en uno de los cuadros se observa la cantidad que se necesitó de cada uno de los insumos mencionados, incluyendo la cantidad de agua, considerando que las proporciones tiene que hacer un total de 1 litro, que en algunos casos puede ser solo los insumos sin añadir agua o en algunos casos incluyendo agua; teniendo la excepción del 1:2 de dilución, considerando que “1” equivale a la proporción de los insumos, incluyendo agua, y “2” al porcentaje de agua que se debe de añadir según las “Normas Técnicas Peruanas-NTP, 2018” que indican sobre la formulación de jugos, néctares y bebidas de fruta.

En todo proceso de obtención de bebidas siempre hay una merma, como también pérdidas en todo el proceso, por ese motivo se considera que se tendrá una pérdida de 30 a 40% de merma, dependerá de la pulpa que tenga cada producto y los residuos que se generan en su preparación, por ello se considera que se obtendrá una bebida final de 2.6 litros.

En cada bebida obtenida por cada tratamiento se obtuvieron los siguientes resultados que son considerados datos de control, el cual fue tomado en el momento de la obtención de la bebida, esto con la finalidad de identificar que parámetros fueron los que ayudaron a que las personas puedan elegir la bebida agradable, según la encuesta realizada, que en este caso era el de identificar que tan agradable les pareció en relación a sabor, acidez y aceptación general.

Los resultados obtenidos son los siguientes, considerando que los resultados de la respuesta de evaluación sensorial fueron obtenidos del promedio de todas las encuestas realizadas.

Tabla 12

Evaluación sensorial y datos de control

Formulaciones	Datos de control			Respuesta de evaluación sensorial		
	°Brix	pH	% Acidez	Sabor	Acidez	Aceptación general
1	12.8	3.92	0.61	1.03	0.70	0.97
2	12.6	4.07	0.16	1.70	1.40	1.53
3	12.0	4.03	0.19	1.70	1.30	1.60

4	12.6	4.18	0.77	0.60	0.40	0.80
5	12.8	4.11	0.51	0.47	0.57	0.67
6	12.1	4.04	0.54	1.21	0.77	1.10
7	12.4	3.95	0.48	1.38	1.13	1.13
8	12.3	4.01	0.51	1.52	0.57	1.20
9	12.0	4.01	0.54	1.69	1.43	1.27
10	12.0	4.01	0.52	1.72	1.67	1.63

Nota. Tomado de *Optimización de la bebida funcional a partir de aguaymanto (Physalis peruviana) y Mashua amarilla (Tropaeolum tuberosum) utilizando el método de superficie de respuesta* (p. 60) por Contreras Lujan (2019).

Según tabla N° 04, la interpretación de la tabla es que los datos que se observan indica que las formulaciones 2, 3, 9 y 10 tienen valores altos en SABOR mayor a 1.60 de puntaje, en ACIDEZ las formulaciones 2,3, 9 y 10 obtuvieron valores mayores a 1.40 puntos, y por último en ACEPTACIÓN GENERAL las formulaciones 2, 3, 9 y 10 volvieron a tener puntajes mayores de 1.20; para lo cual estos resultados ayudaron a obtener parámetros rangos de los datos de control, considerando que en °Brix es de 12 a 12.8, % acidez de 0.16 a 0.77 y pH de 3.92 a 4.18.

Con estos resultados, se promediaron los datos de las formulaciones para obtener los parámetros óptimos de aguaymanto y mashua amarilla, como también se tendrán los datos de control para su elaboración.

Los datos obtenidos de los insumos para la formulación de la bebida óptima fueron para aguaymanto de 50.36% y mashua amarilla fue de 33.60%, esta formulación se trabajará de igual forma como las formulaciones realizadas, de dilución de 1:2, tomando en cuenta que los datos de control fueron para °Brix de 12,3; % acidez de 0.54% y pH de 4; estos datos de control también son conocidos como **características fisicoquímicas** que tiene el producto final.

Después de obtener la bebida óptima, se procedió a enviar el producto a un laboratorio de renombre y prestigio que es el laboratorio de “La Molina - Universidad Nacional Agraria”, para que pueda evaluar la cantidad de vitamina C, compuestos fenólicos o polifenoles y por último carotenos totales o carotenoides, esto con la finalidad de que la bebida pueda ser considerado como

una bebida funcional que cuente con valores altos en función a los análisis mencionados.

3.5.2 Compuestos bioactivos

Tabla 13

Compuestos bioactivos

Compuestos bioactivos	Valor
Vitamina C (mg/100 g)	15,40
Polifenoles totales (mg de ácido gálico/100 g)	18,20
Carotenos totales (mg de beta caroteno/100 g)	0,20

Nota. Tomado de *Optimización de la bebida funcional a partir de aguaymanto (Physalis peruviana) y Mashua amarilla (Tropaeolum tuberosum) utilizando el método de superficie de respuesta* (p. 51) por Contreras Lujan (2019).

Los resultados obtenidos muestran que la bebida si cuenta con cualidades para ser considerado como **compuestos bioactivos**; estos compuestos de la bebida el cual fue analizada y los resultados obtenidos son las siguientes: vitamina C, cuenta con 15.4 mg por cada 100 g de muestra original; compuestos fenólicos o polifenoles cuenta con 18,2 mg de ácido gálico equivalente a 100 g de muestra y por último carotenos 0,2 mg por 100 g de muestra. Considerando que los compuestos bioactivos es un término amplio que abarca a distintas propiedades de los alimentos, considerando que uno de ellos es la Vitamina C, compuestos fenólicos o polifenoles y carotenoides o caroteno y entre otros elementos que ayuden a mejorar el funcionamiento del cuerpo.

3.6 Discusión de resultados

Para la determinación de la bebida funcional se realizó la **formulación** según aguaymanto (50-60%) y mashua amarilla (30-40%), esta formulación ayudó a obtener 10 tratamiento de las cuales se evaluaron sensorialmente para así lograr obtener una bebida óptima con porcentajes de aguaymanto 50.36% y mashua amarilla 33.60%, obteniendo de esta manera los siguientes resultados relacionados a **compuestos bioactivos**, las cuales son: vitamina C con 15.4 mg por cada 100 g de muestra original; compuestos fenólicos o polifenoles con 18,2

mg de ácido gálico equivalente a 100 g de muestra y por último carotenos 0,2 mg por 100 g de muestra, a la vez cuenta con **características fisicoquímicas** de 12,3 Brix; 0,54 % de acidez y pH de 4. Estos resultados indican que la bebida es considerada como una bebida funcional.

Según los resultados obtenidos se pudo hacer las comparaciones sobre la similitudes y diferencia que se tiene relacionado a la formulación de una bebida funcional; por ese motivo se considera que según Oro Beltrán y Urcia Piedra (2018) se puede observar que la bebida que se formula es una bebida funcional a base de aguaymanto y camu camu de 60%: 40% en relación de 1:1, esto genera valores concentrados de 422,19 mg de vitamina C por cada 100 g, tomando en cuenta que la variación relacionado a vitamina C es porque en el proceso de la formulación de la bebida funcional se incrementa gracias al camu camu que es una fruta que contiene altos porcentajes de vitamina C, observando así que los resultados de la investigación son mínimas a comparación a lo descrito.

En la investigación realizada por Obregón La Rosa y Lozano Zanelly (2021) se observa que el aguaymanto en fruto cuenta con los siguientes valores; 43.10 mg por 100 g de muestra de Vitamina C, 0.80 mg por cada 100 g de muestra original de carotenoides; 62.93 mg por 100 g de muestra de polifenoles totales; estos resultados en comparación con la investigación se considera que en pulpa fresca contiene mayor concentración, pero en caso de los productos derivados siempre se generará alteración porque son expuestos a temperaturas que disminuyen sus componentes, como también hace mención en la investigación de Arroyo Cajacuri y Vicuña Ñaupari (2020) quien realiza en su tesis de investigación que el aguaymanto en fresco es de 39.505mg. y para el deshidratado 22.160mg., 22.045mg. y 19.405mg., donde disminuyó con el incremento de la temperatura.

En caso de los polifenoles se indica que en el trabajo de investigación Castillo Apaza (2022), que se utilizaron los siguientes frutos que se producen y cultivan en el distrito de Velille (Arequipa), para lo cual, se procedió a cuantificar los polifenoles totales por el método de Folin-Ciocalteu dando como resultado los siguientes valores de 98.3 ± 0.12 mg AG/L, 75.0 ± 0.20 mg AG/L y 26.5 ± 0.12 mg

AG/L equivalentes de ácido gálico para Capulí con pepa, sin pepa y aguaymanto respectivamente, considerando que son valores altos a comparación de la investigación, la cual indica que en frutos frescos siempre se obtendrán valores altos a comparación de los productos procesados.

Por último en el caso de carotenoides, se hace mención en las investigaciones Obregón La Rosa y Lozano Zanelly (2021), donde indica que se realizaron investigaciones de los componentes con las que cuenta el aguaymanto y el quito quito, considerando que presentaron mayor cantidades de compuestos bioactivos en fruto fresco motivo por la cual se observaron que en vitamina C (43,1 y 30,1 mg/100 g, respectivamente), polifenoles totales (62,93 y 67,24 mg ácido gálico/100 g, respectivamente) y carotenoides totales (0,8 y 0,74 mg β -caroteno/100 g, respectivamente) cuentan con valores altos, esto se interpreta y genera un respaldo a los otros antecedentes que es adecuado consumir el producto en fruto fresco.

Según Malpartida Yapias et al. (2022) indica que los compuestos bioactivos de la mashua amarilla es de 10,51 mg de ácido gálico/g de muestra que corresponde a polifenoles totales, en caso de capacidad antioxidante es de $13,7 \pm 0,682 \mu\text{M}$ trolox/100g.; estos datos fueron considerados por el análisis realizado al producto, a través del método DPPH y ABTS; en comparación con la investigación realizada se podría considerar que se incrementa los compuestos fenólicos en la bebida funcional, esto gracias al aporte que genera el aguaymanto.

Sobre las concentraciones de los insumos en algunos casos son uno de los factores que influyen en las concentraciones de los compuestos bioactivos, como es el caso de Ticsihua Huaman y Orejon Montalvo (2022) indica que utilizó la concentración de 50% de agua y 25% de tuna blanca y 25% de aguaymanto, obteniendo como resultados $783,52 \mu\text{mol}$ de trolox por 100 ml de muestra, compuestos fenólicos totales 254,15 mg ácido gálico por 100 ml, vitamina C 20,25 mg/100g, acidez 0,58 g /100ml, pH 6.1, sólidos solubles 12,50 °Brix, fibra cruda 1.8 g/100 ml, proteína 4,65 g/100 ml y cenizas 1.70 g/100 ml; haciendo la comparación con la investigación se podría deducir que a pesar de tener mayor

cantidad de aguaymanto en la bebida los valores obtenidos en compuestos fenólicos, vitamina C y carotenoides son bajos, podría considerarse que el incremento que describe Ticsihua Huaman y Orejon Montalvo (2022) es generada por la tuna.

Sobre la metodología de superficie de respuesta se podría considerar que según Torres Gutiérrez (2024) indica que realizó 11 formulaciones a través del diseño de superficie de respuesta DDC optimizando la cantidad de azúcar que sea reemplazado por stevia entre el 40% a 60% y la dilución de fruta: agua en relación de 1 a 2,5, optimizando y teniendo como resultados 51,49% de stevia y una dilución de fruta: agua de 1: 1,02, esta optimización ayudó a obtener vitamina C de 858,74 mg de ácido ascórbico/100 ml de muestra y una capacidad antioxidante de 0,201 mm. equivalente trolox; haciendo la comparación con la investigación se podría considerar que de igual forma se puede optimizar los procesos de formulación como también la incorporación de algún otro ingrediente en la bebida, pero en caso de los resultados acerca de vitamina C es más alto a comparación con la investigación.

Además Chagua-Rodríguez (2023) menciona que una bebida que tenga parámetros óptimos como el de contar con 50% de lactosuero fermentado, 40% de jugo de aguaymanto y 10% de jugo de tumbo, estas combinaciones obtuvieron contenidos máximos en relación a compuestos bioactivos, estos fueron de $343,54 \times 10^{-5}$ kg (GA) kg⁻¹ (fenólicos totales), $0,52 \times 10^{-3}$ kg (CE) kg⁻¹ (flavonoides totales), $65,41 \times 10^{-5}$ kg (AA) L⁻¹ (Vitamina C), y 105×10^{-3} kg (Trolox) kg⁻¹ (capacidad antioxidante); comparado con la investigación se podría deducir que los valores de la bebida funcional cuentan con valores bajos a comparación con lo descrito en el presente párrafo.

Según el estado de madurez del aguaymanto se podría considerar según Ramos et al. (2021) que vitamina C de 28.21 y 25.83 mg/100 g y carotenoides de 3.04 y 4.23 mg equivalente de β -Caroteno/100 g, esto varía según el estado de madurez de, considerando que hubo una disminución mínima, el cual se podría considerar

que no sería uno de los factores que una bebida a base de aguaymanto pueda disminuir sus propiedades.

La mashua es una fuente importante de compuestos fenólicos que ofrecen al producto una elevada capacidad antioxidante, considerando que la bebida elaborada con mashua y piña tiene un aproximado del 50% de los componentes activos en comparación a los componentes iniciales de cada fruta (Feliciano-Muñoz et al., 2021); en comparación con la investigación se podría considerar que las disminuciones de los componentes no fueron determinados porque no se realizaron análisis a la materia prima, y solo se realizó al producto final, considerando según lo descrito, que sí hubo una reducción de las propiedades nutricionales de la mashua y aguaymanto; sobre los compuestos fenólicos, según Huaccho Huamán (2016) indica que la genética, la temporada de cosecha y las condiciones geográficas y ambientales pueden influir significativamente en el contenido de metabolitos secundarios de las plantas, que podría considerar como una de las causas que podrían haber influido en el contenido de compuestos fenólicos o la disminución en algunos casos.

La mashua en sus diversas coloraciones cuentan con distintos componentes como lo describe en la investigación Ccallata Mendoza (2019), en la cual indica que en polifenoles totales fueron: Mashua negra: 328.03 mg EAG Gálico/100 g, Mashua roja: 192.10 mg EAG/100 g, Mashua amarillo jaspeado: 38.73 mg EAG/100 g. Los resultados de la cuantificación de Vitamina C fueron: Mashua amarillo jaspeado: 151.297 mg/100g, Mashua roja: 113.209 mg/100g, Mashua negra: 72.315 mg/100g. Los resultados de la cuantificación de β - caroteno fueron: Mashua amarillo jaspeado: 4.882 mg/100g, Mashua roja: 1.879, mg/100g, Mashua negra: 1.601 mg/100g; estos resultados en comparación a los resultados de la investigación se considera que en polifenoles, vitamina C y carotenoides son muy bajos, esto gracias a que la mashua no fueron transformadas o que hayan sufrido alteraciones por algún tratamiento térmico, como es en el caso de la bebida funcional, por eso se observa que hay disminución en los resultados de la bebida.

También se considera que el almacenamiento altera las composiciones de las mashua, como lo mencionan Gómez Mamani et al. (2021), donde los polifenoles de una mashua fresca fueron de 24,90 y 15,89 mg AGE.g⁻¹ los cuales se reducen a 15,93 y 4,89 mg AGE.g⁻¹ porque fueron almacenados por 40 días, como también se realizaron análisis en vitamina C, las cuales no tuvieron ninguna alteración; en caso de la investigación no se realizó el análisis de frescura o análisis de la materia prima que se utilizó, porque puede haber sido que se utilizó mashuas almacenadas con bajos componentes polifenoles y eso causó que los resultados de la bebida funcional sean bajos.

Según investigación de Cortez Báez (2016) indica que la bebida más óptima fue la del tratamiento 5 que contiene (Stevia + goma xanthan 0.1% + materia prima de mashua), el cual presenta con vitamina C (16.5 mg/100 ml), Fósforo (15,87 mg/100 ml), calcio (2,76 mg/100 ml) y hierro (0.35 mg/100 ml), considerando que se continuó con las evaluaciones y la bebida fue evaluada a los 23 días, resultando la reducción del 24 % en vitamina C en comparación al contenido inicial.

Sobre el consumo de productos que cuenten con alternativas nutritivas y novedosas, como lo menciona Villacrés et al. (2004) se considera que a través del desarrollo y/o la adaptación de procesos agroindustriales, se pretende mejorar la calidad, la aceptabilidad y prolongar la vida útil de los tubérculos y raíces, esto con el objetivo de aliviar el hambre y la manufactura, en caso de la investigación se podría deducir que la bebida funcional es una alternativa que busca aprovechar las nuevas oportunidades para ingresar en el mercado y a la vez brindar un producto alternativo para se logre aprovechar las propiedades de los tubérculos que no son agradables consumirlo solo.

Por ese motivo, hay muchas investigaciones que respaldan el uso de insumos distintos para poder aprovechar sus propiedades y lograr formular un producto nuevo aprovechando sus propiedades nutricionales y lograr ingresar al mercado con nuevas alternativas que beneficien al consumidor como al agricultor, por ello se podría deducir que es importante la optimización de las formulaciones para

poder obtener bebidas con mininos procesos que sean desperdiciados y que al consumidor le agrade.

Pero tomando en cuenta que los frutos en algunos casos son difíciles de conservar y de consumir, en caso de estar consumiendo varios aguaymantos genera un hostigamiento y prefieren no consumirlo, por eso que una de las alternativas es obtener un producto derivado que se pueda contar con una vida útil más larga a comparación de las frutas frescas que se pueden deteriorar en una semana si no son conservadas adecuadamente.

En ese sentido, los resultados obtenidos de la bebida funcional no fueron lo suficiente para poder determinar que la bebida sea considerada como funcional, sin embargo, la importancia de los resultados radica en su optimización, el cual nos ayudó a que se disminuyan procesos para formular una bebida que sea aceptada por la mayoría de los consumidores.

En este caso se sugiere que profundizar en la investigación de las propiedades del aguaymanto y mashua amarilla, considerando que se deben de realizar análisis a los productos antes de iniciar con el proceso como finalizando para poder determinar cuáles son los motivos de la disminución de sus propiedades o es que al mezclar la mashua con el aguaymanto no se genera sinergia y eso ocasiona que sus propiedades se pierdan, a la vez también se recomienda que se realicen otros análisis como antioxidantes, fibras, proteínas y entre otros; para ver si cuenta con algunas propiedades en porcentajes altos a comparación de los resultados obtenidos, ya que se deduce que los resultados no pueden indicar que la bebida es una bebida funcional.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y REFLEXIONES

4.1 Conclusiones

La bebida fue optimizada al utilizar los porcentajes de aguaymanto (50-60%) y mashua amarilla (30-40%), ya que estos datos ayudaron a obtener los 10 tratamientos, estos tratamientos fueron evaluados por consumidores quienes respondieron las encuestas en relación a sabor, acidez y aceptación general. Los datos obtenidos de la encuesta ayudaron a obtener la bebida optimizada que corresponde a tener las proporciones adecuadas de mashua amarilla y aguaymanto, que en este caso corresponde a aguaymanto 50.36% y mashua amarilla 33.60%; las proporciones ayudan a que se formule una nueva bebida que es considerada como la bebida optimizada porque tiene parámetros resultados de los resultados estadísticos.

En base a las discusiones realizadas, la bebida no se podría considerar que fue una bebida funcional ya que cuenta con pocos análisis realizados a la bebida, pero eso no quiere decir que no podría ser considerado como una bebida funcional; en caso de la optimización también se observó que utilizan otros parámetros para obtener una bebida óptima, que indica que la optimización de una bebida puede ser identificada por distintos factores según se requiera por el investigador.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda a todos los consumidores de bebidas naturales y que les guste la revaloración de los productos de la sierra, el consumo de la bebida ya que cuenta con ingredientes naturales y con valores similares a los productos frescos, el consumo puede aportar en el desgaste físico o también para un día normal que generen desgaste mental.

A la organización de la salud y al estado Peruano a invertir en investigaciones que utilicen recursos naturales y que se aproveche sus propiedades, a la vez, lograr que los agricultores cuenten con una alternativa para incrementar ingresos al vender en mayor cantidad sus productos; en caso de la distribución y consumo de la bebida, se recomienda que pueden consumir de distintas edades como

niños, adolescentes, adultos o personas mayores; esto con la finalidad de que si el estado financia estos proyectos se pueden otorgar gratis la bebida a las personas de escaso recurso como una alternativa de alimentación.

A los estudiantes de pregrado de la Universidad Nacional de Huancavelica, a que no se solo realicen investigaciones, sino que emprendan, creen su propia empresa a raíz de lo que descubrieron y que realicen más análisis a los productos a obtener con la finalidad de tener un respaldo y lograr obtener permisos y la aceptación del consumidor. Por último, la bebida no reemplaza el consumo de alimentos ni frutas sino es una alternativa que se propone para que las personas puedan acceder y conservar el producto por más tiempo.

4.3 Reflexiones

Los investigadores deben de realizar más pruebas relacionadas a obtener parámetros óptimos y que se realicen otros análisis a la bebida como a otros productos que se quiera evaluar con el sistema Statgraphics, o superficie de respuesta; ya que las pruebas ayudan a obtener más experimentos erróneos y eso de alguna u otra forma ayuda a lograr parámetros óptimos que sean mejores y de igual manera sean aceptados por los consumidores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arteaga-Cano, D., Chacón-Calvo, L., Samamé-Herrera, V., Valverde-Cerna, D., & Paucar-Menacho, L. M. . (2022). Mashua (*tropaeolum tuberosum*): Composición nutricional, características químicas, compuestos bioactivos y propiedades beneficiosas para la salud. *Agroindustrial Science*, 12(1), 95-101. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2022.01.12>
- Biopat. (2015). *Aguaymanto Physalis peruviana*. Comisión Nacional contra la Biopiratería. <http://hdl.handle.net/11724/4357>
- Box, G. E. P., & Draper, N. R. (1987). *Empirical model-building and response surfaces*. John Wiley & Sons.
- Briones Encinia, F. & Martínez Garza, Á. (2002). Eficiencia de algunos diseños experimentales en la estimación de una superficie de respuesta. *Agrociencia*, 36(2), 201-210. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236207>
- Calua Sánchez, C. O., & Vásquez García, F. J. (2017). *Factores que limitan la producción de aguaymanto orgánico en la región Cajamarca, para su comercialización como snack de fruta orgánica deshidratada en el mercado de Finlandia para el año 2017* [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/11210>
- Castillo Apaza, W. C. (2022). *Determinación de hierro total, polifenoles y actividad antioxidante, del extracto de Prunus Serotina "Capulí" y "Physalis Peruviana" aguaymanto* [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María]. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/11874>
- Ccallata Mendoza, S. N. (2019). *Cuantificación de las sustancias antioxidantes, y Evaluación de la capacidad antioxidante de Tropaeolum tuberosum (Mashua) en sus cultivares negro, rojo y amarillo jaspeado de Ocongate, Cusco- Perú* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/3667>
- Chacon Cisa, O. (2019). *Efecto de la densidad de siembra en el rendimiento de mashua (tropaeolum tuberosum) CV. Yana Añu en la región natural Suni – Cusco* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].

<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9924>

Chagua-Rodríguez, P., Malpartida-Yapias, R. J., Torres-Gutiérrez, E. R., Quispe-Santivañez, G. W., Linares, G., & Rojas, M. L. (2023). Development of a functional beverage based on fermented whey, goldenberry (*Physalis peruviana* L.), and tumbo (*Passiflora mollissima*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 76(3), 10505-10516.
<https://doi.org/10.15446/rfnam.v76n3.105693>

Contreras Lujan, E. K. (2019). *Optimización de la bebida funcional a partir de aguaymanto (Physalis peruviana) y Mashua amarilla (Tropaeolum tuberosum) utilizando el método de superficie de respuesta* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Huancavelica].
<http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2979>

Cortez Báez, A. Y. (2016). *Estudio del tiempo de conservación de una bebida nutracéutica a partir de mashua tropaeolum tuberosum* [Tesis de grado, Universidad Técnica del Norte].
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5968>

Díaz-Godínez, G. (2015). Fungal bioactive compounds en Gupta, V. K., Tuohy, M. G., O'Donovan, A., & Lohani, M. (Eds.). *Biotechnology of bioactive compounds: sources and applications* (pp. 195-223). John Wiley & Sons.
<https://doi.org/10.1002/9781118733103.ch8>

Feliciano-Muñoz, O., Robles-Calderón, R., Chirre-Flores, J. H., Santisteban-Rojas, O., Feliciano-Nishikawa, J. C., & Florez-Ponce de León, W. D. (2021). Identificación de los principios activos de la mashua negra (*Tropaeolum tuberosum*) y el efecto del proceso de elaboración de una bebida mix de mashua con piña. *Ingeniería Industrial*, 40(40), 171-190.
<https://doi.org/10.26439/ing.ind2021.n40.5150>

García Dihigo, J. (2006). *Metodología Investigación para administradores* (1ª ed.). Ediciones de la U.

Gil Martínez, C. (2019). *Metodología de superficie de respuesta (RSM)*. RPubs.
<https://cutt.ly/1eUuvchJ>

Gómez Mamani, R., Arias Escobar, J., Machaca Yana, J., & Velásquez Ccosi, P. F.

- (2021). Compuestos funcionales en dos accesiones de *Tropaeolum Tuberosum* durante el almacenamiento. *Ingeniería Investiga*, 3(2), 3–15. <https://doi.org/10.47796/ing.v3i2.527>
- Guerrero Larreátegui, L. A. & Rojas Espinoza, J. C. (2017). *Adaptación y rendimiento de cinco ecotipos de aguaymanto (physalis peruviana l.) en la parte media del Valle Chancay, Lambayeque* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12893/1041>
- Huaccho Huamán, C. V. (2016). *Capacidad antioxidante, compuestos fenólicos, carotenoides y antocianinas de 84 cultivares de mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz y Pavón)* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2844>
- Huaraca Aparco, R., Casas Paz, F. G., Tapia Tadeo, F., Delgado Laime, M. D. C., Cahuana Lipa, R., & Machaca Mamani, J. C. (2023). Compuestos fenólicos y actividad antioxidante en una bebida funcional. *Revista Alfa*, 7(19), 218–231. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i19.211>
- Inkanat. (s.f.). *Aguaymanto andino: alto contenido de provitamina A*. <https://cutt.ly/FeUt56Tp>
- Instituto de Desarrollo y Medio Ambiente [IDMA] (2016). *Manual técnico de producción agroecológica de aguaymanto*. <https://cutt.ly/1eUoTcpi>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2012). *Perú: consumo per cápita de los principales alimentos 2008-2009. Encuesta Nacional de Presupuestos familiares*. <https://cutt.ly/eeUoWtOk>
- Izquierdo Polo, J. E. (2013). *Estudio de la factibilidad para la creación de una empresa productora y distribuidora de néctar de mashua embotellada ubicada en la ciudad de Quito* [Tesis de licenciatura, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6251>
- Malpartida Yapias, R. J., Adama Astete, J., Cajachagua Uscuchagua, Y., & Rosales Sánchez, M. C. (2022). Características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos en tres variedades de Mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz y Pavón): Una revisión. (2022). *Revista Tecnológica - ESPOL*, 34(2), 41-51. <https://doi.org/10.37815/rte.v34n2.891>

- Márquez Dávila, M. A. (2018). *Potencial agronómico en accesiones de mashua (Tropaeolum tuberosum Ruiz y Pav.) del Perú, cultivados en la localidad de Monte Azul - Kichki - Huánuco* [Tesis de grado, Universidad Nacional Hermilio Valdizán]. <https://hdl.handle.net/20.500.13080/4513>
- Morales, M. C., & Sanchez-Mata, C. (25 de febrero de 2015). *Importancia de la presencia de compuestos bioactivos en los vegetales*. Interempresas. <https://cutt.ly/neUy4KWr>
- Ñaupas Paitán, H., Valdivia Dueñas, M. R., Palacios Vilela, J. J. & Romero Delgado, H. E. (2014). *Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis* (5ª ed.). Ediciones de la U.
- Obregón La Rosa, A. J., & Lozano Zanelly, G. A. (2021). Compuestos nutricionales y bioactivos de tres frutas provenientes de la sierra y la selva de Perú como fuente potencial de nutrientes para la alimentación humana. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 22(2). https://doi.org/10.21930/RCTA.VOL22_NUM2_ART:1835
- Oro Beltrán, J. B. & Urcia Piedra, S. M. (2018). *Formulación de una bebida funcional a base de pulpa de aguaymanto (physalisperuviana) y camu camu (myrciaria dubia) edulcorado con stevia* [Tesis de grado, Universidad Nacional del Santa]. <https://hdl.handle.net/20.500.14278/3085>
- Paladino, S. C. (2008). *Actividad antioxidante de los compuestos fenólicos contenidos en las semillas de la vid (Vitis vinifera L.)* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Cuyo]. <http://bdigital.uncu.edu.ar/2627>
- Paucar Anasi, S. (2014). *Composición química y capacidad antioxidante de dos variedades mashua (tropaeolum tuberosum): amarilla chaucha y zapallo*. [Tesis de licenciatura]. Universidad Tecnológica Equinoccial.
- Piña, M. R., Rodríguez, M. A., & Benavides, E. M. (2015). Metodología robusta para superficies de respuestas. *Cultura Científica Y Tecnológica*, (12). <https://erevistas.uacj.mx/ojs/index.php/culcyt/article/view/530>
- Ramos, M. E., Matos, A. M., Espinoza, N. M., & Jordán, O. B. (2021). Parámetros de tratamiento por aire caliente en la conservación del aguaymanto (Physalis peruviana) en dos estados de madurez. *Revista De investigación*

- Agropecuaria Science and Biotechnology*, 1(2), 42–55.
<https://doi.org/10.25127/riagrop.20212.677>
- Saludeo. (22 de marzo de 2022). *Propiedades y beneficios del aguaymanto*.
<https://cutt.ly/eeUyrYzh>
- Sánchez, M., Laca, A., Laca, A., & Díaz, M. (2021). Value-added products from fruit and vegetable wastes: a review. *CLEAN–Soil, Air, Water*, 49(8), 2000376. <https://doi.org/10.1002/clen.202000376>
- Sandoval Ordinola, P. J., & Zevallos Barro, G. B. (2023). *Diseño de una planta procesadora de mermelada de aguaymanto (Physalis peruviana) y Panela orgánica para determinar su rendimiento productivo en la provincia de Piura* [Tesis de grado, Universidad Privada Antenor Orrego].
<https://hdl.handle.net/20.500.12759/10060>
- StatPoint. (2006). *Diseño de experimento - Diseño de superficie de respuesta*.
<https://cutt.ly/deUu7Yul>
- Ticsihua Huaman, J., & Orejon Montalvo, T. Y. (2022). Evaluación del efecto de concentración en una bebida funcional a partir de tuna blanca (*Opuntia ficus*) y aguaymanto (*Physalis peruviana*). *Revista Alfa*, 6(18), 383–392.
<https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v6i18.175>
- Torres Gutiérrez, E. R. (2024). *Optimización de la formulación de néctar a base de aguaymanto reducido de azúcar por stevia utilizando metodología de superficie respuesta* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Huancavelica].
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/10782>
- Villacrés, E., Brito Grandes, B., & Espín, S. (2004). Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador Alternativas agroindustriales con raíces y tubérculos andinos en V. H. Barrera, C. G. Tapia & Monteros A. R. *Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)* (pp. 117-142).
<http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3265>
- Yepes, V. (19 de abril de 2016). *¿Qué es la metodología de la superficie de respuesta?*. Universitat Politècnica de Valencia. <https://cutt.ly/YeUuWTi2>

ANEXOS



Fotografía 1
Recepción de aguaymanto



Fotografía 2
Recepción de mashua amarilla



Fotografía 3
Pelado de aguaymanto



Fotografía 4
Pelado y lavado de mashua amarilla y aguaymanto



Fotografía 5
Pesado de aguaymanto



Fotografía 6
Pesado de mashua amarilla



Fotografía 7
Añadiendo la materia prima



Fotografía 8
Añadiendo los insumos para la bebida



Fotografía 9
Medición de °Brix



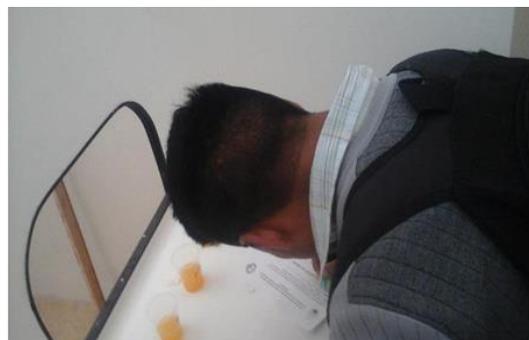
Fotografía 10
Titulación de la acidez



Fotografía 11
Medición de pH



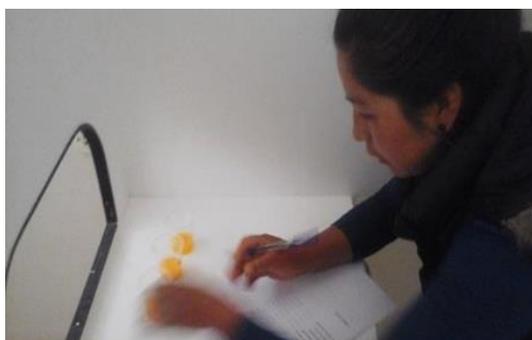
Fotografía 12
Codificación de las muestras a analizar



Fotografía 13
Evaluación sensorial de la bebida



Fotografía 14
Evaluación sensorial de la bebida



Fotografía 15
Evaluación sensorial de la bebida



Fotografía 16
Muestra

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

**Evelin Karina Contreras
Lujan**



Ingeniera Agroindustrial por la Universidad Nacional de Huancavelica, con una destacada trayectoria en el ámbito de la Propiedad Intelectual e Innovación. Posee amplios conocimientos en la elaboración de proyectos de inversión pública y privada, así como una sólida experiencia en la realización de capacitaciones y talleres en temas relacionados con propiedad intelectual. Además, se especializa en la implementación de Buenas Prácticas de Manufactura y la transformación de materia prima.

Alfonso Ruiz Rodriguez



Ingeniero en Industrias Alimentarias por la Universidad Nacional del Centro del Perú, adscrito al Departamento Académico de Ciencias Agrarias, con el grado de Doctor en Administración por la misma universidad. Además, es Maestro en Investigación y Docencia Superior por la Universidad Nacional de Huancavelica. Actualmente, se desempeña como profesor asociado de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial en la Universidad Nacional de Huancavelica

Este libro se terminó de publicar en la editorial

**Instituto Universitario
de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú**

INUDI PERÚ



INSTITUTO UNIVERSITARIO DE INNOVACIÓN
CIENCIA Y TECNOLOGÍA

ISBN: 978-612-5130-50-1



9 786125 130501