



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

**UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN ALIMENTOS**

“DESARROLLO DE PRODUCTOS TIPO DANGO CON HARINA DE PAPA”

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERA EN ALIMENTOS

Autor:

EMILIA VÁZQUEZ YÉPEZ

Director:

BOLÍVAR ANDRÉS PÉREZ GONZÁLEZ

CUENCA, ECUADOR

2026

Dedicatoria

A mis padres José y Zamira, por ser mi refugio seguro y la fuente inagotable de mis sueños. Gracias por cada sacrificio, por su infinita paciencia y por la fe inquebrantable que depositaron en mí en cada etapa de este camino. Este logro es, sin duda alguna, el reflejo directo de su amor y dedicación. Siempre les estaré eternamente agradecida.

A mi hermano menor, Joaquín. Gracias por ser mi mayor inspiración y mi cable a tierra. Escribir esta tesis me enseñó que el esfuerzo vale la pena, pero ver tu crecimiento día a día me enseñó a no rendirme jamás. Espero ser para ti el mismo ejemplo que tú eres para mí, mi orgullo más grande siempre será ser tu hermana.

A mi Sofí, mi pequeña y peluda compañera de cuatro patas. Por ser mi dulce compañía de noche y de día cuando el mundo se me venía encima y por recordarme, con un simple movimiento de cola, una lamida y su naricita húmeda, lo verdaderamente importante de la vida. Gracias por estar siempre a mi lado. 🐾

In Memoriam

En honor a mi abuelito Arturo, quien, en espíritu y alma, me ha acompañado en cada paso del camino, su amor continúa guiándome, y su bondad dejó una huella en mí que seguiré tratando de transmitir en todas las acciones que tome.

Agradecimientos

Primero, agradecer a Dios, porque gracias a él, he logrado todo, por darme la vida, la sabiduría y la salud necesarias para alcanzar este logro profesional. Gracias por sostenerme en los momentos de dificultad y bendecir cada uno de mis pasos, y por ponerme donde debía estar, cuando debía estarlo, y por permitirme conocer a tanta gente maravillosa.

A mi tutor, el Ingeniero Andrés Pérez por su infinita paciencia y su buena voluntad, porque a pesar de todo, supo guiarme y ayudarme siempre que lo necesité, no solo en la tesis, sino durante toda mi carrera; y a mi tribunal el Doctor Diego Suarez por su cariño de padre y sus palabras de aliento en todo momento de mi vida universitaria.

Agradecer a mis padres y hermano por ser mi fuerza y mi salvavidas en mis peores y mejores momentos, por no dejarme nunca y por su fe incondicional en que lo iba a lograr, tarde o temprano, gracias a mi papá José por su cariño e inmensa sabiduría, a mi mamá Zamira, por ser mi fuerza innegable, y por siempre transmitirme la confianza que me faltaba, y a mi hermano Joaquín, por ser mi motivo para levantarme todos los días y mi mayor adoración desde que tengo 3 años.

A mis amigos y ahora hermanos que la vida me dio Bella, Álvaro, Belén, por ser lo mejor que me ha dejado la universidad, gracias por ser esa lucecita que aparecía cuando ya sentía que la oscuridad estaba muy pesada; y gracias a la familia de mi mejor amiga, que siempre me hizo sentir en casa, que siempre supo sacarme una sonrisa y en donde nunca me faltó un abrazo lleno de cariño, gracias Tanita, tía Bolita y Majito, por tanto.

Y a mi amigo José, por estar siempre, en todas las etapas incondicionalmente a mi lado, por cada desvelada de risa o de llanto, pero siempre ahí.

Gracias a cada uno de mis docentes, inge Mariali, inge Suarez, inge Andrés, doc Caroca, inge Geovanny, inge Moni, doc Marco, inge Fer, inge Carlos, Lau, Nico, Solcito por enseñarme y transmitirme no solo sus conocimientos, sino por mostrarme que ser una buena persona, es el mayor regalo que nos deja la universidad y la vida.

Por último, pero no menos importante, a mis compañeros de ciclo y de carrera, mi segunda familia, Dani, Pablito, Daysi, Mica y Sebas, gracias por compartir conmigo los que fueron mis mejores años de estudio, siempre los llevaré en mi corazón, y espero verlos triunfando cada día de sus vidas. Gracias Owen por apoyarme tanto en todo, por ser mi soporte emocional y el mejor vicepresidente que pude haber tenido, les adoro con mi alma.

Índice de contenidos

RESUMEN	9
ABSTRACT.....	10
INTRODUCCIÓN	11
GENERALIDADES DEL ARROZ GLUTINOSO (<i>ORYZA SATIVA VAR. GLUTINOSA</i>).....	14
LOS DANGOS	15
LA PAPA	17
EL DSC	18
MEMBRILLO.....	19
COLORIMETRÍA	20
EL TEXTURÓMETRO	21
MODELOS REOLÓGICOS.....	22
FUNCIONES DE UTILIDAD Y DESEABILIDAD.....	23
TRANSFORMACIÓN EXPONENCIAL DE VARIABLES.....	24
CAPÍTULO II	26
METODOLOGÍA	26
<i>ELABORACIÓN DE LOS DANGOS</i>.....	26
DANGO DE CONTROL.....	29
<i>Elaboración de las mermeladas y extracción de los pigmentos</i>.....	29
GRADOS BRIX EN MERMELADA DE FRUTILLA Y CORTADOS DE	
MEMBRILLO.....	30
COLORIMETRÍA.....	31
DISEÑO FACTORIAL 2x	31
CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC).....	32
TEXTURÓMETRO.....	33
EL DSC	36
DANGO CONTROL	40
RESULTADOS DE LA MUESTRA DEL DANGO REFERENCIAL.....	40
TEXTURA.....	41
DISEÑO EXPERIMENTAL	44
ANÁLISIS ESTADÍSTICO	45
DISEÑO EXPERIMENTAL CON RESPUESTA FUERZA DE GEL.....	45
<i>Diagrama de Pareto Fuerza de Gel</i>.....	45
<i>Ecuación de regresión (Polinomio) Fuerza de Gel</i>.....	47
DISEÑO EXPERIMENTAL CON RESPUESTA FUERZA DE RUPTURA.....	47
<i>Diagrama de Pareto Fuerza de Ruptura</i>	47

<i>Ecuación de regresión (Polinomio) Fuerza de Ruptura</i>	49
DIAGRAMA DE PARETO ADHESIVIDAD	49
ECUACIÓN DE REGRESIÓN (POLINOMIO) ADHESIVIDAD	51
DISEÑO EXPERIMENTAL CON RESPUESTA FUNCIÓN DE DESEABILIDAD	51
<i>Diagrama de Pareto Deseabilidad</i>	51
ECUACIÓN DE REGRESIÓN (POLINOMIO) DESEABILIDAD	52
COLORIMETRÍA	53
PIGMENTO DE REMOLACHA (R)	55
PIGMENTO DE NABO (N)	55
SATURACIÓN E INTENSIDAD (CHROMA)	55
CARACTERIZACIÓN DE LA MERMELADA Y EL CORTADO DE MEMBRILLO	56
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

Índice de Figuras

Figura 1: Estructura del grano de arroz.....	14
Figura 2: Dangos en sus diferentes presentaciones.....	16
Figura 3: Diagrama de Procesos De Los Dangos	26
Figura 4: Continuación del diagrama de Procesos De Los Dangos	28
Figura 5: Termograma harina de arroz glutinoso	36
Figura 6: Termograma almidón de papa nativo.....	37
Figura 7: Termograma almidón de papa acetilado.....	39
Figura 8: Diagrama de Pareto Fuerza de Gel	45
Figura 9: Diagrama de Pareto Fuerza de Ruptura.....	48
Figura 10: Diagrama de Pareto Adhesividad	49
Figura 11: Diagrama de Pareto Deseabilidad.....	51
Figura 12: Colorímetro Lovibond utilizado para el análisis.....	54

Índice de Anexos

Anexo 1: Análisis de la Varianza Fuerza de Gel.....	64
Anexo 2: Coeficientes codificados Fuerza de Gel.....	65
Anexo 3: Análisis de la varianza Fuerza de Ruptura	65
Anexo 4: Coeficientes codificados Fuerza de Ruptura	66
Anexo 5: Análisis de la varianza Adhesividad.....	67
Anexo 6: Coeficientes codificados Adhesividad.....	68
Anexo 7: Análisis de la Varianza Deseabilidad	68
Anexo 8: Coeficientes codificados Deseabilidad	69

“DESARROLLO DE PRODUCTOS TIPO DANGO CON HARINA DE PAPA”

Resumen

Esta investigación aborda la "ecuatorianización" de los dangos, un postre tradicional japonés, adaptándolos a la realidad agrícola y económica de Ecuador. El problema central radica en que la elaboración tradicional requiere harina de arroz glutinoso importada, lo que eleva los costos; la sustitución por harina de papa local (producida en Azuay y Cañar) permite un ahorro del 50% en materia prima.

El estudio propone el uso de almidón de papa nativo y acetilado para replicar la textura "chiclosa" característica del arroz glutinoso. Además, busca eliminar el uso de colorantes y saborizantes artificiales, vinculados a problemas de salud como el TDAH, sustituyéndolos por pigmentos naturales extraídos de la remolacha y el nabo, y sabores provenientes de mermelada de frutilla y dulce de membrillo.

Metodológicamente, se utilizó un diseño experimental factorial 2^3 para evaluar el efecto de distintas proporciones de almidón sobre la textura del gel. Se emplearon herramientas de alta precisión como la calorimetría diferencial de barrido (DSC) para la estabilidad térmica y un texturómetro (TA.XT Plus) para medir parámetros de dureza, adhesividad y fuerza de gel.

Los resultados demostraron que la sustitución es técnicamente viable. El lote M4 destacó por su similaridad al dango de arroz, logrando la consistencia pegajosa deseada, mientras que el lote M2 mostró la mayor estabilidad mecánica. En cuanto a la colorimetría, los pigmentos naturales de nabo y remolacha alcanzaron niveles de saturación adecuados para cumplir con la estética tradicional del hanami dango. Finalmente, se concluye que el producto no solo es económicamente competitivo, sino que promueve la soberanía alimentaria y el concepto de "etiqueta limpia".

Palabras clave: Dango, harina de papa, almidón acetilado, Análisis de Perfil de Textura (TPA), Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC), pigmentos naturales, funciones de deseabilidad, reología, innovación alimentaria

Abstract

This research addresses the "Ecuadorianization" of dangos, a traditional Japanese dessert, adapting them to Ecuador's agricultural and economic realities. The central problem lies in the fact that traditional preparation requires imported glutinous rice flour, which increases costs; substituting it with local potato flour (produced in Azuay and Cañar) allows for a 50% savings in raw materials.

The study proposes the use of native and acetylated potato starch to replicate the characteristic "chewy" texture of glutinous rice. Furthermore, it seeks to eliminate the use of artificial colorings and flavorings, linked to health problems such as ADHD, replacing them with natural pigments extracted from beets and turnips, and flavors derived from strawberry jam and quince paste.

Methodologically, a 2^3 factorial experimental design was used to evaluate the effect of different starch proportions on the gel's texture. High-precision tools such as differential scanning calorimetry (DSC) were used for thermal stability, and a texturometer (TA.XT Plus) was used to measure hardness, adhesiveness, and gel strength parameters.

The results demonstrated that the substitution is technically feasible. Batch M4 stood out for its similarity to rice dango, achieving the desired sticky consistency, while batch M2 showed the greatest mechanical stability. Regarding colorimetry, the natural pigments from turnip and beet reached saturation levels suitable for meeting the traditional aesthetic of hanami dango. Finally, it is concluded that the product is not only economically competitive but also promotes food sovereignty and the "clean label" concept.

Key Words: Dango, potato flour, acetylated starch, Texture Profile Analysis (TPA), Differential Scanning Calorimetry (DSC), natural colorants, desirability functions, rheology, food innovation

Introducción

En la actualidad, la industria alimentaria y las tendencias de consumo globalizadas han facilitado la adaptación de preparaciones internacionales a las realidades locales. En el caso de Ecuador, y de manera notable en ciudades grandes como Quito, Guayaquil y Cuenca, se observa un fenómeno de apropiación cultural y simbiosis respecto a los productos asiáticos en los últimos años. Cuenca se ha consolidado como una de las tres ciudades con mayor demanda de sushi y comida japonesa en el país, experimentando un incremento en el consumo en estos últimos años. (OnData , 2025)

Este auge ha dado lugar a una especie de fusión gastronómica, donde ingredientes locales como el plátano maduro, el ceviche, el queso, entre otros, se incorporan a platillos tradicionales de la cocina asiática, y se manifiesta en eventos como el festival “Japón en Cuenca”, que busca mostrar gastronomía, películas y elementos tradicionales de la cultura japonesa en la ciudad. (CMV, 2022). Sin embargo, esta popularidad también ha fomentado una adopción superficial impulsada por la influencia de las redes sociales, que a menudo ignoran el significado y contexto original de estos elementos tradicionales, y lo hacen ver más como un accesorio que como lo que realmente son. (Alcaldía de Cuenca, 2024).

Ahora, para poder realizar algunos de estos productos, el problema es que muchos de los insumos o materias primas son importados aumentando el precio del producto final. La elaboración tradicional de los dangos requiere harina de arroz glutinoso, un producto que no se cultiva en Ecuador y cuyo costo de importación ronda los 7 dólares por medio kilo. Frente a esto, el país posee una riqueza agrícola en productos como la papa. La harina de papa producida en provincias como Azuay y Cañar tiene un costo de apenas 3,50 dólares por medio kilo, lo que representa un ahorro del 50% y dinamiza la economía local.

Los colorantes alimentarios artificiales son sustancias químicas sintetizadas en laboratorios, principalmente a partir de compuestos derivados del petróleo. Su función fundamental dentro de la industria alimentaria es mejorar la apariencia visual de los productos procesados, proporcionando colores brillantes y uniformes que no se encuentran de forma natural. A diferencia de los colorantes naturales, que se extraen de plantas o especias, los sintéticos son los preferidos por los fabricantes debido a su bajo costo, alta estabilidad y larga vida útil.

El uso de estos aditivos se ha vuelto omnipresente en productos como dulces, refrescos, cereales para el desayuno y carnes procesadas. Se estima que el consumo de estos colorantes ha aumentado un 500% en los últimos 50 años, posicionando a los niños como el grupo de mayor exposición. La relevancia de estos aditivos en el mercado es crítica, ya que se estima que el color influye entre un 60% y 90% en la elección o rechazo de un alimento por parte del consumidor.

Uno de los pilares de la preocupación científica actual es el impacto de estos químicos en la salud pediátrica. Diversas investigaciones como las realizadas por (Equipo Medcover, 2023), (Sepulveda L., 2023), (Thurrott S., 2026), (JAMA, 2025), etc., han vinculado el consumo de colorantes artificiales con trastornos por déficit de atención e hiperactividad (TDAH), así como con otros problemas de aprendizaje y conducta. Aunque la evidencia varía según la sensibilidad individual, se ha observado que dosis acumulativas pueden provocar hiperactividad e irritabilidad en niños y adolescentes predispuestos.

Desde una perspectiva toxicológica, el consumo crónico de estos aditivos se asocia con riesgos de genotoxicidad y carcinogenicidad. Estudios en animales han vinculado colorantes específicos con el desarrollo de patologías graves; por ejemplo, el Rojo 3 se ha relacionado con tumores de tiroides, mientras que el Azul 2 ha mostrado potencial para inducir tumores cerebrales en dosis elevadas. Asimismo, sustancias como el Caramelo Clase IV, presente en refrescos de cola, son cuestionadas por el uso de amoníaco en su procesamiento.

Además de los riesgos a largo plazo, los colorantes artificiales son potentes detonadores de reacciones alérgicas e intolerancias inmediatas. El Amarillo 5 (Tartrazina) y el Amarillo 6 son conocidos por causar urticaria, asma, rinitis e incluso hinchazón en personas sensibles. Otros efectos reportados incluyen la disminución de la microbiota intestinal y alteraciones en el metabolismo de la glucosa, lo que podría derivar en estados de hiperglucemia.

Finalmente, el marco regulatorio muestra una notable falta de consenso internacional. Mientras que países como Ecuador, México, o Latinoamérica en general, permiten el uso de aproximadamente 45 colorantes, algunos de estos están estrictamente prohibidos en regiones como Gran Bretaña, Noruega o China debido a su peligrosidad. Ante este panorama, los expertos recomiendan la transición hacia una dieta basada en alimentos integrales y el uso de alternativas naturales, como la remolacha, las hojas verdes, cúrcuma, el jugo de jamaica o la

espirulina, que, a diferencia de los sintéticos, aportan beneficios adicionales como propiedades antioxidantes.

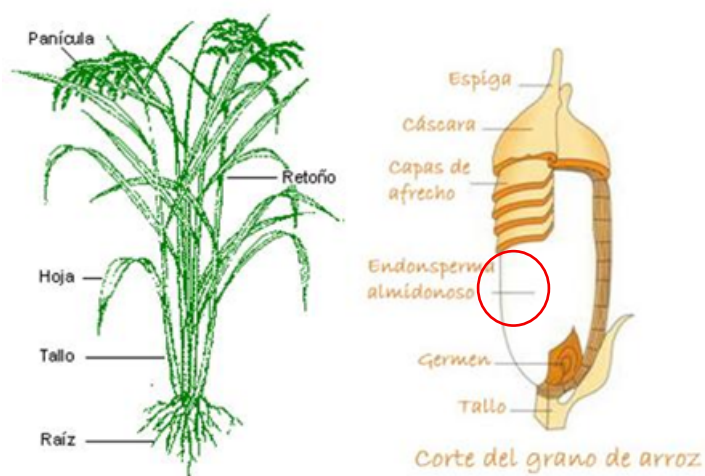
Bajo este escenario, surge la hipótesis de que es posible desarrollar un producto con características de textura similares al dango tradicional utilizando almidón de papa sea nativo o acetilado, con el objetivo final de desarrollar dangos a partir de harina de papa, para disminuir el precio de estos postres.

Capítulo I

Generalidades del arroz glutinoso (*Oryza sativa var. glutinosa*)

El arroz glutinoso, también conocido como arroz ceroso, arroz dulce o arroz de mochi es un tipo de arroz de grano corto, que una vez cocido se vuelve “chiclosa” o pegajosa, y recibe su nombre por esta razón, y no porque tiene gluten. (Purugganan, 2002). Esta variedad de arroz se cultiva en toda Asia, pero principalmente en Laos, Vietnam y Tailandia desde hace casi 2000 años; y en 1999 más del 70% del área del valle de Mekong (que cruza por China, Myanmar, Laos, Tailandia, Camboya y Vietnam), estaba cultivada con esta variedad; incluso fue utilizado como mortero en los ladrillos de la Gran Muralla China por esta cualidad de volverse pegajosa. (CHINA VIEW, 2005). Cabe recalcar, que el arroz glutinoso no contiene glutenina ni gliadina, pero lo que contiene una cantidad muy alta de amilopectina y una muy baja o nula cantidad de amilosa, y dentro de las clasificaciones del arroz, por especies, es el que más contenido de amilopectina posee (Tabla 1); este almidón se encuentra alojado en el endospermo del grano, que es la zona señalada en la figura 1, y actúan como una reserva energética de la planta. (Amagliani & O'Regan, 2016; Amagliani & O'Regan, 2016)

Figura 1: Estructura del grano de arroz



Fuente: (CultivoArrozBlog)

Las variedades que contienen una mayor cantidad de amilosa suelen dar un arroz más duro al momento de la cocción, y no tienen gran capacidad de absorción de agua, a diferencia de las

variedades altas en amilopeptina, que una vez absorben el agua, gelifican y se suavizan, siendo el caso del arroz glutinoso, como se indica en la tabla 1. (Delforge, 2001)

La amilosa es un polímero lineal de glucosas, el número de estas debe ser mayor a 10 y menor a 30 para formar las hélices levóginas de enlaces α -1,4, y en el caso de la amilopeptina, es una molécula mucho más grande, conformada por hélices de amilosa paralelas que ayudan a crear la estructura del grano. (Moran, 2019).

Tabla 1: Contenidos de amilosa y amilopeptina de diferentes arroces

Tipo de Arroz	Amilosa	Amilopeptina
Arroz Negro	16%	84%
Arroz Arbóreo	17%	83%
Arroz Bahía	18%	82%
Arroz Sènia	18%	82%
Arroz Carnaloni	22%	78%
Arroz Bomba	23%	77%
Arroz Jazmín	24%	76%
Arroz Basmati	26%	74%
Arroz Glutinoso	1-0%	99-100%
Arroz Tahibonet	28%	72%

Fuente: (Delforge, 2001)

Los Dangos

El nombre tradicional, o más conocido, de esta comida es *hanami dango*, es un postre que se centra en el minimalismo y en la tradición, elaboradas principalmente con harina de arroz glutinoso y agua; este postre se popularizó gracias a que empezó a consumirse durante el periodo del “cherry blossom” que es cuando los árboles de Sakura (Cerezos) florecen, estos postres tienen 3 colores distintos; el rojo representa las flores que comienzan a brotar a

principios de la primavera, el blanco representa la plena floración, y el verde que representa la caída de los pétalos además del inicio del crecimiento de las hojas en los árboles. (Takahashi, 2024).

Sin embargo, los dangos no solo se sirven en ese contexto, y cada provincia tiene una preparación distinta y un nombre diferente, de hecho, los dangos son tan comunes en todo Japón que existe un proverbio japonés que dice “Hana yori dango” (mejor dangos que flores), tanto que existen animes, mangas y doramas con el nombre de este proverbio y se refiere a la importancia de lo práctico o de lo útil en comparación con la estética, porque realmente no importa como sean los dangos, siempre son sencillos de hacer:

- Mitarashi dango: Shimogamo (cubiertos en salsa de soya dulce)
- Kusa dango: Tokio (hechos con yomogi)
- Kyo dango: Kioto (se sirven con un sirope transparente de azúcar y matcha)
- Bocchan dango: Matsuyama (hechos con porotos rojos, huevo y té verde)
- Anko dango: Nara (Se sirven con anko que es una pasta de fréjol dulce, y con forma de excremento de venado como un plato ceremonial para honrar a los ciervos Sika, considerados mensajeros divinos)

Como se menciona, su elaboración es sencilla, se coloca la harina de arroz con el agua, la maicena y el azúcar hasta formar una masa homogénea, después, se forman pequeñas bolitas que se cuecen en agua hirviendo hasta que flotan, también se puede realizar en vaporera y en microondas, esto nos indica cuando estas ya están listas, tal como se hace con las bolitas de tapioca. Una vez escurridas, se sumergen en agua fría para detener la cocción y mejorar su textura, y finalmente se ensartan en brochetas y se degustan solas o con salsas dulces, como la de soja azucarada que se suele colocar tradicionalmente, como se muestra en la figura 2, (Shimbo H., 2000), aunque hoy en día existen opciones más comerciales que se han adaptado para el resto del mundo, como tahinni, nutella, helado, siropes, entre otros. (Holtzman, 2015)

Figura 2: Dangos en sus diferentes presentaciones



Fuente: (Henrique, 2012)

La Papa

En el contexto agrícola de Ecuador, la producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) representa un pilar fundamental para la seguridad alimentaria y la economía de las familias campesinas en la región Sierra. Entre las variedades más destacadas desarrolladas para optimizar este recurso se encuentra la INIAP-Cecilia, liberada en 1981. Esta variedad se distingue por sus tubérculos de forma elíptica, piel amarilla clara y un contenido de materia seca cercano al 20%, lo que la hace sumamente versátil tanto para el consumo fresco en preparaciones tradicionales como para el procesamiento industrial en forma de hojuelas (Pumisacho & Sherwood, 2002). Por otro lado, la papa Chola, un cultivo nativo de gran relevancia cultural, es apreciada por su pulpa firme y alto contenido de sólidos solubles, características que la posicionan como la opción predilecta para la gastronomía típica andina. (Pumisacho & Velásquez, 2009)

A medida que las demandas del mercado evolucionaron hacia la eficiencia industrial, surgió la variedad Superchola en 1984. Este cultivar combina una notable resistencia al transporte y altos rendimientos agrícolas que alcanzan las 30 t/ha, con un contenido de materia seca superior al 24%, lo que la convierte en un ingrediente de excelente calidad para la elaboración de papas fritas (Jiménez, 2011).

Es, precisamente, este elevado porcentaje de sólidos lo que posiciona a variedades como la Superchola como fuentes primordiales para la obtención de almidón nativo. Este polímero natural posee propiedades funcionales únicas, como un alto poder de hinchamiento y la

formación de geles claros; sin embargo, en su estado nativo, el almidón de papa suele presentar limitaciones técnicas, como una baja estabilidad frente a cambios de temperatura y una tendencia a la retrogradación o sinéresis, donde el agua se separa del gel con el tiempo (Alcazar-Alay & Meireles, 2015).

Para reducir estas deficiencias y expandir las aplicaciones industriales del tubérculo, se aplican modificaciones químicas como la acetilación. Este proceso consiste en la introducción de grupos acetilo en la molécula de almidón, lo que interfiere con la asociación de las cadenas de amilosa. Como resultado, los almidones acetilados presentan una menor temperatura de gelatinización y una estabilidad significativamente mayor en ciclos de congelación y descongelación. (Subroto, Cahyana, Indiarito, & Rahmah, 2023). Esta transformación resulta estratégica para la industria alimentaria moderna, ya que permite utilizar el excedente de variedades de alto rendimiento para producir espesantes y estabilizantes que mantienen la textura de productos procesados y congelados, aportando así un valor agregado, que puede llegar a ser importante en la cadena productiva de la papa en el Ecuador.

El DSC

La calorimetría diferencial de barrido (DSC) es una técnica esencial para estudiar cómo responden los materiales al calor. Su funcionamiento es comparativo: el equipo somete al mismo programa de temperatura tanto a la muestra como a una referencia inerte, y mide la diferencia en el flujo de calor entre ambas. Gracias a este método se pueden identificar cambios estructurales y transiciones de fase que no se ven a simple vista, aportando información sobre la estabilidad y la organización interna de mezclas alimentarias (Biliaderis, 2003).

En el ámbito académico y científico, el DSC se utiliza para precisar los momentos en que un material cambia de estado físico, como la gelatinización, la fusión de cristales o la retrogradación de los almidones. El instrumento genera un termograma, una gráfica donde aparecen picos que muestran si la muestra está absorbiendo energía (endotérmico) o liberándola (exotérmico). Al calcular el área bajo estos picos se obtiene la entalpía, que cuantifica la energía total necesaria para que ocurra una transición estructural específica en la harina del dango (Quintero, Rodríguez-Sandoval, & Aldana, 2005).

Además de caracterizar las transiciones, el DSC permite anticipar cómo se comportará un producto en distintas condiciones de almacenamiento o procesamiento. La técnica identifica con precisión las temperaturas críticas: el inicio de la transición (onset), el punto máximo del pico y el final del proceso. Estos datos son clave para comprender la estabilidad térmica y asegurar que la formulación mantenga sus propiedades sin degradarse ante variaciones de temperatura, lo que se traduce en un control de calidad más confiable durante el desarrollo del producto.

Membrillo

El membrillo (*Cydonia oblonga*), es una fruta climatérica originaria de la región del Cáucaso, en las zonas de Irán, Armenia y Turquía, familiar de la manzana y la pera, es un melónide de color amarillo brillante, su pulpa es de color amarilla antes de la cocción, y una vez cocinada, toma un color bordó, que con la acción del limón se vuelve brillante. Su sabor es astringente y ácido, su textura es arenosa en la boca y su cáscara es dura y resistente, con una vellosidad grisácea que pierde al madurar. Además, al tener un alto contenido de pectinas, le permite gelificar, formando el dulce de membrillo, una preparación similar a la del cortado de guayaba, conservando su sabor, pero con una textura más densa. (Rodríguez, 2009)

Química y nutricionalmente hablando, el membrillo destaca por su elevado contenido de pectina y taninos, compuestos que son especialmente abundantes en sus semillas. Su perfil de ácidos orgánicos está compuesto principalmente por ácidos málico y quínico, aunque también contiene ácido cítrico. En cuanto a su contenido de azúcares, el fruto presenta una mezcla de fructosa, glucosa, sacarosa y maltosa. Además, su fragancia característica se atribuye a una composición específica de aceites esenciales que incluye hasta 85 componentes volátiles registrados. (Al-Zughbi & Krayem, 2022)

En el ámbito tecnológico de la industria alimentaria, el membrillo es valorado por su alta capacidad de gelificación, lo que facilita la elaboración de mermeladas, compotas, jaleas y el tradicional dulce de membrillo o "carne de membrillo", que es conocido como cortado de membrillo en el Ecuador. (Díaz, 2019) Los cortados de membrillo son un dulce tradicional elaborado a base de la pulpa cocida del fruto del membrillo, mezclada con azúcar y cocinar hasta obtener una pasta espesa y firme. Esta preparación se caracteriza por su textura compacta

y su sabor dulce con un ligero toque ácido, propio de la fruta. Una vez lista, la masa se corta en pequeños bloques o rectángulos, de ahí su nombre, y se deja reposar para que adquiera consistencia.

En la gastronomía popular, los cortados de membrillo se han dado como parte de la repostería casera y artesanal. Suelen presentarse envueltos en papel encerado o celofán, y se consumen como golosina, acompañamiento de quesos o incluso como relleno en panes y empanadas. Además, su durabilidad es una de sus ventajas: al ser un producto concentrado en azúcar, puede conservarse por semanas sin perder calidad. (Díaz,2019) Culturalmente, este dulce está asociado con la tradición familiar y las temporadas de cosecha del membrillo, aunque se ha perdido con los años.

Colorimetría

Extracción de Pigmentos mediante Decocción

La decocción es un método de extracción líquida que consiste en someter una materia prima vegetal a una cocción prolongada en agua hirviendo con el fin de liberar sus principios activos y compuestos colorantes solubles. En esta investigación, se selecciona la decocción de remolacha y nabo como una alternativa técnica para la obtención de pigmentos naturales ricos en betalainas y flavonoides. A diferencia de los métodos de mezcla directa, la decocción permite obtener extractos concentrados que se integran de manera homogénea en la masa de papa, proporcionando colores estables tras el proceso de cocción del dango (Porru, 2021)

Desde una perspectiva de salud y seguridad alimentaria, la implementación de pigmentos extraídos por decocción responde a la necesidad de mitigar el uso de colorantes artificiales, los cuales han sido asociados en la literatura científica con problemas de toxicidad, alergias, efectos cancerígenos y trastornos como el TDAH. De este modo, el uso de vegetales locales para la pigmentación no solo refuerza la soberanía alimentaria y reduce costos frente a insumos importados, sino que eleva el perfil nutricional del producto hacia una "etiqueta limpia" (clean label), libre de aditivos químicos perjudiciales. (Rachel M Rambler, Erica Rinehart et al., 2022)

El Texturómetro

Un analizador de textura, comúnmente conocido como texturómetro, es un instrumento de precisión diseñado para proporcionar mediciones objetivas de los parámetros de textura de diversos materiales, siendo parte de sus aplicaciones primordiales, la medida de textura en productos para la industria alimentaria. El objetivo fundamental de este equipo es caracterizar las muestras de una manera que represente la percepción de los sentidos humanos, traduciendo propiedades físicas en datos cuantitativos. Gracias a esto, los investigadores pueden obtener perfiles técnicos que explican el comportamiento de un producto, como su dureza o elasticidad, permitiendo establecer métodos de control de calidad consistentes y repetibles, pero también evaluar productos para mejorarlos (Gutierrez, 2022).

El principio de operación de un texturómetro consiste en someter a una muestra a fuerzas controladas ya sea en modo de compresión o de tensión. En el modo de compresión, una sonda desciende sobre el material hasta alcanzar un umbral de fuerza y penetra una distancia establecida; mientras que, en el modo de tensión, la muestra es estirada mediante mordazas o agarres. Durante este proceso, una celda de carga calibrada mide continuamente la resistencia del material, registrando la fuerza resultante como una función del tiempo y la distancia recorrida. (Gutierrez, 2022).

La versatilidad de este equipo radica en su estructura modular, la cual incluye una base de soporte, celdas de carga intercambiables para manejar distintos rangos de fuerza y un sistema de software para el procesamiento de datos. Para adaptarse a la naturaleza de cada muestra, los texturómetros emplean una amplia gama de sondas y accesorios, como cilindros, esferas, conos o cortadores, diseñados para realizar pruebas específicas de corte, punción, extrusión o fractura. Esto permite que el instrumento pueda evaluar desde la consistencia de un gel hasta la firmeza de una fruta o la resistencia que puede tener un yogurt o mayonesa dentro de su composición (Gutierrez, 2022).

Finalmente, el equipo ofrece diversos modos de prueba, entre los que destaca el Análisis de Perfil de Textura (TPA), considerado el estándar en la ciencia de alimentos. El TPA es un ensayo de doble compresión que simula la acción sucesiva de masticar, permitiendo extraer parámetros mecánicos clave como la dureza, la cohesividad, la elasticidad, la adhesividad y la

masticabilidad. Al utilizar estas configuraciones instrumentales, es posible realizar comparaciones precisas entre diferentes formulaciones de productos, garantizando que las innovaciones en ingredientes mantengan la identidad sensorial deseada (Gutierrez, 2022).

Modelos Reológicos

El texturómetro TA.XT Plus de Stable Micro Systems es un instrumento de precisión diseñado para cuantificar de manera objetiva las propiedades mecánicas de los alimentos. Su operación consiste en aplicar fuerzas controladas de compresión o tensión sobre la muestra, registrando continuamente la resistencia del material mediante una celda de carga calibrada. Este equipo destaca por su alta sensibilidad y versatilidad, permitiendo el uso de diversas sondas y accesorios para caracterizar desde la firmeza de un gel hasta la resistencia estructural de masas densas (Aname, 2010).

Para esta investigación, el equipo se utiliza primordialmente para realizar el Análisis de Perfil de Textura (TPA), un ensayo de doble compresión que simula las condiciones de la masticación humana. A través del software especializado, el TA.XT Plus genera curvas de fuerza en función del tiempo y la distancia, de las cuales se extraen parámetros mecánicos clave como la dureza, la cohesividad y la elasticidad. Estos hallazgos técnicos permiten validar si la sustitución de materia prima por la variedad de papa seleccionada mantiene la identidad sensorial y la calidad estructural del postre tradicional (Aname, 2010).

Tabla 2: Fórmulas del Análisis de Textura TPA.

Parámetro	Fórmula	Variables	Unidades	Descripción Técnica
Fuerza de Gel	$GS = F_{\text{distancia}}$	F_{pico} : Carga máxima antes de la ruptura. D_{pico} : Distancia de deformación al punto de carga máxima.	g (gramos fuerza) o N	Mide la carga necesaria para deprimir la superficie del gel a una profundidad

				estándar del gel.
Fuerza de Ruptura	$RS = F_{pico1}$	F_{pico1} : Carga máxima detectada en el primer ciclo de compresión.	g (gramos fuerza) o N	Identifica el límite de resistencia de la matriz de almidón de papa o de harina de arroz glutinoso antes de ceder.
Adhesividad	$A = \int_{t1}^{t2} F(t)dt$	F: Fuerza de succión (negativa). dt: Diferencial de tiempo/distancia de retorno.	(g x s) o mJ	Cuantifica el trabajo total necesario para separar la sonda de la superficie pegajosa.

Fuente: (Stable Micro Systems Ltd, 2020)

Nota: La adhesividad aparece con valores negativos porque el software registra la fuerza de succión o de adherencia que tiene el dango sobre la sonda del texturómetro en dirección opuesta al movimiento inicial, cuantificando la "chiclosidad" del dango.

Funciones de Utilidad y Deseabilidad

La deseabilidad funciona como un objetivo que se expresa en una escala entre 0 y 1: un valor de 0 indica que la respuesta está fuera de los límites aceptables, mientras que 1 representa el cumplimiento ideal de la meta. La optimización numérica busca el punto que maximice esta

función de deseabilidad. Además, es posible ajustar la importancia de cada objetivo modificando su ponderación. Cuando se trabaja con varias respuestas y factores al mismo tiempo, todos los objetivos se integran en una única función de deseabilidad global, lo que permite evaluar el desempeño de la formulación bajo un mismo criterio (Stat-Ease, 2025).

La deseabilidad, tanto individual como compuesta, sirve para evaluar qué tan bien una combinación de variables cumple con los objetivos definidos para las respuestas. La deseabilidad individual (d) refleja el grado en que una configuración optimiza una sola respuesta, mientras que la deseabilidad compuesta (D) muestra el desempeño global al considerar varias respuestas al mismo tiempo. Esta medida se expresa en una escala de 0 a 1, donde 1 representa la situación ideal y 0 indica que una o más respuestas están fuera de los límites aceptables.

La aplicación de estas funciones permite generar superficies de respuesta que guían la optimización de la fórmula hacia un producto comercialmente competitivo. Al analizar los datos de los 11 experimentos realizados, incluyendo las réplicas al centro que ayudan a estimar el error experimental, la deseabilidad identifica el punto exacto de la matriz donde la sustitución de materia prima es máxima sin perder las propiedades viscoelásticas deseadas. Así, el modelo matemático valida científicamente la transición de una receta artesanal a una fórmula industrial estandarizada.

Transformación Exponencial de Variables

La transformación exponencial de variables (o transformación de potencia) es un procedimiento matemático aplicado a los datos originales antes de realizar el análisis de varianza (ANOVA). En el estudio de texturas alimentarias, su función principal es estabilizar la varianza entre los diferentes lotes de dangos, asegurando que el error experimental sea constante y no dependa de la magnitud de la media. Este paso es un requisito *sine qua non* para cumplir con los supuestos de homogeneidad de varianza y normalidad exigidos por las pruebas estadísticas paramétricas (Neyra, 2025).

El uso de este método es particularmente relevante debido al moldeado manual artesanal de las muestras, proceso que introdujo variaciones geométricas y bolsas de aire que afectaron las curvas de fuerza del texturómetro. La transformación matemática ayuda a mitigar estadísticamente estos errores derivados del factor humano, permitiendo que el software se enfoque en la variabilidad intrínseca de la formulación química (amilopectina vs. amilosa) y no en las irregularidades de la superficie de la esfera de masa.

Desde el punto de vista del modelado mecánico, las transformaciones exponenciales facilitan la interpretación de materiales complejos que siguen comportamientos de fluidos no newtonianos, como el modelo de Bingham o el de Burgers. Al linealizar o normalizar las respuestas de Fuerza de Gel y Ruptura, se logran identificar con mayor claridad las interacciones significativas entre el almidón de papa nativo y el acetilado. Esto permite predecir con exactitud cómo cada incremento porcentual de papa afectará la cohesión interna del dango sin que el "ruido" estadístico oculte la tendencia.

Capítulo II

Metodología

ELABORACIÓN DE LOS DANGOS

Diagrama de proceso (Dangos)

En el siguiente diagrama estrella, (que es en donde se identifica el ingrediente más importante de la formulación, y se desarrolla el proceso en base a este), se muestra el proceso de elaboración de los dangos como tradicionalmente se realizaría, como se observa, los ingredientes usados son:


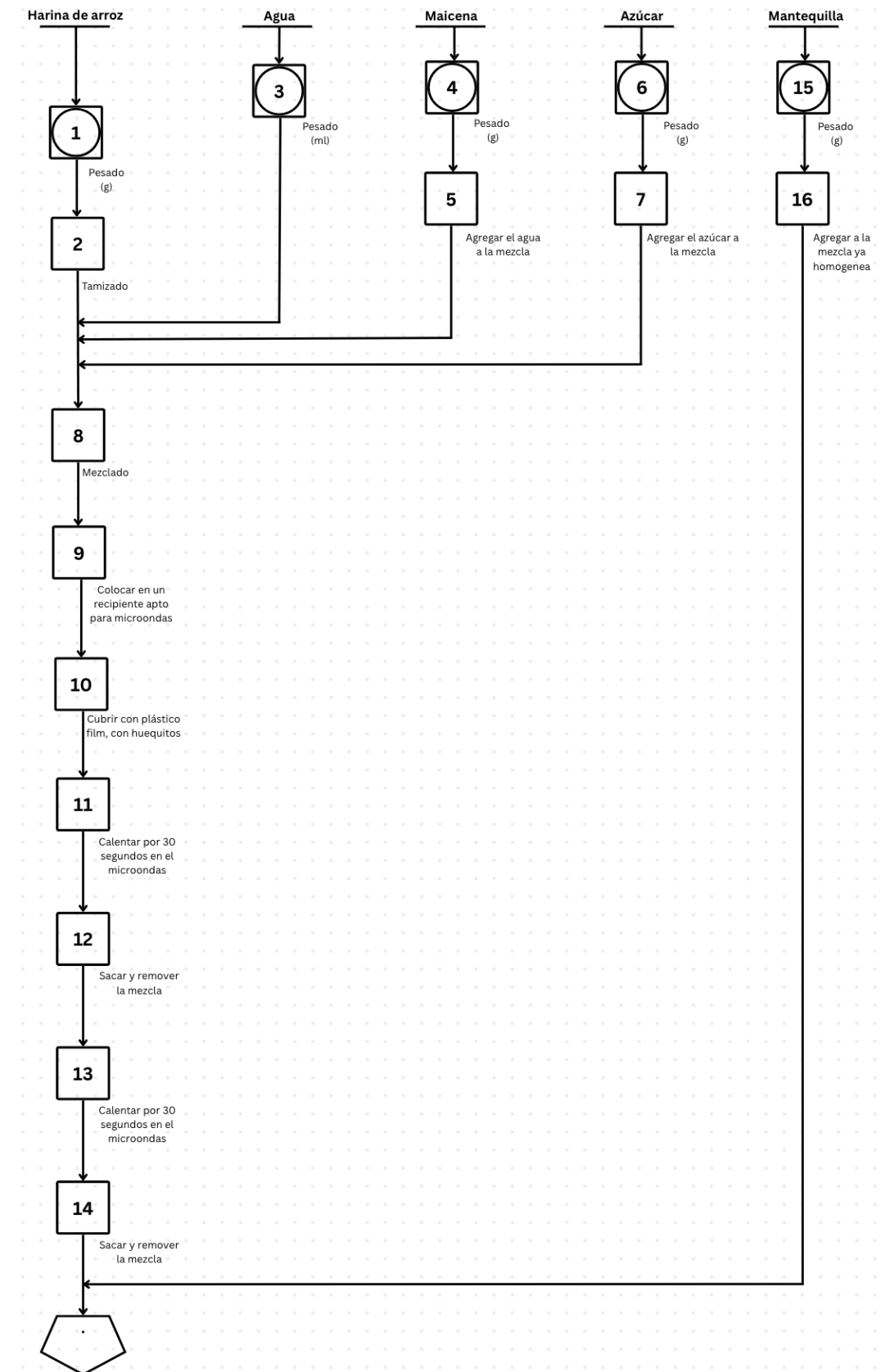
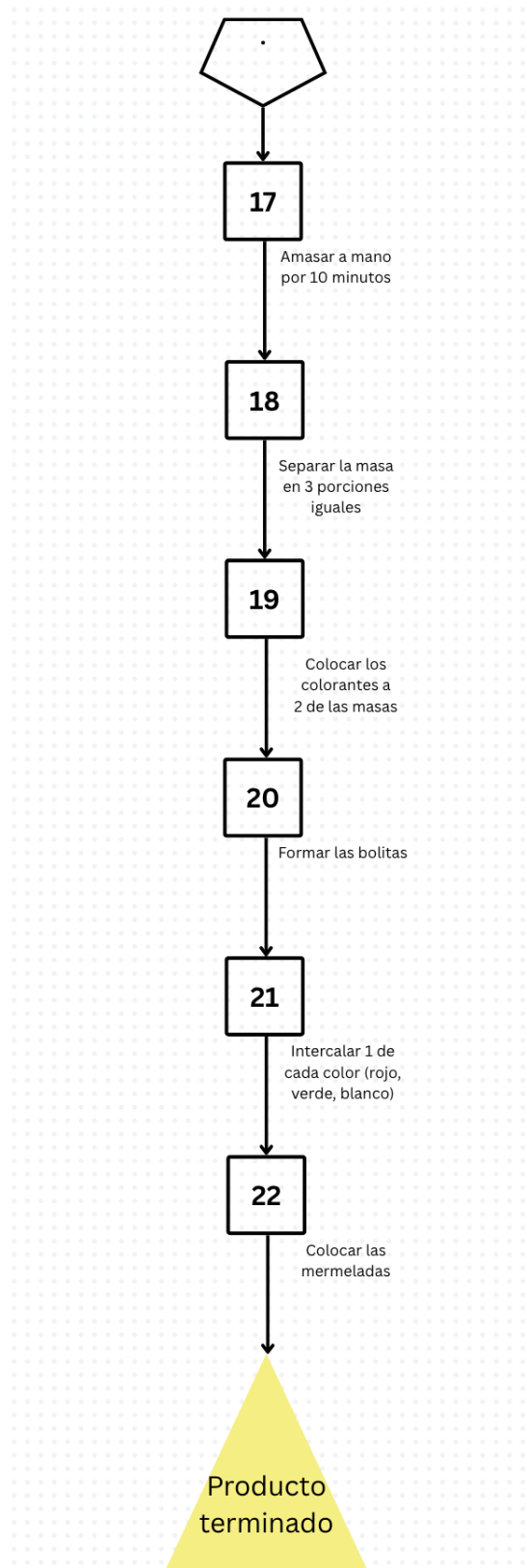
- Harina de arroz (la que se sustituyó en porcentajes con el almidón de papa) 
- Agua
- Maicena
- Azúcar
- Mantequilla

Figura 3: Diagrama de Procesos De Los Dangos



Fuente: Autoría propia

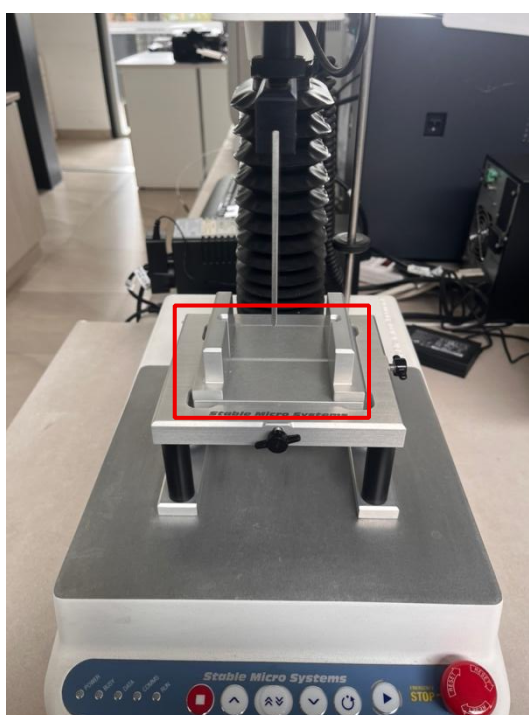
Figura 4: Continuación del diagrama de Procesos De Los Dangos

Fuente: Autoría propia

Dango de control

Al momento de realizar los dangos, se preparó previo a los análisis un dango hecho 100% de arroz, para tener una comparación de los resultados, y en base a esto, encontrar un “óptimo” de los parámetros de fuerza de gel, fuerza de ruptura y adhesividad o el que más se asemejara a este.

Figura 5: Imagen del texturómetro TA.XTPlus



Fuente: Autoría propia

Elaboración de las mermeladas y extracción de los pigmentos.

Tabla 3: Procesos de elaboración de la mermelada

Fruta	Membrillo	Frutilla (Nabón)
Proceso	Lavar y pelar el membrillo, luego licuar, colocar con	Lavar y desinfectar las frutillas, licuar, colocar en una

	agua y azúcar en una olla y hervir hasta que espese y dejar reposar hasta que cuaje por acción de las pectinas.	olla con agua y azúcar, luego de que hierva, colocar una tapita de limón y dejar reposar hasta que se enfríe.
Características sensoriales	Sabor ácido y astringente, color rojizo, con textura espesa y granulada, fuerte olor a membrillo y en cortado, muy similar a la guayaba.	Textura ligeramente espesa, sabor agridulce, color rojo, y se pueden ver las semillas de la frutilla suspendidas en la mermelada.
Grados Brix	Se coloca agua destilada en el sensor del brixómetro, se tara, y se procede a la medición de la mermelada colocando 1 gota en el mismo lector, procurando limpiar bien entre cada muestra. Se realizó la medición por cuadruplicado, dando un valor promedio de 64.87° Brix.	Se coloca agua destilada en el sensor del brixómetro, se tara, y se procede a la medición de la mermelada colocando 1 gota en el mismo lector, procurando limpiar bien entre cada muestra. Se realizó la medición por cuadruplicado, dando un valor promedio de 17.23° Brix.

Fuente: Autoría propia

- * En el caso del membrillo, se realizaron los cortados, para poder hacer una preparación similar a la que poseen los dangos con anko, esa textura ligeramente más grumosa y con una apariencia visual diferente.

Grados brix en mermelada de frutilla y cortados de membrillo

Para la caracterización de la frutilla y el membrillo se utilizó el brixómetro que nos permite validar si pueden ser utilizados como sustitutos naturales, en lugar de los saborizantes comerciales. Estos valores permiten ver tanto la cantidad de sólidos presentes en las dos mezclas.

En el caso del membrillo, aporta un sabor astringente, con acidez y dulzor, y por otro lado, la frutilla aportó un perfil agridulce que nos permitió utilizar una menor cantidad de azúcar para acompañar los dangos. Esta combinación entre el dango de papa y las mermeladas de fruta nos puede permitir obtener un producto de etiqueta limpia, más libre de azúcares añadidas, alineado con las tendencias actuales de un consumo más consciente.

Colorimetría

Primero se calibra el equipo con los parámetros de blanco y negro establecidos según el instructivo, y luego se coloca la muestra homogenizada en el lector, se cierra la cápsula y se procede a hacer la lectura una vez se ve el disparo de la luz, procedemos a leer los resultados.

La identidad visual tradicional del dango también era algo importante de replicar, y mediante pigmentos naturales obtenidos por decocción de remolacha y nabo, se pudo mantener, en el caso de la remolacha se realizó el proceso de decocción normalmente, pero para el nabo se tuvo que remojar para quitar el amargor característico del mismo. Los análisis colorimétricos mostraron que los valores de croma fueron adecuados, y los pigmentos pudieron ser usados como los del dango tradicional reemplazando el agua de la elaboración tradicional por el agua de la decocción.

Diseño Factorial 2^x

Para el desarrollo de las formulaciones, se optó por realizar un diseño de tipo factorial 2^x , en este caso 2 al cubo, dándonos un total de 8 experimentos, con 3 réplicas al centro. Este modelo, está ampliamente utilizado en el diseño de productos, ya que nos permite estudiar el efecto simultáneo de diferentes factores sobre una respuesta, en este caso, textura (con el almidón de papa nativo, el almidón de papa acetilado y la harina de arroz glutinoso) de manera más eficiente, facilitándonos el trabajar con la menor cantidad de combinaciones posibles de los factores. (González, 2008)

Réplicas al centro o controles

Dentro del diseño factorial de 2 niveles o 2^x , se consideran el nivel inferior y el nivel superior, que en nuestro caso se establecieron como el 5% y el 40%, tanto del almidón de papa acetilada, como el de la papa nativa, pero para la harina de arroz glutinoso se colocaron los niveles como 50% y 100% (usando fórmula panadera). Como en este diseño se trabajaba con estos niveles, superiores e inferiores, las réplicas al centro nos permiten tener un nivel medio, para disminuir el margen de error. (Pulido & De la Vara Salazar, Análisis y diseño de experimentos Segunda Edición, 2008)

Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)

Para poder ingresar las muestras en el DSC lo primero que se hizo fue prepararlas con un día de anticipación, se colocó 1 gramo de muestra y 1 ml de agua en frascos cerrados previamente desinfectados y secados, luego se dejaron estas muestras en la refrigeradora; este proceso se realizó para hidratar el almidón y para poder medir la entalpía en el DSC.

Figura 6: Muestra en el pan del DSC



Fuente: Autoría propia

Luego de eso, se colocaba la muestra ya reposada en un pan pequeño, como el mostrado en la figura 6, que ingresaba al DSC junto a un vacío, por la configuración del equipo. Una vez obtenidos los resultados del equipo, se procedió a la formulación, porque ya sabíamos que, aunque no se iba a poder realizar una sustitución completa, íbamos a poder simular una estructura similar a la del dango tradicional realizando sustituciones parciales de la cantidad de harina.

Tabla 4: Procesos de elaboración de la mermelada

Fruta	Lectura 1 (°Brix)	Lectura 2 (°Brix)	Lectura 3 (°Brix)	Estado / Función
Frutilla	17.5	17.5	16.7	Mermelada
Membrillo	64.8	63.8	64.5	Cortado

Fuente: Autoría propia

Texturómetro

Previo al uso del texturómetro, se elaboraron las formulaciones del diseño factorial, se pesaron los dangos y se buscó que tuvieran el mismo tamaño y la misma altura, para que el texturómetro pudiera hacer una lectura adecuada. Se configuró al equipo con los siguientes parámetros:

Tabla 5: Parámetros de medición del texturómetro.

Parámetro	Valor	Unidades
Tipo de prueba.	Compresión	
Prueba de velocidad previa.	3,00	mm/segundo
Prueba de velocidad.	2,00	mm/segundo
Prueba de velocidad posterior.	10,00	mm/segundo
Modo de destino	Distancia	
Distancia	10,00	mm
Tipo de disparo	Automático (Fuerza)	
Fuerza del disparo	5,00	g

Fuente: Configuración Texturómetro TA.XT Plus

Obteniendo como resultados la cuantificación de la fuerza de gel, la fuerza de ruptura y la adhesividad.

La fuerza de gel es un parámetro que describe la firmeza de un alimento en forma de gel. Se determina midiendo la carga necesaria para deprimir su superficie hasta una profundidad determinada, lo que refleja la resistencia de la red interna que retiene el agua. Este valor permite traducir la consistencia del gel en datos objetivos y comparables.

La fuerza de ruptura o dureza corresponde al límite de resistencia que presenta la matriz alimentaria antes de ceder frente a una presión mecánica. Se calcula a partir de la carga máxima registrada durante el primer ciclo de compresión y está directamente vinculada con la cohesión interna del producto. En términos sensoriales, este parámetro se relaciona con la firmeza percibida al dar la “primera mordida”.

La adhesividad mide el trabajo total necesario para separar una superficie como los al momento de la masticación, de la superficie pegajosa del alimento. Se registra como una fuerza negativa o de succión durante el retiro de la presión inicial. Este valor sirve para caracterizar la sensación de pegajosidad, permitiendo expresar en cifras lo que el consumidor percibe como “chiclosidad”.

Capítulo III

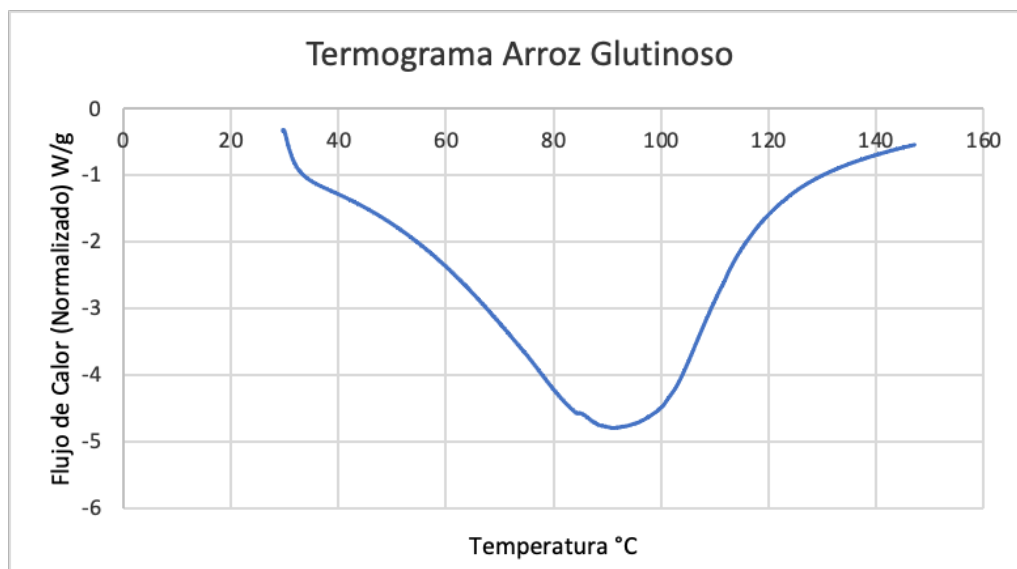
Resultados y Discusiones

El DSC

Para el análisis de las propiedades térmicas, la muestra de harina o masa se coloca dentro de un pequeño recipiente metálico junto a un recipiente de referencia que permanece vacío o inerte. Ambos se introducen en el equipo, donde se someten a un ciclo de aumento de temperatura programado. El instrumento registra la diferencia de energía que absorbe la muestra de papa en comparación con la referencia, lo que permite observar visualmente en un gráfico (termograma) los momentos exactos en que los almidones cambian de estado sólido a gel.

El termograma presentado muestra el comportamiento térmico de una muestra de arroz glutinoso mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC), evaluado en un rango de temperatura que va desde aproximadamente los 30 °C hasta los 150 °C. En la gráfica se observa un pico, que está orientado hacia los valores negativos en el eje del flujo de calor, que alcanza un valor mínimo de -4.81 W/g. Este perfil indica la transición de fase en el almidón, donde el sistema requiere absorber una cantidad específica de energía térmica, para reestructurar sus componentes internos.

Figura 5: Termograma harina de arroz glutinoso

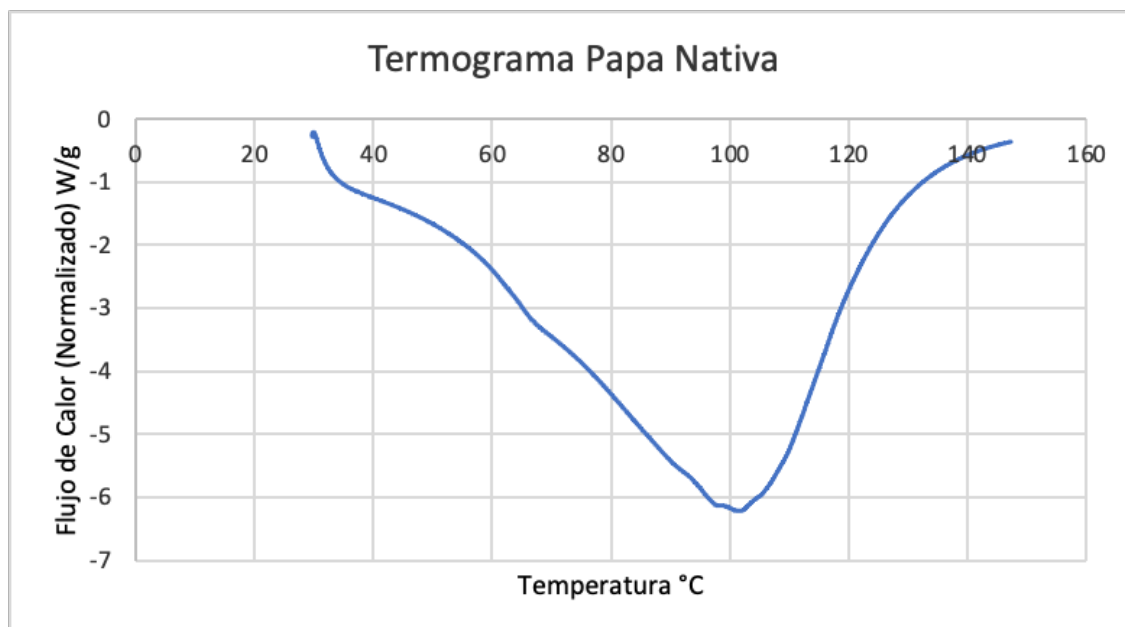


Fuente: Autoría propia

El fenómeno principal registrado en este perfil corresponde a la gelatinización del almidón presente en el arroz glutinoso. El punto máximo de absorción de energía, o temperatura pico (T_p), se localiza en torno a los 90 °C - 92 °C, reflejando el momento de mayor desorganización estructural y máximo hinchamiento de los gránulos. Finalmente, la curva retorna de forma gradual hacia la línea base, concluyendo el proceso cerca de los 135 °C.

La amplitud y el rango extendido del pico pueden estar dados por la misma naturaleza estructural de los gránulos del almidón y a la composición molecular del arroz glutinoso, el cual está constituido casi en su totalidad por amilopectina. Al carecer prácticamente de amilosa, las interacciones con el agua y la fusión de los cristales de amilopectina ocurren de manera progresiva y cooperativa a lo largo del gradiente de temperatura. Asimismo, la cola final de la curva hacia los 100 °C y temperaturas superiores suele estar asociada con la evaporación del agua libre o remanente en el sistema de medición.

Figura 6: Termograma almidón de papa nativo

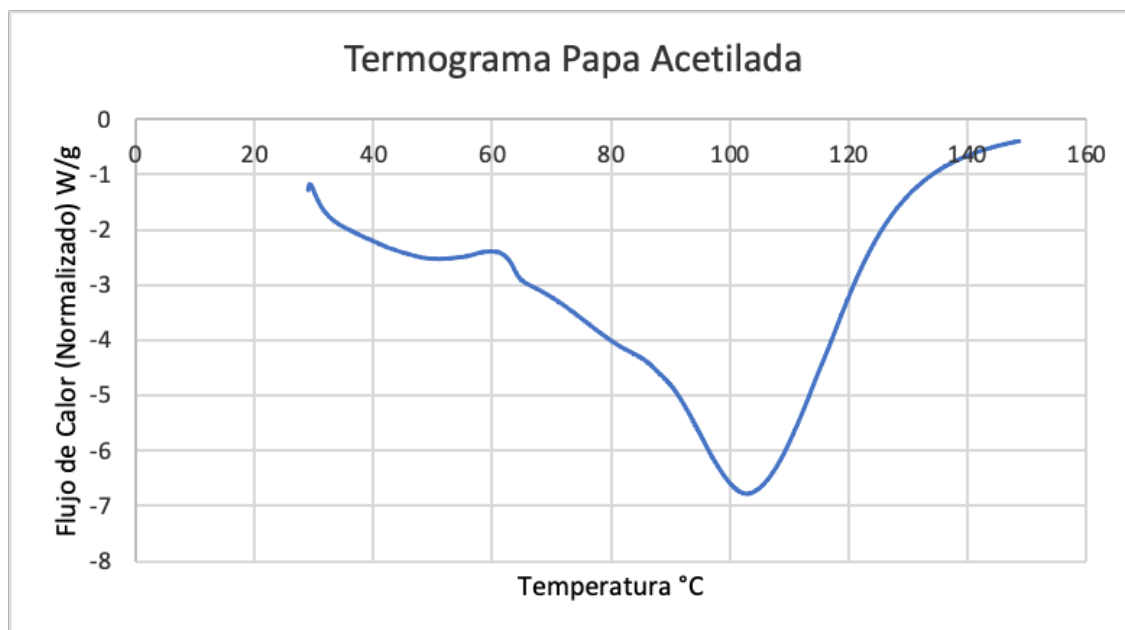


Fuente: Lectura del DSC

Al comparar los perfiles térmicos se ve que tanto el almidón de arroz glutinoso como el de papa nativa tienen una transición endotérmica ligada a la gelatinización, aunque con diferencias claras en cómo se comportan. En cuanto a la magnitud, el almidón de papa necesita más energía para desorganizarse que el arroz glutinoso: su pico llega a unos -6.2 W/g, mientras que el arroz se queda en -4.8 W/g. Esa diferencia refleja que la papa tiene una estructura interna más resistente, lo que hace que sus gránulos requieran más calor y agua para romperse.

También cambia la temperatura de pico. El arroz glutinoso alcanza su máxima absorción de calor alrededor de los 90 – 92 °C, mientras que la papa nativa lo hace más tarde, cerca de los 100 – 102 °C. Además, la curva de la papa muestra una pendiente inicial más larga y una curvatura marcada cerca de los 65 °C, lo que indica que su gelatinización ocurre en varias etapas antes de estabilizarse, proceso que termina igual en los 135 – 140 °C.

Estas diferencias tienen que ver con la composición de cada almidón. El arroz glutinoso está formado casi solo por amilopectina de cadenas cortas, lo que facilita una gelatinización más rápida y a temperaturas menores. En cambio, la papa nativa contiene más amilosa y su amilopectina suele tener cadenas más largas, además de grupos fosfato que generan repulsiones electrostáticas. Sumado al mayor tamaño de sus gránulos, todo esto hace que su gelatinización sea más larga y se refleje en un pico más profundo y desplazado en el termograma en comparación con el arroz glutinoso.

Figura 7: Termograma almidón de papa acetilado

Fuente: Lectura del DSC

Al comparar el termograma del arroz glutinoso con el de la papa acetilada se notan diferencias importantes en la estabilidad térmica y en cómo ocurre la gelatinización. La papa acetilada muestra una absorción de energía más alta, con un mínimo cercano a -6.8 W/g, mientras que el arroz glutinoso llega solo a -4.8 W/g. Además, su temperatura de pico está más desplazada: aparece entre $102\text{--}104$ °C, frente a los $90\text{--}92$ °C del arroz. Esto indica que la papa acetilada necesita más calor para completar su transición principal.

Lo que más destaca, es la forma de la curva antes del pico. El arroz glutinoso baja de manera continua y suave desde los 50 °C, pero la papa acetilada presenta varias etapas: entre $40\text{--}60$ °C aparece un pico, luego una cresta marcada y un quiebre brusco cerca de los 63 °C. Este comportamiento sugiere que los componentes internos del almidón (amilosa y amilopectina) no se distribuyen de manera uniforme en el gránulo, generando zonas externas más modificadas y un núcleo interno que resiste temperaturas más altas antes de gelatinizarse. (Cornuéjols, 2010)

En cuanto a la estructura, la acetilación cambia la estructura del almidón de papa al sustituir algunos hidroxilos por grupos acetilo. Esto interrumpe puentes de hidrógeno y debilita ciertas

zonas amorfas, pero al mismo tiempo, la papa ya tenía características propias como cadenas de amilopectina más largas, gránulos grandes y grupos fosfatos. La combinación de estas propiedades con la modificación química puede causar que la gelatinización sea más lenta y menos homogénea, dando lugar a un perfil más irregular que el del arroz glutinoso. (Rincón, 2026)

Dango Control

Para el dango control, los análisis de textura se realizaron de igual manera con el texturómetro, bajo los mismos parámetros del resto de muestras y se obtuvieron los valores presentados en la tabla 6.

Tabla 6: Temperatura de Gelificación y Entalpía de las muestras

Muestra	Punto de Gelificación	Entalpía
Arroz Glutinoso	91.79 °C	2823.0 J/g
Papa Nativa	102.44 °C	3722.1 J/g
Papa Acetilada	103.52 °C	3351.4 J/g

Fuente: Lectura del DSC

Texturómetro

El TPA es un ensayo de doble compresión que simula de forma instrumental la acción sucesiva de la masticación humana. A través de este método, se extraen parámetros mecánicos como la Fuerza de Gel, la Fuerza de Ruptura y la Adhesividad.

Resultados de la muestra del dango referencial

Tabla 7: Parámetros evaluados en el dango de arroz glutinoso

Parámetro evaluado	Resultado
Fuerza de Gel	252.43 gf
Fuerza de Ruptura	4506.40 gf
Adhesividad	-346.61 gf

Fuente: Autoría Propia

Nota: Son una unidad de fuerza tradicional que se define como la fuerza que ejerce la gravedad terrestre sobre una masa de un gramo.

Textura

Tras la ejecución del diseño factorial, se obtuvieron los parámetros de textura para las 11 formulaciones de los dangos, tanto de harina de papa como de harina de arroz glutinoso, como se muestra en la tabla 6. Los análisis se centraron en la Fuerza de Gel, la Fuerza de Ruptura y la Adhesividad comparando cada lote para identificar la mezcla que mejor replica las características viscoelásticas del dango tradicional de arroz glutinoso; y antes de analizar los datos se hizo una prueba Q de Dixon, (que es un método estadístico que nos permite detectar y descartar valores atípicos) y una vez obtenido eso, se trabajó con los que quedaron.

Tabla 8: Resultados Texturómetro

Lote	Parámetro	Promedio (Media)	SD (Desviación Estándar)	CV (Coeficiente de variación) (%)
M1	Fuerza del Gel (gf)	42.33	4.53	10.7
	Fuerza de Ruptura (gf)	1616.00	193.15	11.9
	Adhesividad (gf)	-298.16	64.61	21.6
M2	Fuerza del Gel (gf)	76.08	18.32	24.1

	Fuerza de Ruptura (gf)	2974.31	134.12	4.5
	Adhesividad (gf)	-182.87	112.27	61.4
M3	Fuerza del Gel (gf)	222.49	38.48	17.3
	Fuerza de Ruptura (gf)	6639.11	842.33	12.7
	Adhesividad (gf)	-101.55	75.08	73.9
M4	Fuerza del Gel (gf)	360.93	44.48	12.3
	Fuerza de Ruptura (gf)	6967.98	584.90	8.4
	Adhesividad (gf)	-45.95	45.64	99.3
M5	Fuerza del Gel (gf)	103.12	16.37	15.9
	Fuerza de Ruptura (mJ)	2211.54	363.14	16.4
	Adhesividad (gf)	-138.54	70.57	50.9
M6	Fuerza del Gel (gf)	162.44	37.78	23.3
	Fuerza de Ruptura (gf)	802.81	46.33	5.7
	Adhesividad (gf)	-9.01	8.02	89.0
M7	Fuerza del Gel (gf)	79.04	17.82	22.5
	Fuerza de Ruptura (gf)	1050.96	278.06	26.5

	Adhesividad (gf)	-5.28	4.44	84.1
M8	Fuerza del Gel (gf)	82.71	17.12	20.7
	Fuerza de Ruptura (gf)	543.89	35.08	6.4
	Adhesividad (gf)	-58.39	11.52	19.7
M9	Fuerza del Gel (gf)	49.98	9.87	19.8
	Fuerza de Ruptura (gf)	834.41	447.00	53.6
	Adhesividad (gf)	-172.41	11.02	6.3
M10	Fuerza del Gel (gf)	38.67	4.28	11.1
	Fuerza de Ruptura (gf)	353.42	174.11	49.3
	Adhesividad (gf)	-24.29	3.38	13.9
M11	Fuerza del Gel (gf)	40.24	4.88	12.1
	Fuerza de Ruptura (gf)	405.09	87.27	21.5
	Adhesividad (gf)	-355.91	31.35	8.8

Fuente: Autoría Propia

Nota: la unidad de fuerza gf, indica gramos fuerza, y los valores negativos indican la fuerza de succión o de adherencia del dango con la sonda del texturómetro.

Las muestras M9, M10 y M11 no fueron replicables de forma consistente debido a que variaciones como el tiempo de boleado o amasado, variables que no fueron consideradas en este estudio, pueden provocar modificaciones en las características de textura. También se puede considerar que la integración de todos los ingredientes y especialmente mantequilla, agua y azúcar en las diferentes etapas de elaboración, al no ser controlables estrictamente, pueden ser responsables de cambios significativos en la reproducibilidad de las mediciones reológicas.

En el caso de los dangos, la fuerza del gel nos indica que tan firme o suave salió el “gel” o el almidón gelatinizado de acuerdo a la formulación, por ejemplo, en el dango referencial es de 252.43 gf, que nos indica un gel más o menos firme con respecto al resto de los experimentos, pero no se aleja demasiado de los resultados con las sustituciones, como es el caso de la muestra M4, M5 o M6 que tienen valores similares en este aspecto.

De igual manera la fuerza de ruptura del arroz glutinoso es de 4506.4 gf, pero en las muestras M4, M5 y M6 los valores solo se acercan en las primeras dos, M4 y M5, pero M6 baja demasiado, y en las demás los valores también son demasiado bajos para el del dango control.

En el caso de la adhesividad, la del arroz glutinoso es de -346.61gf y en las muestras M4, M5 y M6 el único que se acerca ligeramente es el de la muestra M5, pero el más similar es el de la muestra M11, una de las réplicas al centro con un valor de -355.91, que sigue siendo más alto, pero se acerca más que el resto.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Para el diseño experimental 2^k se utilizaron 3 variables, A (HA) que es la harina de arroz glutinoso, B (HN) que es el almidón nativo de papa y C (HAc) del almidón acetilado de papa, que se utilizaron para la formulación de los dangos, como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9: Fórmulas del Análisis de Textura TPA.

NÚMERO DE EXPERIMENTO	A (g)	B (g)	C (g)	Fuerza de Gel (gf)	Fuerza de Ruptura (gf)	Adherencia (gf)

1	2,5	2,5	30	42.33	1616.00	-298.16
2	10	2,5	30	76.08	2974.31	-182.87
3	2,5	10	30	222.49	6639.11	-101.55
4	10	10	30	360.93	6967.98	-45.95
5	2,5	2,5	50	103.1	2211.54	-138.54
6	10	2,5	50	162.44	802.81	-9.01
7	2,5	10	50	79.04	1050.96	-5.28
8	2.5	10	50	82.71	543.89	-58.39
9	6.25	625	40	49.98	834.41	-172.41
10	6.25	6.25	40	38.67	353.42	-24.29
11	6.25	6.25	40	40.24	405.09	-355.91

Fuente: Autoría propia

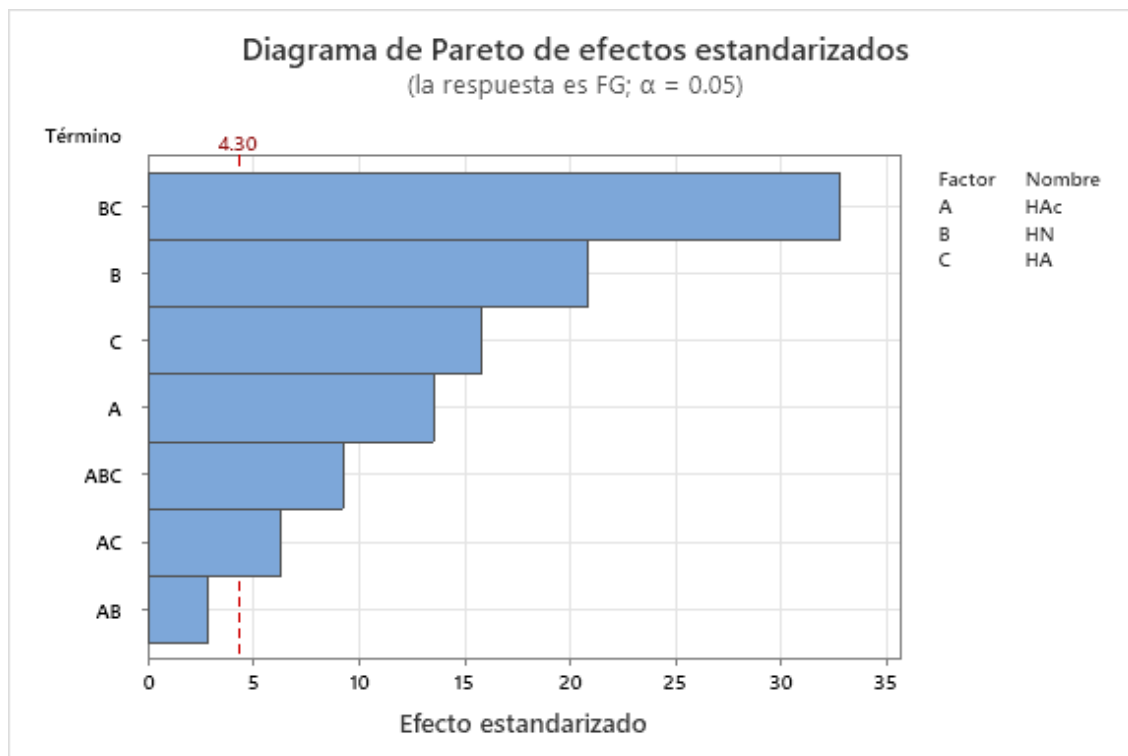
Análisis estadístico

Después de realizar los estudios con los equipos se metieron los datos al sistema estadístico Minitab y se obtuvieron los siguientes resultados del diseño experimental:

Diseño experimental con respuesta Fuerza de Gel

Diagrama de Pareto Fuerza de Gel

Figura 8: Diagrama de Pareto Fuerza de Gel



Fuente: Minitab

La línea roja en el valor 4.30 marca el umbral de significancia estadística para un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0.05$). Cualquier barra que cruce esta línea se considera que es una variable con valor significativo sobre la firmeza del gel.

La barra más larga y, por ende, la más significativa corresponde a la interacción entre B y C, es decir el Almidón Nativo y la Harina de Arroz, esta combinación es el factor que más influye en la variabilidad de la textura, con el valor p más bajo ($p = 0.001$).

Los tres ingredientes individuales (B, C y A) cruzan la línea de significancia. El Almidón Nativo (B) es el ingrediente individual con mayor peso, seguido de la Harina de Arroz (C) y el Almidón Acetilado (A). Esto valida que la formulación del dango depende de las proporciones de estos tres componentes.

La interacción triple (ABC) y la interacción entre Almidón Acetilado y Harina de Arroz (AC) también son significativas. Sus valores $p = 0.011$ y $p = 0.024$ respectivamente, refuerzan la idea de que la matriz del dango se comporta como un sistema donde casi todos los componentes interactúan entre sí, y un cambio en la fórmula va a alterar la estructura de este gel.

La única barra que no cruza la línea roja es la interacción AB (Almidón Acetilado x Almidón Nativo). Su valor p de 0.105 (mayor a 0.05) nos da a entender que la combinación exclusiva de estos dos tipos de almidón de papa, por sí sola, no altera significativamente la Fuerza de Gel en comparación con los otros factores.

Ecuación de regresión (Polinomio) Fuerza de Gel

El modelo de regresión obtenido para la Fuerza de Gel, utilizando los coeficientes codificados, se expresa mediante el siguiente polinomio:

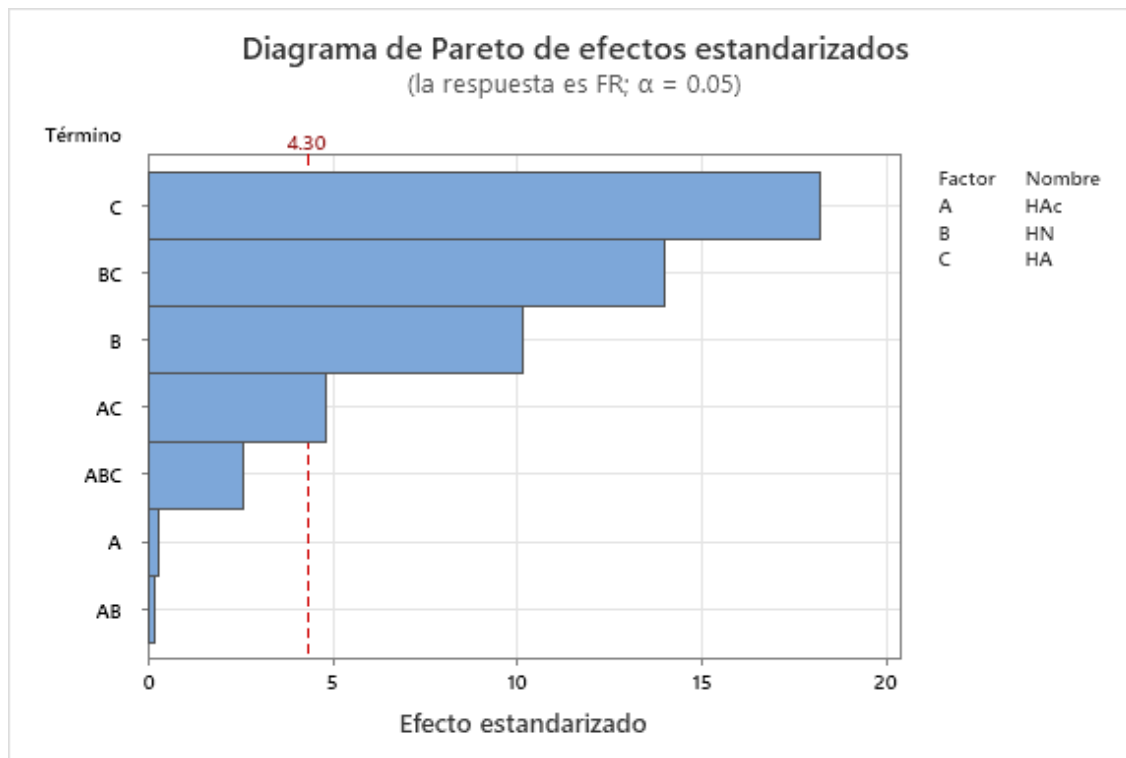
$$F = 141.14 - 71.10 B*C + 45.15 B - 34.32 C + 29.40 A - 20.04 A*B*C - 13.65 A*C + 6.13 A*B$$

En el caso de la interacción BC (Almidón Nativo x Harina de Arroz), se puede ver tanto en la función del polinomio como en el diagrama de Pareto que es la interacción con mayor significancia dentro de la fuerza del gel; esto nos indica que la interacción entre el almidón nativo de papa y la harina de arroz es la interacción con mayor respuesta a nivel, y por el signo negativo, que se repite en el coeficiente de C, que indica que la interacción de la harina de arroz influye a la inversa en la fuerza del gel.

Vemos que B (Almidón Nativo) tiene el coeficiente positivo más alto (45.15), este es el factor que más contribuye a incrementar la firmeza del gel; y C (Harina de Arroz) presenta un coeficiente negativo (-34.32), lo que, como se mencionó anteriormente, significa que, al aumentar la harina de arroz dentro del rango de sustitución planteado, la fuerza de gel tiende a disminuir en comparación con las mezclas más altas en almidón de papa.

Diseño experimental con respuesta Fuerza de Ruptura

Diagrama de Pareto Fuerza de Ruptura

Figura 9: Diagrama de Pareto Fuerza de Ruptura

Fuente: Minitab

En el estudio de la Fuerza de Ruptura, se estableció un límite de significancia estadística de 4.30 ($\alpha = 0.05$). Este valor va a actuar como un filtro, cualquier factor o interacción que supere esta marca tiene una influencia real y no debida al azar en la dureza del gel.

El gráfico revela que la interacción entre el Almidón Nativo y la Harina de Arroz (BC) es el fenómeno más determinante en la estructura del producto, superando con creces a los efectos individuales. Esto coincide con el valor p de 0.005 observado en el análisis de varianza, lo que confirma que la forma en que estos dos ingredientes coexisten define la resistencia final.

Respecto a los ingredientes por sí solos, tanto el Almidón Nativo (B) como la Harina de Arroz (C) muestran una relevancia estadística ($p=0.010$ y $p=0.003$ respectivamente). El Almidón Acetilado (A) también cruza el umbral en el diagrama, aunque su significancia es menor comparada con los otros dos componentes básicos. Por otro lado, la interacción AB (los dos

tipos de almidón de papa) es la única que no alcanza el nivel de significancia, lo que sugiere que su mezcla no altera la textura de forma tan crítica como cuando interviene la harina de arroz

Ecuación de regresión (Polinomio) Fuerza de Ruptura

$$\text{FR} = 2850.8 - 1698.5 C - 1304.5 B*C + 949.7 B - 450.4 A*C - 28.6 A \\ + 241.4 A*B*C - 16.0 A*B$$

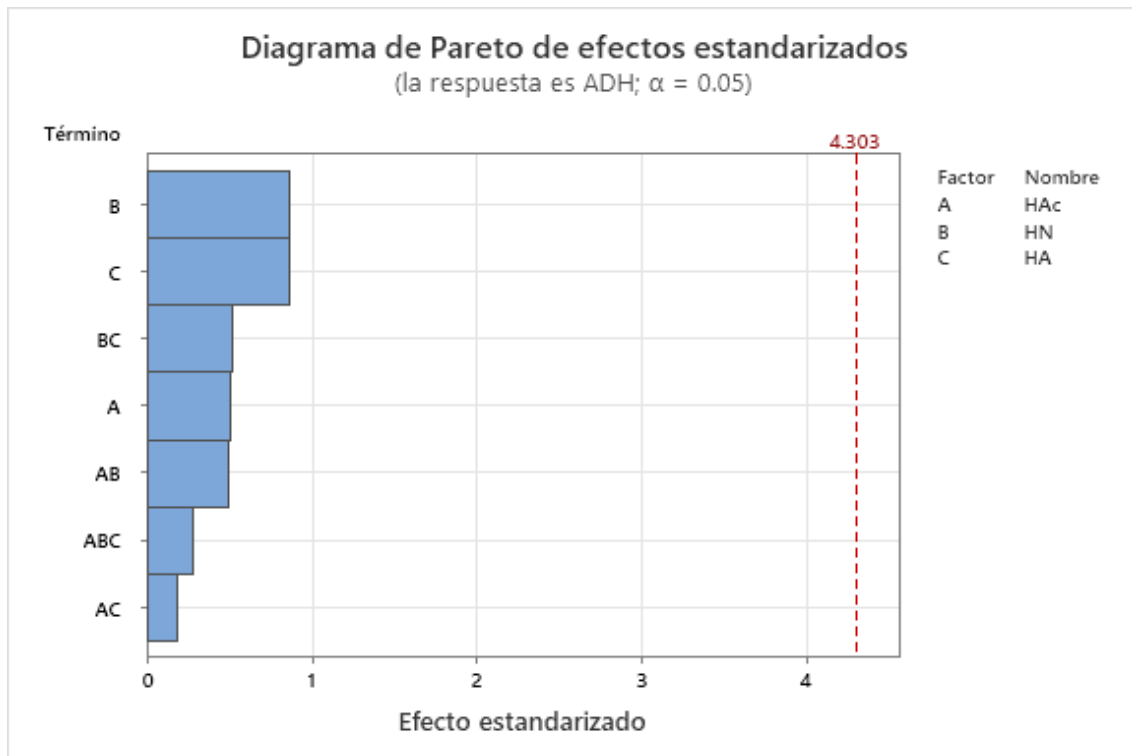
En el caso de la interacción BC (Almidón Nativo x Harina de Arroz), se puede observar tanto en la función del polinomio como en el Diagrama de Pareto que es la interacción con mayor significancia dentro de la fuerza del gel ($p = 0.005$); esto indica que la relación entre el almidón nativo de papa y la harina de arroz es el factor con la respuesta más alta en el sistema. Debido a su signo negativo (-1304.5), que se alinea con la tendencia del componente C, se interpreta que la interacción de estos ingredientes influye de manera inversa en la resistencia final de la muestra.

Se observa que B (Almidón Nativo) posee el coeficiente positivo más alto (949.7), consolidándose como el factor que más contribuye a incrementar la firmeza del gel. Por el contrario, la C (Harina de Arroz) presenta un coeficiente negativo con un valor alto (-1698.5), lo que significa que, al aumentar la harina de arroz dentro del rango de sustitución planteado, la fuerza de ruptura tiende a disminuir considerablemente en comparación con las que contienen un mayor contenido de almidón de papa en su formulación.

Diseño experimental con respuesta Adhesividad

Diagrama de Pareto Adhesividad

Figura 10: Diagrama de Pareto Adhesividad



Fuente: Minitab

La línea roja en el valor 4.303 marca el umbral de significancia estadística para un nivel de confianza del 95%. Como se puede apreciar en el diagrama, ninguna de las barras logra cruzar este límite, lo que indica que ninguno de los factores ni sus interacciones tienen un impacto estadísticamente significativo sobre la adhesividad del gel.

Todos los términos muestran un valor p muy superior a 0.05. Por ejemplo, los ingredientes individuales Almidón Nativo (B) y Harina de Arroz (C) presentan un valor p de 0.476, mientras que la interacción entre el almidón acetilado y la harina de arroz (AC) tiene el valor p más alto (0.873). Esto valida que, para esta formulación, la adhesividad es una propiedad que no se verá alterada de forma real por las variaciones en las proporciones de los componentes dentro del rango estudiado.

Ecuación de regresión (Polinomio) Adhesividad

$$\text{ADH} = -103.9 + 51.0 B + 51.0 C - 30.1 B * C + 29.9 A - 29.1 A * B \\ - 16.4 A * B * C - 10.6 A * C$$

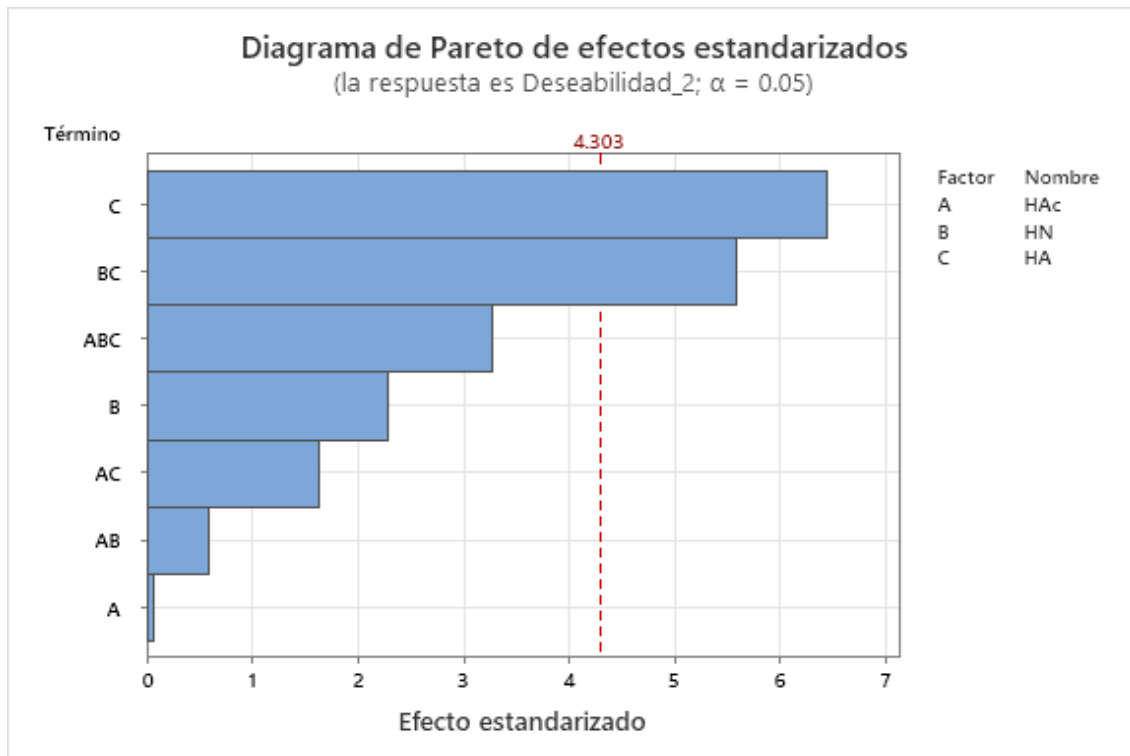
En el caso de la adhesividad, se puede observar tanto en la función del polinomio como en el Diagrama de Pareto que ningún factor o interacción alcanza el nivel de significancia estadística, ya que ninguna barra cruza el umbral de 4.303.

Diseño experimental con respuesta Función de Deseabilidad

La función de deseabilidad se calculó utilizando una transformación lineal de las respuestas fuerza del gel y fuerza de ruptura, mientras que con la respuesta Adhesividad se utilizó una transformación lineal inversa. Para este caso se utilizó el mismo peso para cada una de las variables utilizadas.

Diagrama de Pareto Deseabilidad

Figura 11: Diagrama de Pareto Deseabilidad



Fuente: Minitab

Ecuación de regresión (Polinomio) Deseabilidad

$$\begin{aligned} \text{Deseabilidad} = & 0.2305 - 0.1248 C - 0.1080 B*C - 0.0013 A + 0.0443 B \\ & + 0.0115 A*B - 0.0315 A*C + 0.0633 A*B*C \end{aligned}$$

La variable C, Harina de Arroz, se ve como el factor estadísticamente más significativo ($p = 0.023$) con un impacto inverso sobre la deseabilidad global del dango, tal como lo demuestra su coeficiente negativo de -0.1248 en la ecuación de regresión. Este comportamiento indica que un incremento de Harina de Arroz dentro del rango de sustitución tiende a reducir la aceptación del producto, lo cual se vincula directamente con la disminución observada en la fuerza de gel (coeficiente de -34.32) y la fuerza de ruptura (coeficiente de -1698.5), que son parte importante de un dango tradicional.

La interacción entre el Almidón Nativo y la Harina de Arroz (B*C) resultó ser la relación combinada con el valor más significativo de la fórmula. Con un valor p de 0.031 y un efecto negativo de -0.2160, esta interacción BC demuestra que estos dos ingredientes no actúan de forma aislada. El comportamiento del dango es sensible a cómo reaccionan estos almidones; si no se equilibran correctamente, la mezcla pierde su capacidad de asemejarse a la textura "chiclosa", lo que confirma que el control de esta proporción es el factor que más influye en la variabilidad del producto.

El Diagrama de Pareto muestra que al marcar un umbral de significancia en 4.303. Únicamente la harina de Arroz (C) y su interacción con el Almidón Nativo (B), es decir (BC), logran cruzar esta línea roja, siendo los factores que se podrían optimizar. Los demás elementos, como el almidón acetilado (A) o las interacciones triples, aunque forman parte de la matriz, no tienen un impacto estadísticamente determinante por sí solos para alcanzar la similitud del dango.

Colorimetría

La evaluación colorimétrica de los pigmentos obtenidos por decocción es importante para asegurar que los tonos de los dangos de papa respeten la tradición japonesa sin necesidad de aditivos sintéticos. Este análisis traduce la apariencia visual en datos usando el espacio de color CIE y el colorímetro Lovibond, midiendo parámetros como luminosidad (L), cromaticidad (a y b), saturación (C) y tono (h), obteniendo los resultados que se observan en las tablas 10 y 11 y en la figura 12.

Tabla 10: Resultados colorimetría

	Parámetro	L	a	b	C	h
Muestra	R1	6.7	28.5	7.4	29.4	14.5
	R2	6.9	27.9	7.1	28.8	14.3
	R3	12.7	25.4	7.2	26.4	15.8

Fuente: Autoría propia

Tabla 11: Resultados colorimetría

	Parámetro	L	a	b	C	h
Muestra	N1	54.9	5.7	42.6	43.0	82.4
	N2	53.3	5.4	42.1	42.4	82.7
	N3	54.2	5.3	40.3	40.6	82.5

Fuente: Autoría propia

Figura 12: Colorímetro Lovibond utilizado para el análisis



Fuente: Minitab

Pigmento de Remolacha (R)

Los extractos obtenidos de la remolacha mediante decocción presentaron una luminosidad (L) reducida, con valores registrados entre 6.7 y 15.4, lo que evidencia una alta densidad de pigmentos betaláinicos que dan como resultado una coloración profunda y oscura. El parámetro más relevante fue la coordenada a, con valores positivos que alcanzaron hasta 28.5, confirmando una fuerte presencia del espectro rojo. El ángulo de tono (h) se situó en un promedio de 14.0°, lo que posiciona técnicamente a este pigmento dentro de la gama de los rojos intensos, ideal para replicar el color rosado de los dangos tradicionales, que representan los brotes de cerezo al ser diluido en la masa de papa.

Pigmento de Nabo (N)

En el caso del nabo extraído por decocción, los resultados colorimétricos reflejaron una identidad cromática distinta, orientada hacia el espectro amarillo-verde. Estos ensayos mostraron una luminosidad (L) significativamente más alta, con un promedio de 54.1, lo que aporta claridad a la mezcla final. La coordenada b (amarillo) fue el indicador dominante con valores consistentes de hasta 42.6, mientras que el ángulo de tono (h) de 82.5° confirmó una coloración amarilla estable. Estos datos validan que el proceso de decocción aplicado al nabo permite obtener un pigmento vibrante y natural que contribuye a la estética tricolor del producto.

Saturación e Intensidad (Chroma)

El parámetro de Cromo (C) permitió cuantificar la pureza y viveza de los colores extraídos. El pigmento de nabo alcanzó una saturación elevada de 43.0, superando la intensidad del pigmento de remolacha (29.4) en estado puro. Esta intensidad demuestra que los compuestos naturales obtenidos por decocción poseen una capacidad colorante suficiente para sustituir a los pigmentos artificiales, mitigando así riesgos a la salud como alergias o toxicidad, mientras se mantiene un perfil sensorial atractivo para el consumidor local.

Caracterización de la mermelada y el cortado de membrillo

Frutilla (*Fragaria*): El análisis por triplicado de la frutilla mostró una alta densidad de azúcares naturales, con lecturas de 17.5 °Brix, 17.5 °Brix y 16.7 °Brix. El promedio de 17.23 °Brix confirma que la materia prima se encuentra en un estado de madurez óptimo, lo que garantiza un aporte de sabor y dulzor que permite disminuir el uso de saborizantes artificiales.

Membrillo (*Cydonia oblonga*): Para el membrillo, los resultados se centraron en el cortado de membrillo, registrando valores de 64.8 °Brix y 63.8 °Brix en los ensayos instrumentales. Estos niveles, superiores a los 60 °Brix, son dados por el enorme contenido de las pectinas naturales del fruto. Esta alta concentración de sólidos permite que el membrillo actúe como un agente gelificante para luego, poder simular la decoración de los dangos tradicionales que tienen anko (pasta de porotos dulce) y copiar esa textura grumosa.

Conclusiones y recomendaciones

En cuanto a la textura, se identificó que los lotes M4, M5, M6 y M11 tenían características aisladas que compartían con el lote control de arroz glutinoso, sin embargo, no hubo ninguno que tuviera un “óptimo” entre todas las características. El análisis estadístico confirmó que la interacción entre almidón nativo y harina de arroz es importante para poder definir la firmeza y resistencia del gel, lo que evidencia la sensibilidad de la matriz a las proporciones de sus componentes.

Como tal, no existe una muestra que sea representativa para todos los aspectos, por eso sería interesante continuar con la optimización, para terminar de establecer realmente cual sería la mezcla adecuada, y en qué proporciones para acercarse más; sin embargo, esto también prueba que no es posible realizar una sustitución completa dentro del diseño factorial de la harina de arroz por almidón de papa.

Los resultados de la calorimetría diferencial de barrido (DSC) señalaron que los almidones de papa, tanto nativo como acetilado, presentan una estructura más resistente que el arroz glutinoso. Esto se refleja en mayores valores de entalpía y temperaturas de gelatinización

superiores a los 100 °C, lo que garantiza estabilidad térmica durante la cocción y el almacenamiento.

Se detectó cierta variabilidad en los resultados, atribuida principalmente al moldeado y preparado manual. Las diferencias en forma, elaboración y la presencia de burbujas de aire además de las posibles variaciones de la fórmula química, o del método de preparación, pudieron afectar en la repetitividad de los experimentos.

Por ello, se recomienda implementar un sistema de moldeado mecánico o extrusión que permita estandarizar peso y geometría. Esto reduciría la variabilidad y facilitaría el escalado industrial y además, tratar de estandarizar todo dentro del diseño experimental, incluyendo el orden de los ingredientes.

Finalmente, se sugiere profundizar en estudios de optimización multivariable y en pruebas de vida útil para evaluar la retrogradación de los almidones. Además, se plantea aprovechar otras variedades de papa con más alto contenido de sólidos en la repostería nacional, integrando ciencia de alimentos y tradición cultural para desarrollar productos innovadores con identidad ecuatoriana.

Referencias Bibliográficas

Alcaldía de Cuenca. (2024, October). *Festival de Cultura “Japón en Cuenca” busca fortalecer lazos de cooperación internacional* | GAD Municipal de Cuenca.

<https://www.cuenca.gob.ec/content/festival-de-cultura-japon-en-cuenca-busca-fortalecer-lazos-de-cooperacion-internacional>

Ali, M. M., & Hashim, N. (2024). Exploring Nutritional Compositions, Volatile Compounds, Health Benefits, Emerging Processing Technologies, and Potential Food Products of Glutinous Rice: A Review. *Rice Science*, 31(3), 251–268.

<https://doi.org/10.1016/J.RSCI.2024.02.002>

Al-Zughbi, I., & Krayem, M. (2022). Quince fruit *Cydonia oblonga* Mill nutritional composition, antioxidative properties, health benefits and consumers preferences towards some industrial quince products: A review. *Food Chemistry*, 393, 133362.

<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2022.133362>

Amagliani, L., O’Regan, J., Kelly, A. L., & O’Mahony, J. A. (2016a). Chemistry, structure, functionality and applications of rice starch. *Journal of Cereal Science*, 70, 291–300.

<https://doi.org/10.1016/J.JCS.2016.06.014>

Amagliani, L., O’Regan, J., Kelly, A. L., & O’Mahony, J. A. (2016b). Chemistry, structure, functionality and applications of rice starch. *Journal of Cereal Science*, 70, 291–300.

<https://doi.org/10.1016/J.JCS.2016.06.014>

Ayensa, R., & Castillo, V. (2019, April 8). *Generalidades del arroz – Cultivo de arroz*.

<https://cultivoarroz.home.blog/generalidades-del-arroz/>

CMV. (2024, June 18). *Sushi: el plan ideal de los ecuatorianos para las noches de fin de semana - Diario El Mercurio*. <https://elmercurio.com.ec/tendencia/2022/06/18/sushi-el-plan-ideal-de-los-ecuatorianos-para-las-noches-de-fin-de-semana/>

de Oliveira, Z. B., Silva da Costa, D. V., da Silva dos Santos, A. C., da Silva Júnior, A. Q., de Lima Silva, A., de Santana, R. C. F., Costa, I. C. G., de Sousa Ramos, S. F., Padilla, G., & da

Silva, S. K. R. (2024). Synthetic Colors in Food: A Warning for Children's Health.

International Journal of Environmental Research and Public Health, 21(6), 682.

<https://doi.org/10.3390/IJERPH21060682>

Dehabadi, L., Shakouri, M., Simonson, C. J., Arjmand, M., Sundararaj, U., Wilson, L. D.,

Dehabadi, L., Shakouri, M., Simonson, C. J., Arjmand, M., Sundararaj, U., & Wilson, L. D.

(2018). Vapour and Solution Uptake Properties of Starch and Cellulose Biopolymers. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 6(5), 101–117.

<https://doi.org/10.4236/GEP.2018.65009>

Delforge, I. (2001, June 26). *GRAIN | Laos at the crossroads*. [https://grain.org/en/article/315-](https://grain.org/en/article/315-laos-at-the-crossroads)

[laos-at-the-crossroads](https://grain.org/en/article/315-laos-at-the-crossroads)

Díaz Yubero, I. (2019). Alimentos con historia. (Mercasa, pp. 53–83). Mercasa.

<https://www.mercasa.es/wp-content/uploads/2022/03/AlimentosconhistoriaIndex.pdf>

Equipo Medicover. (2023, August 24). *Efectos nocivos de los colorantes alimentarios*

artificiales. <https://www.medicoverhospitals.in/es/articles/health-risks-of-artificial-food-dyes>

Ezekiel, R., Singh, N., Sharma, S., & Kaur, A. (2013). Beneficial phytochemicals in potato — a review. *Food Research International*, 50(2), 487–496.

<https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2011.04.025>

Fonseca, L. M., Halal, S. L. M. el, Dias, A. R. G., & Zavareze, E. da R. (2021). Physical modification of starch by heat-moisture treatment and annealing and their applications: A review. *Carbohydrate Polymers*, 274. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2021.118665>

<https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2021.118665>

González Isidro. (2022). *Boletín Científico - Ingenio y Conciencia No. 1*.

<https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/sahagun/n1/e1.html>

Gutiérrez Pulido, H., & de la Vara Salazar, R. (2015). Análisis y diseño de experimentos

Retrieved June 23, 2026, from

https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf

Henrique, K. (2015, January 17). *Dango Japonés: Historia, Recetas y Curiosidades* | *Suki Desu*. <https://skdesu.com/es/dango-dulce-curiosidades-japonesas-y-receta/>

Holtzman, J. (2015). Dulzor, género e identidad en el arte culinario de Japón. *Estudios de Asia y África*, 50(3), 701–720. <https://doi.org/10.24201/EAA.V50I3.2045>

Jaszczak-Wilke, E., Polkowska, Ż., Koprowski, M., Owsianik, K., Mitchell, A. E., & Bałczewski, P. (2021). Amygdalin: Toxicity, Anticancer Activity and Analytical Procedures for Its Determination in Plant Seeds. *Molecules*, 26(8), 2253. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES26082253>

Lin, Q., Nie, Q., Chen, C., Sun, Y., Zhang, S., Zou, J., & Nie, S. (2026). Deciphering the Effects of Food Colorants on Host Health: Gut Microbiota Dependent and Independent Pathways. *Engineering*. <https://doi.org/10.1016/J.ENG.2026.01.011>

Marsh, K. (2013, January 23). *The Original (Quince) Marmalade* | *British Food: A History*. <https://britishfoodhistory.com/2013/01/23/the-original-quince-marmalade/>

Michael, P., Kenneth, O., & Kulikowski, M. (n.d.). *NC State Geneticists Study Origin, Evolution Of Sticky Rice*. Retrieved June 23, 2026, from <https://www.sciencedaily.com/releases/2002/10/021023064638.htm>

Moran, E. T. (2019). Starch: Granule, Amylose-Amylopectin, Feed Preparation, and Recovery by the Fowl's Gastrointestinal Tract. *Journal of Applied Poultry Research*, 28(3), 566–586. <https://doi.org/10.3382/JAPR/PFY046>

NanoLabs. (n.d.). *Blog* | *NANOLAB LABORATORIES GROUP*. Retrieved June 21, 2026, from <https://www.nano-lab.com.tr/es/blog/detail/prueba-de-resistencia-del-gel-prueba-de-floracin>

Nikolova, S. (2020b, November 9). *Proceso de elaboración de dulce de membrillo*. https://tecnologiaalimentaria.com/proceso_elaboracion_dulce_membrillo.php

ONDATA. (2025, June 18). *La ecuatorianización del sushi*. <https://www.ondata.com.ec/la-ecuatorianizacion-del-sushi-asi-se-fusiona-japon-con-los-sabores-del-ecuador/>

Pardo Cuervo, O. H., Castañeda Mancipe, J. C. & Ortiz, C. A. (2013). Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa. *Acta Agronómica*, 62(4), 289–295.

https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/37126

Pumisacho, M., & Sherwood, S. (2002). *EL CULTIVO DE LA PAPA EN ECUADOR*.

Pumisacho, & Velasquez. (2009). *CHOLA – Inventario de Tecnologías e Información para el Cultivo de Papa en Ecuador*. <https://cipotato.org/papaenecuador/2017/10/12/35-chola/>

Rambler, R. M., Rinehart, E., Boehmler, W., Gait, P., Moore, J., Schlenker, M., & Kashyap, R. (2022). A Review of the Association of Blue Food Coloring With Attention Deficit.

[10.7759/cureus.29241](https://doi.org/10.7759/cureus.29241)

Hyperactivity Disorder Symptoms in Children. *Cureus*.

<https://doi.org/10.7759/CUREUS.29241>

Ravilious, K. (2010, June 9). *Sticky Rice Holds Ancient Chinese Buildings Together* | *National Geographic*. <https://www.nationalgeographic.com/history/article/100608-sticky-rice-mortar-china-science>

Rincón, A. M., Bou Rached, L., Aragoza, L. E., & Padilla, F. (2026). Efecto de la acetilación y oxidación sobre algunas propiedades del almidón de semillas de Fruto de pan (*Artocarpus altilis*). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(3), 287–294.

<https://doi.org/10.37527/2007.57.3.011>

Romani, M., Baruzzi, G., & Maccarone, G. (2002). *¿Cómo se extraen los pigmentos de las plantas?* - Blog. <https://es.pvcchemical.com/blog/how-are-pigments-extracted-from-plants-2031295.html>

Rubin, R. (2025a). Why and How FDA Wants to End Use of Synthetic Food Dyes. *JAMA*, 333(21), 1850–1851. <https://doi.org/10.1001/JAMA.2025.7142>

Sepúlveda, L. (2023, March 21). *Colorantes artificiales dañan la salud* | Centro Universitario del Sur. <https://www.cusur.udg.mx/es/noticias/colorantes-artificiales-danan-la-salud>

Shimbo, H. (2000). *The Japanese kitchen, 250 recipes in a traditional spirit*. <https://archive.org/details/japanesekitchen20000shim>

Sierra de Baza. (2024). *Membrillo (Cydonia oblonga)*. <https://sierradebaza.org/fichas-tecnicas/fichas-flora-plantas/flora-j-a-n/membrillo-cydonia-oblonga>

Singh, B., Singh, J., Pal Singh, J., Kaur, A., & Singh, N. (2019, August 27). *Phenolic compounds in potato (Solanum tuberosum L.) peel and their health-promoting activities - Singh - 2020 - International Journal of Food Science & Technology - Wiley Online Library*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/ijfs.14361>

Singh, B., Singh, J., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2020). Phenolic compounds in potato (*Solanum tuberosum* L.) peel and their health-promoting activities. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(6), 2273–2281. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14361>
Stable Micro Systems Ltd. (2020, June 10). *How to Measure the Physical Properties of Gels & Films*. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=19349>

Stevens, L. J., Burgess, J. R., Stochelski, M. A., & Kuczek, T. (2015). Amounts of artificial food dyes and added sugars in foods and sweets commonly consumed by children. *Clinical Pediatrics*, 54(4), 309–321. <https://doi.org/10.1177/0009922814530803>

Stat-Ease. (2025). *Stat-Ease » v23.1 » Descripción general de la optimización » Optimización numérica » Función de deseabilidad*. <https://www.statease.com/docs/v23.1/contents/optimization/desirability-function/>

Subroto, E., Cahyana, Y., Indiarso, R., & Rahmah, T. A. (2023a). Modification of Starches and Flours by Acetylation and Its Dual Modifications: A Review of Impact on Physicochemical Properties and Their Applications. *Polymers*, 15(14), 2990. <https://doi.org/10.3390/POLYM15142990>

Subroto, E., Cahyana, Y., Indiarso, R., & Rahmah, T. A. (2023b). Modification of Starches and Flours by Acetylation and Its Dual Modifications: A Review of Impact on Physicochemical Properties and Their Applications. *Polymers*, 15(14), 2990.

<https://doi.org/10.3390/POLYM15142990>

Porru, A. (2021, April 5). *¿Qué son los extractos de plantas medicinales? - Notas Naturales*.

<https://www.notasnaturales.com/extractos-de-plantas-medicinales/>

Surmacka, A. (2024, October 23). *Uso Correcto del TPA*.

<https://www.analisisdetextura.com/soporte-analisis-de-textura/formacion/uso-correcto-del-tpa>

Thurrott, S. (2026, March 2). *Lo que debe saber sobre los riesgos de los colorantes alimentarios | Banner Health*. <https://www.bannerhealth.com/es/healthcareblog/advice-me/what-you-should-know-about-food-dye-risks>

Ventura Neyra, C. J. (2020). *Efecto de la inoculación de micorriza (Glomus spp) sobre el rendimiento y calidad en el cultivo de cebolla amarilla dulce (Allium cepa L.) cultivar century en Villacuri - Ica*. Universidad Nacional San Luis Gonzaga.

<https://hdl.handle.net/20.500.13028/4278>

Yan, W., Yin, L., Zhang, M., Zhang, M., & Jia, X. (2021). Gelatinization, Retrogradation and Gel Properties of Wheat Starch–Wheat Bran Arabinoxylan Complexes. *Gels*, 7(4), 200.

<https://doi.org/10.3390/GELS7040200>

Yang, F., Zhang, B., & Ma, Q. (2010). Study of sticky rice-lime mortar technology for the restoration of historical masonry construction. *Accounts of Chemical Research*, 43(6), 936–944. <https://doi.org/10.1021/AR9001944>

ZHANG, H., XU, F., WU, Y., HU, H. hai, & DAI, X. feng. (2017). Progress of potato staple food research and industry development in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(12), 2924–2932. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61736-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61736-2)

Anexos

Análisis de Varianza Fuerza de Gel

Anexo 1: Análisis de la Varianza Fuerza de Gel

Análisis de la Varianza Fuerza de Gel

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	99122.2	12390.3	330.04	0.003
Lineal	3	32642.0	10880.7	289.83	0.003
HAc	1	6913.7	6913.7	184.16	0.005
HN	1	16308.2	16308.2	434.40	0.002
HA	1	9420.2	9420.2	250.93	0.004
Interacciones de 2 términos	3	42235.7	14078.6	375.01	0.003
HAc*HN	1	300.6	300.6	8.01	0.105
HAc*HA	1	1490.6	1490.6	39.70	0.024
HN*HA	1	40444.5	40444.5	1077.33	0.001
Interacciones de 3 términos	1	3213.6	3213.6	85.60	0.011
HAc*HN*HA	1	3213.6	3213.6	85.60	0.011
Curvatura	1	21030.9	21030.9	560.20	0.002
Error	2	75.1	37.5		
Total	10	99197.3			

Fuente: Minitab

Coefficientes codificados Fuerza de Gel

Anexo 2: Coeficientes codificados Fuerza de Gel

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		141.14	2.17	65.15	0.000	
HAc	58.79	29.40	2.17	13.57	0.005	1.00
HN	90.30	45.15	2.17	20.84	0.002	1.00
HA	-68.63	-34.32	2.17	-15.84	0.004	1.00
HAc*HN	12.26	6.13	2.17	2.83	0.105	1.00
HAc*HA	-27.30	-13.65	2.17	-6.30	0.024	1.00
HN*HA	-142.20	-71.10	2.17	-32.82	0.001	1.00
HAc*HN*HA	-40.09	-20.04	2.17	-9.25	0.011	1.00
Pt Ctral		-98.18	4.15	-23.67	0.002	1.00

Fuente: Minitab

Análisis de Varianza Fuerza de Ruptura**Anexo 3: Análisis de la varianza Fuerza de Ruptura**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	57748540	7218568	103.53	0.010
Lineal	3	30301264	10100421	144.87	0.007
HAc	1	6533	6533	0.09	0.788
HN	1	7214833	7214833	103.48	0.010
HA	1	23079897	23079897	331.02	0.003
Interacciones de 2 términos	3	15239217	5079739	72.86	0.014
HAc*HN	1	2041	2041	0.03	0.880

HAc*HA	1	1622683	1622683	23.27	0.040
HN*HA	1	13614493	13614493	195.27	0.005
Interacciones de 3 términos	1	466143	466143	6.69	0.123
HAc*HN*HA	1	466143	466143	6.69	0.123
Curvatura	1	11741917	11741917	168.41	0.006
Error	2	139446	69723		
Total	10	57887986			

Fuente: Minitab

Coefficientes codificados Fuerza de Ruptura

Anexo 4: Coeficientes codificados Fuerza de Ruptura

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		2850.8	93.4	30.54	0.001	
HAc	-57.2	-28.6	93.4	-0.31	0.788	1.00
HN	1899.3	949.7	93.4	10.17	0.010	1.00
HA	-3397.1	-1698.5	93.4	-18.19	0.003	1.00
HAc*HN	-31.9	-16.0	93.4	-0.17	0.880	1.00
HAc*HA	-900.7	-450.4	93.4	-4.82	0.040	1.00
HN*HA	-2609.1	-1304.5	93.4	-13.97	0.005	1.00
HAc*HN*HA	482.8	241.4	93.4	2.59	0.123	1.00
Pt Ctral		-2320	179	-12.98	0.006	1.00

Fuente: Minitab

Análisis de Varianza Adhesividad

Anexo 5: Análisis de la varianza Adhesividad

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	79956	9994.4	0.36	0.877
Lineal	3	48710	16236.8	0.59	0.678
HAc	1	7131	7131.2	0.26	0.661
HN	1	20795	20794.7	0.76	0.476
HA	1	20785	20784.5	0.76	0.476
Interacciones de 2 términos	3	14947	4982.4	0.18	0.901
HAc*HN	1	6774	6773.9	0.25	0.669
HAc*HA	1	902	901.6	0.03	0.873
HN*HA	1	7272	7271.6	0.26	0.658
Interacciones de 3 términos	1	2159	2158.6	0.08	0.806
HAc*HN*HA	1	2159	2158.6	0.08	0.806
Curvatura	1	14139	14139.5	0.51	0.548
Error	2	54993	27496.7		
Total	10	134949			

Fuente: Minitab

Coefficientes codificados Adhesividad

Anexo 6: Coeficientes codificados Adhesividad

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		-103.9	58.6	-1.77	0.218	
HAc	59.7	29.9	58.6	0.51	0.661	1.00
HN	102.0	51.0	58.6	0.87	0.476	1.00
HA	101.9	51.0	58.6	0.87	0.476	1.00
HAc*HN	-58.2	-29.1	58.6	-0.50	0.669	1.00
HAc*HA	-21.2	-10.6	58.6	-0.18	0.873	1.00
HN*HA	-60.3	-30.1	58.6	-0.51	0.658	1.00
HAc*HN*HA	-32.9	-16.4	58.6	-0.28	0.806	1.00
Pt Ctral		-81	112	-0.72	0.548	1.00

Fuente: Minitab

Análisis de Varianza Deseabilidad**Anexo 7: Análisis de la Varianza Deseabilidad**

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	8	0.347957	0.043495	14.55	0.066
Lineal	3	0.140178	0.046726	15.63	0.061
HAc	1	0.000013	0.000013	0.00	0.954
HN	1	0.015664	0.015664	5.24	0.149
HA	1	0.124501	0.124501	41.65	0.023

Interacciones de 2 términos	3	0.102308	0.034103	11.41	0.082
HAc*HN	1	0.001058	0.001058	0.35	0.612
HAc*HA	1	0.007938	0.007938	2.66	0.245
HN*HA	1	0.093312	0.093312	31.22	0.031
Interacciones de 3 términos	1	0.032004	0.032004	10.71	0.082
HAc*HN*HA	1	0.032004	0.032004	10.71	0.082
Curvatura	1	0.073467	0.073467	24.58	0.038
Error	2	0.005978	0.002989		
Total	10	0.353935			

Fuente: Minitab

Coefficientes codificados Deseabilidad

Anexo 8: Coeficientes codificados Deseabilidad

Término	Efecto	Coef.	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		0.2305	0.0193	11.92	0.007	
HAc	-0.0025	-0.0013	0.0193	-0.06	0.954	1.00
HN	0.0885	0.0443	0.0193	2.29	0.149	1.00
HA	-0.2495	-0.1248	0.0193	-6.45	0.023	1.00
HAc*HN	0.0230	0.0115	0.0193	0.59	0.612	1.00
HAc*HA	-0.0630	-0.0315	0.0193	-1.63	0.245	1.00
HN*HA	-0.2160	-0.1080	0.0193	-5.59	0.031	1.00
HAc*HN*HA	0.1265	0.0633	0.0193	3.27	0.082	1.00

Pt Ctral		-0.1835	0.0370	-4.96	0.038	1.00
----------	--	---------	--------	-------	-------	------

Fuente: Minitab