

INFORME 1 Plan Experimental

Karen Andrea Amaya¹, Ana María Sánchez² y Carolina Vergara Clavijo³

Fecha de entrega: 02 – 01 – 2021

1. Marco Teórico

Las palomitas de maíz (popcorn en inglés) son un alimento integral y representan uno de los bocadillos más populares y antiguos para consumidores en gran parte del mundo ya que presentan excelentes propiedades nutricionales para el ser humano. Tiene sus orígenes en México, pues los historiadores han encontrado restos de palomitas de maíz que datan alrededor de 3600 a.C. Los tipos más desarrollados llegaron posteriormente a otros territorios de América.[1] Anteriormente, los indígenas solían realizar este proceso en ollas de barro muy calientes o bien, poniendo granos sobre ceniza ardiente. Cuando Cristóbal Colón llegó a América, notó que los nativos hacían sombreros y accesorios con palomitas de maíz los cuales eran vendidos a los marineros [1]. En épocas más recientes, la tradición de comer palomitas de maíz en cine empezó en Estados Unidos durante los años de la Gran Depresión (1929-1933) [1]. Durante la Segunda Guerra Mundial, el azúcar se enviaba a las tropas al extranjero, por lo cual no había suficiente suministro de este último, dicho suceso incrementó tres veces más el consumo de palomitas de palomitas en el país.[2] Sin embargo, las ventas cayeron a fines de la década de 1940, por la llegada de la televisión lo cual disminuyó la concurrencia en las salas de cine y por ende el consumo de palomitas de maíz.[2] Pero finalmente a principios de la década de 1950 tuvo su período de mayor crecimiento en el consumo doméstico, gracias a diversas campañas publicitarias [2]. Hoy en día Estados Unidos es el principal productor y exportador mundial de maíz pira en grano, seguido por China, Brasil y Argentina.[3]

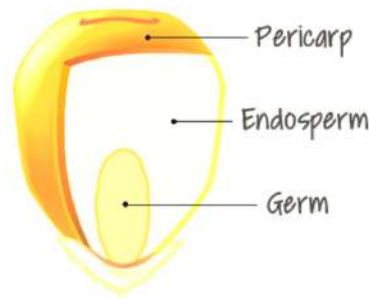


Imagen tomada de: popcorn.org

Figura 1: Estructura básica del grano de maíz pira.

Las palomitas de maíz se componen de tres componentes principales: el endospermo, el germen y el pericarpio [Figura 1]. El pericarpio es la cáscara exterior del grano, está hecho de celulosa. El endospermo, contiene algo de agua atrapada, almidón blando y duro tiene como función proporcionar energía al germen cuando esta brota. Cuando un grano se somete a temperaturas alrededor de 180 °C por un período corto, el agua atrapada en el endospermo se convierte en vapor, acumulando presión dentro del pericarpio que puede llegar a 10 atm. Este vapor presurizado y sobrecalentado transforma el almidón blando del endospermo en un material gelatinoso. En estas condiciones el pericarpio se rompe, liberando el vapor y el almidón gelatinoso que se solidifica al enfriarse. El núcleo reventado resultante tiene entre 40 y 50 veces su tamaño original [4].

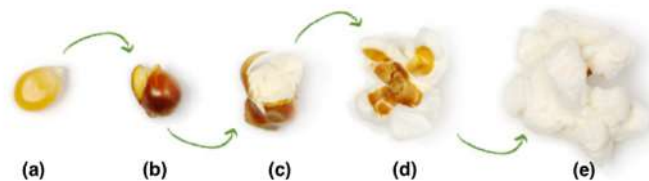


Imagen tomada de: popcorn.org

Figura 2: Transformación del grano de maíz pira sometido a alta temperatura.

Tipos de palomitas de maíz.

Existen dos tipos principales de palomitas de maíz muy populares, palomitas mariposa y palomitas champiñón, cuya principal distinción es la forma del grano después de reventado [Figura 3]

¹ Estudiante Estadística, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín.

² Estudiante Estadística, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín

³ Estudiante Estadística, Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín



Imagen tomada de: popcornopolis.com

Figura 3: forma de las palomitas mariposa (izquierda) y las palomitas champiñón (derecha).

Según la clase de palomita también así es su uso en la industria alimentaria, por ejemplo, las palomitas mariposa son mas ampliamente usadas en teatros y salas de cine, y generalmente son ofrecidas con un poco de sal y quizá un poco de mantequilla derretida, mientras que las palomitas champiñón por su robusta forma sin alas hace que sea mas fácil incorporar otro tipo de ingredientes como recubrimiento de caramelo o queso cheddar [9]. De acuerdo con [9] el maíz es un invento humano y no puede existir por sí mismo en la naturaleza. Solo puede sobrevivir si no es plantado y protegido por humanos. Se menciona además que, actualmente se cultivan principalmente 3 tipos de maíz: maíz dentado, maíz dulce y palomitas de maíz. El maíz dentado, se usa para la alimentación animal y también se usa para hacer jarabes de maíz, biocombustibles y bioplásticos. El maíz dulce, más conocido como mazorca, se disfruta como alimento fresco, en lugar de dejarlo secar. El maíz pedernal, sus granos coloridos y se usa para decorar porque es duro e insípido. Y por último, las palomitas de maíz (una colección de variedades de Zea mays) que se caracterizan por tener una cáscara muy densa y resistente a la humedad lo cual permite que se acumule presión dentro del grano cuando se calienta y explote. Aunque hay otros cereales integrales, como el amaranto y el sorgo, que también pueden reventar, las palomitas de maíz tienen un mejor rendimiento. Hay otras variedades populares de palomitas de maíz entre miles de híbridos. Blanco sin cáscara y amarillo sin cáscara son las variedades que se venden más comúnmente y se envasan en bolsas para microondas.

Métodos de estallido o cocción.

Existen diversos métodos para la preparación de las palomitas de maíz, algunos de estos métodos son mas tradicionales que otros, dependiendo del método también pueden cambiar las características nutricionales del producto final. A continuación, se muestran los principales métodos de preparación de palomitas de maíz. [11]

Tabla 1 : Principales métodos para la preparación o estallido de maíz [11]

Método	Instrucciones
Estufa	Comienza con una olla grande, profunda y de fondo grueso. Agregar 1/4 taza de aceite de cocina. Caliente la olla a fuego medio-alto hasta que el aceite brille, pero no humee. Pruebe el aceite echando dos o tres granos. Si giran o reventan, el aceite está listo. Agregue 1/2 taza de granos de palomitas de maíz. Agite la sartén para que los granos estén cubiertos de aceite. Luego cubra la sartén y espere.
Con aire	Las palomitas de maíz infladas con aire tienen varias ventajas, que incluyen menos desorden y menos calorías debido a la falta de aceite que se usa para cocinar. Sin embargo, requiere de una maquina de aire.
Con microondas	Las palomitas de maíz en el microondas en bolsas preparadas previamente, completas con condimentos, es una forma conveniente de preparar un lote de palomitas de maíz.
A fuego abierto, (fogata, parrilla o chimenea)	En paquetes de papel de aluminio. Coloque 2 cucharadas de palomitas de maíz y 2 cucharadas de aceite de cocina en el centro de un cuadrado grande de papel de aluminio resistente. Forme el papel de aluminio en un paquete cerrado, dejando espacio adentro para que los granos se expandan. Coloque el paquete en calor indirecto, cerca pero no en las llamas.
Maquinas	Con pequeña máquina comercial de palomitas de maíz e instálela en su hogar. Las máquinas comerciales cocinan palomitas de maíz de manera similar a los métodos de estufa, utilizando aceite de cocina y una tetera calentada eléctricamente para reventar los granos. Los granos desbordan la tetera y caen en un recipiente de espera, a menudo una caja con paredes de vidrio, cuando terminan.

Cultivo e industrialización del maíz.

Las semillas de palomitas de maíz se crían para producir rasgos deseables, como la fuerza del tallo, el color del grano y el estallido exitoso. Los fitomejoradores seleccionan palomitas de maíz por rasgos genéticos mediante el uso de la endogamia para producir un híbrido, que luego se planta como semilla de palomitas de maíz. A medida que crece la planta de palomitas de maíz, el tallo alcanzará aproximadamente ocho pies de altura y producirá mazorcas de maíz cubiertas con una cáscara verde [13]. De acuerdo con [12] Las condiciones necesarias para el un cultivo de maíz óptimo se encuentran resumidas en la Tabla 2, entre las que destacan el ciclo de reproducción, la luminosidad, la temperatura y la humedad, entre otras.

Tabla 2 Condiciones edafo-climática requeridas para el cultivo de maíz [12]

Parámetro	Descripción
Ciclo reproductivoA	Semestral
Incidencia de luz solarA	Alta
Pluviometría A	40-65cm3
Temperatura B	32-35°C (humedad alta)
	27-30°C (humedad normal)
	20-27°C (humedad baja)
pH del sueloB	5.5-7.5
RiegoC	1600-2000m3/ha (siembra – inicio floración)
	1400-1750m3/ha (durante floración – formación de granos)
	600-1260m3/ha (desarrollo y crecimiento del grano)
NutrientesC	Nitrógeno: 100-150Kg/ha
Fósforo:	60-100Kg/ha
Potasio:	100-180Kg/ha

Se menciona además que uno de los acontecimientos más trascendentales en el procesamiento del maíz se dio en Estados Unidos, cuando se instaló en 1844 y por primera vez una planta para refinar el grano, esto permitió acelerar el ritmo, el desarrollo de los procesos como la extracción y molienda. En Colombia existen 2 tipos de cultivo de maíz: El tradicional y el tecnificado, siendo predominante en el país el tradicional, el cual es “practicado en granjas, haciendas o pequeñas extensiones de tierra, dirigido en su mayoría al autoconsumo”. Por otro lado, el tecnificado, “emplea agroquímicos y diversa maquinaria para la recolección y el procesamiento del maíz, como sembradoras, recolectores y trituradoras, entre otras. Se caracteriza por el uso de semillas certificadas y su práctica se lleva a cabo en extensiones de tierra relativamente grandes” [12]

Estudios previos sobre la preparación de palomitas de maíz.

Shavandi, Javanmard y Basiri [5] realizaron un estudio cuyo objetivo fue investigar el efecto del proceso de estallido infrarrojo (IR), a diferentes potencias IR y distancias sobre algunas características fisicoquímicas. de palomitas de maíz. Después del proceso de reventado, las muestras sin reventar se seleccionaron a mano y se registró el peso total del maíz reventado. El rendimiento del reventado se determinó midiendo el peso inicial del maíz y el peso final del maíz reventado y se expresó en porcentaje.

Por otro lado, Bayomy [6] llevó a cabo un estudio para evaluar las cualidades sensoriales, nutricionales y de reventado de dos tipos de palomitas de maíz (amarillas y moradas) bajo diferentes métodos de expansión. Los procesos de explosión aplicados fueron: en sartén con aceite y en una máquina eléctrica con y sin aceite, La evaluación se llevó a cabo con 40 jueces no entrenados, con edades entre 17 a 60 años. Los catadores calificaron de acuerdo con una escala de 1 para el peor, a 10 para el mejor, en cuanto a color, olor, sabor, textura y forma. El volumen de expansión de las palomitas aumentó cuando se aplicó el reventado con aceite en contraposición al reventado sin aceite y la mayor preferencia de los catadores fue la palomita producida por la máquina eléctrica con aceite en ambos tipos.

En [7] se abarcó un total de 12 híbridos de palomitas de maíz. Se analizaron las siguientes características: rendimiento de grano, tamaño del grano, peso de 1000 granos, volumen de explosión, porcentaje de granos sin explotar. Se aplicó el ANOVA para analizar los resultados de grano rendimiento obtenido y otras características agronómicas, así como establecer diferencias entre los genotipos. Las comparaciones entre las estimaciones promedio calculadas fueron realizadas por pruebas LSD. También características sensoriales (la apariencia, el sabor, el olor, la ternura, la textura crujiente, la adhesividad a los dientes, la presencia de pericarpio y la aceptabilidad general del sabor de las palomitas de maíz), las cuales se promediaron al final del experimento.

Los investigadores Ceylan, Mehmet et al. [15] estudiaron los efectos de diferentes ingredientes sobre el volumen de expansión y la proporción de granos sin reventar de palomitas de maíz con un método de reventado convencional y un horno de microondas, encontraron que componentes como la sal, el aceite vegetal, bicarbonato de sodio y la mantequilla afectan el volumen y la proporción de granos sin explotar.

Panel de evaluación sensorial.

Según [17] un panel de evaluación sensorial es un grupo de personas sensorialmente entrenadas, las cuales desarrollan sus habilidades organolépticas y están calificadas para detectar cualquier desviación que ocurra durante el proceso de producción. Un panel sensorial es un instrumento de medida flexible y sensible. Cada miembro de este panel tiene sistemas detectores múltiples los cuales son extremadamente sensibles y son capaces de integrar señales complejas. Un panel sensorial bien establecido produce resultados precisos y confiables.

¿Como se compone un panel de evaluación sensorial?

Para elaborar un panel sensorial se deben seguir los siguientes pasos: Reclutar, Seleccionar y Entrenar.

- **Reclutar:** Se debe reclutar más gente de la necesaria. Aun si se tienen que usar casi toda la gente disponible, es importante seleccionarlos para no incluir gente que no tenga suficiente sensibilidad para degustar. Los candidatos pueden ser preseleccionados con una entrevista y un cuestionario de preguntas acerca de los hábitos alimenticios de preferencia. Se debe motivar a los candidatos dándoles un panorama amplio del propósito de la evaluación sensorial y destacar el papel que ellos desempeñan en el programa.
- **Seleccionar:** El propósito de la selección es asegurar que solo la gente con la habilidad sensorial necesaria sea escogida para el entrenamiento y formar parte del panel. La selección no lleva Mucho tiempo y es fácil seleccionar buenos degustadores, bastara con dos sesiones de una hora cada uno.
- **Entrenar:** Durante el entrenamiento se busca que los degustadores alcancen algunos objetivos, tales como, desarrollar la habilidad para percibir, desarrollar la habilidad para reconocer, habilidad para cuantificar y habilidad para describir. Dependiendo del tipo de experimento se pueden usar degustadores entrenados o degustadores no entrenados, por ejemplo, para el análisis de consumidores se suele usar degustadores no entrenados dado que las pruebas deben ser lo mas espontaneas posibles para obtener una repuesta estadística aceptable [18]

¿Como se definen las escalas de calificación?

Las escalas de medición se utilizan para cuantificar la información de las pruebas sensoriales. Existen diferentes tipos de escalas: nominal, ordinal, de intervalo y racional [17]. Dado que el tipo de análisis estadístico que se llevará a cabo se ve afectado por el tipo de escala seleccionado, la escala de medición deberá seleccionarse después de haber analizado cuidadosamente los objetivos del estudio con propósito adoptar la escala mas adecuada para el experimento o estudio llevado a cabo.

- **Escala nominal:** Las escalas nominales son el tipo más sencillo de escala. En este tipo de escala, los números no tienen valor numérico real ya que se emplean para designar o nombrar categorías.

- **Escala ordinal:** En las escalas ordinales, los números representan posiciones. Las muestras se ordenan de acuerdo con una magnitud.
- **Escala de intervalo:** Las escalas de intervalo permiten ordenar muestras, de acuerdo con la magnitud de una sola característica del producto o de acuerdo con la aceptabilidad o preferencia.

Una de las escalas mas usadas para evaluaciones sensoriales de productos alimenticios es la escala hedónica y es usada para análisis de consumidores, se suele denominar también prueba hedónica y se trata de evaluar si el producto agrada o no. En este caso se trata de evaluadores no entrenados, las pruebas deben ser lo más espontáneas posibles. Para obtener una respuesta estadística aceptable se hace una consulta a varios individuos.[18]

1. Reconocimiento y planteamiento del problema:

a. *Formulación de los objetivos del experimento:*

La intención de este experimento es ilustrar el hecho que de la cantidad y sabor de palomitas de maíz obtenida de una misma variedad y cantidad determinada puede exhibir variaciones dependiendo de los factores controlables involucrados en el proceso de cocción tales como la marca, la temperatura, aditivos ingredientes usados en la preparación, entre otros. Por ello el enfoque de este estudio es presentar cómo las características de los factores controlables en el proceso de cocción pueden maximizar el rendimiento en la cantidad, calidad y sabor. Esta base de conocimientos se puede utilizar para orientar la selección de condiciones en el proceso de preparación de palomitas que proporcionen los valores en rendimiento y sabor más altos para los consumidores.

b. *Descripción del proceso y presentación de antecedentes relevantes:*

Así entonces, para lograr los objetivos presentados el proceso a seguir es el estudiar y comparar los factores que determinan el rendimiento y el sabor para dos diferentes marcas de maíz pira y dos diferentes tipos de engrasante: aceite vegetal y otro tipo de aceite en barra, similarmente en [7]. El cálculo del rendimiento del maíz será basado en el porcentaje de granos sin estallar, similarmente en [7], mientras que la calidad en el sabor será determinada mediante evaluación de paneles sensoriales [6] y [7].

La calidad de las palomitas depende de factores intrínsecos como la selección de híbridos condicionamientos y atributos fisicoquímicos del grano desde la siembra de la semilla hasta su recolección, almacenamiento y distribución, por lo cual se considera importante comparar marcas distintas con diferentes precios (uno más costoso en términos monetarios que el otro) que manejan un proceso independiente , y variables intrínsecas incluyendo el método de estallido e ingredientes aditivos, en este caso se considera la diferencia entre aceite vegetal y otro tipo en barra y el tiempo de cocción a una temperatura constante.

Variable(s) respuesta y cómo puede ser medida:

La variable respuesta será el porcentaje de granos que no reventaron después del experimento, de dicha forma se logra medir el rendimiento del maíz sometido a los tratamientos considerados. Su medición será grano por grano, lo cual debe dar como resultado un número entero, el cual a su vez será dividido por el número de granos que se sometieron a tratamiento en la corrida experimental correspondiente. La ecuación para calcular este rendimiento se presenta a continuación.

$$\% \text{ Granos sin reventar} = \frac{\text{Número de granos sin reventar}}{\text{Número de granos original}} * 100$$

En ese orden de ideas y tomando como referencia la evaluación de paneles sensoriales [6] y [7], se evalúan las palomitas resultantes de cada réplica por sus características gustativas con cuatro panelistas no entrenados. En cuanto a los panelistas, los requisitos para participar incluían ser mayor de 18 años, no tener una reacción alérgica o negativa conocida a las palomitas de maíz y no experimentar síntomas de enfermedad durante la prueba de sabor.[8] Se revisó la literatura y las normativas de evaluación sensorial para establecer los criterios de selección del panel de evaluación sensorial, sin embargo, no hay definiciones claras y quedan más bien a criterio del líder del panel. Se les solicitará a los panelistas una calificación de acuerdo con una escala de 1 para el peor, a 10 para el mejor, en cuanto a sabor, textura(Si es duro o suave) y presentación(si está quemado o no).

Tabla 3 Variables respuesta

Variable respuesta	Nivel normal de operación y rango	Precisión de medición	Relación entre la variable respuesta y el objetivo
Porcentaje de granos sin reventar	0 a 100 %	Conteo manual	A menor porcentaje de granos de maíz sin explotar, mayor rendimiento y visversa
Aceptación general	1-10	Subjetiva	1 para rechazo total, 10 par buena aceptación

2. Factores a considerar en el experimento:

Los factores identificados como controlables en el experimento fueron los siguientes: la marca de maíz, el tiempo de cocción y el tipo de engrasante, a continuación, se listan los factores principales y se identifican los niveles correspondientes que se usarán en el experimento.

Tabla 4 Factores controlables[14]

Variable de control	Nivel normal y rango	Precisión de medición	Efectos previstos (para varias respuestas)
A: Marca del maíz	Maíz El trece - Maíz TOT	Maíz El trece - Maíz TOT	Mayor rendimiento con marca TOT
B: Tipo de engrasante	Aceite - Aceite en barra	Aceite - Aceite en barra	Mejor Sabor con aceite en barra
C: Duración de cocción	1 o 2 minutos ± 5 segundos	Cronómetro	Mayor rendimiento con 2 minutos

No es de interés directo por parte de los investigadores el efecto de la cantidad de aditivo graso o catalizador mismo del proceso en consecuencia este se fijará en 5 ml, al igual que ciertos equipos como un mismo cronómetro para todas las corridas. Tampoco es de interés otros aditivos como sal o azúcar, ya que los mismo se pueden añadir al final de la cocción al gusto del consumidor.

Tabla 3 Factores constantes [14]

Variable de control	Nivel experimental deseado y rango permisible	Precisión de medición: ¿cómo se sabe?	Cómo controlar (en experimento)	Anticipated effects
Cantidad de engrasante	5ml \pm 0.5ml	Jeringa medida en mililitros		Ninguno
Aditivos	Ninguno	-	No se añaden aditivos	Sabor insípido por parte de los catadores

Dentro de los factores no controlables en la ejecución de este experimento se identifica la temperatura ambiente dado que es difícil garantizar que todas las corridas experimentales, condiciones atmosféricas y climáticas sean similares, otra de las variables no controladas son las características internas de las unidades experimentales en cuestión, no obstante aunque la idea es garantizar la mayor homogeneidad posibles entre estas unidades, algunas características inherentes a la unidades en sí, resultan de difícil medición como la humedad interna del grano, el polimorfismo del grano y el grosor de la cáscara o pericarpio. La olla o recipiente en cada corrida aumenta su temperatura y puede provocar que las corridas sean distintas.

Tabla 6 Factores de ruido [14]

Variable de control	Precisión de medición: ¿cómo se sabe?	Estrategia de aleatorización, bloqueo...	Anticipated effects
Condiciones atmosféricas	22 °C a 26 °C google weather	Aleatorización de las corridas experimentales	Leve
Temperatura olla		Reposo durante 5 minutos entre corridas	Moderado
Características de producción		Aleatorización de la tienda y selección de los lotes.	Leve

3. Unidades experimentales y regla de asignación de las unidades experimentales a los tratamientos:

La unidad experimental es cada muestra de 100 granos seleccionados aleatoriamente a los cuales se les aplicará la combinación de los factores A (Marca de maíz), B (Tipo de grasa) y C (Duración de cocción), ya que los niveles de dichos factores son seleccionados al criterio del experimentador se consideran de efectos fijos. No se incluyeron factores de bloqueo, sin embargo, hay algunas fuentes de variación que deben de tenerse en cuenta como la temperatura del ambiente que puede influir en la humedad dentro del grano de maíz, la temperatura de la estufa puede cambiar levemente, así, se intenta mantener una constancia en dicha temperatura. El diseño experimental para seguir es un experimento 2^k factorial, con $k=3$ factores de efectos fijos. Por otro lado.

4. Procedimiento experimental y mediciones

El procedimiento seguido para cada corrida experimental se detalla a continuación:

- Realización de un muestreo de tiendas en el sector los Alpes, Medellín, Antioquia. Donde se elige el punto de compra de los ingredientes en cuestión (maíz pira marca “TOT” y “La Trece”, aceite vegetal y otro tipo en barra)
- Una vez comprados todos los ingredientes, se combinan 114g de maíz pira de la misma marca de 2 diferentes lotes en una bolsa etiquetada, esto con la ayuda de una gramera.
- Se procede luego a contar de cada bolsa etiquetada de maíz pira 100 granos por cada marca.
- Se hace uso de una estufa a gas y de un mismo panel de fogón etiquetado a una temperatura media para minimizar factores de ruido y garantizar un mayor control de la temperatura, permitiendo un tiempo de reposo de 5 minutos entre corridas medido con cronometro.
- Se realizan las corridas experimentales de manera aleatoria con el fin de minimizar factores de ruido por posible desgaste del recipiente o variaciones en la temperatura ambiente.
- Se selecciona el mismo recipiente (olla), con el fin de intentar que cada experimento sea lo más homogéneo posible.
- Con ayuda de una jeringa se vierte 5 mililitros de engrasante al recipiente, medidos con una jeringa (en el caso del engrasante en barra (Rama), fue derretida previamente durante 40 segundos contados con cronómetro)
- Se deja en cocción los 100 granos de acuerdo al nivel de factor de tiempo de cocción que se este evaluando(1 o 2 minutos), medido con cronómetro.
- Una vez finiquitado el tiempo de cocción, se deja reposar 5 segundos y se procede a eliminar los granos sin reventar, los cuales son contados.
- Se esperan cinco minutos entre corridas con el fin de que el recipiente se enfríe y se puedan remover los residuos para la siguiente corrida, esto con ayuda de un cronometro.
- Cada muestra se da a probar o catar para informar de su calidad y de sus propiedades, de manera independiente y sin revelar al catador la muestra que se encuentra evaluando.

La siguiente tabla ilustra el orden de corridas experimentales, las cuales fueron aleatorizadas con ayuda de la función *sample()* de R.

Tabla 6 Orden de Corridas experimentales

Orden de Corrida	Tramamiento	A: Marca	B: Tipo de Engrasante	C: Tiempo de cocción (minutos)	Orden de Corrida	Tramamiento	A: Marca	B: Tipo de Engrasante	C: Tiempo de cocción (minutos)
1	1	La Trece	Aceite	1	13	5	La Trece	Otro tipo	1
2	1	La Trece	Aceite	1	14	3	La Trece	Aceite	2
3	6	TOT	Otro tipo	1	15	8	TOT	Otro tipo	2
4	4	TOT	Aceite	2	16	4	TOT	Aceite	2
5	2	TOT	Aceite	1	17	2	TOT	Aceite	1
6	6	TOT	Otro tipo	1	18	4	TOT	Aceite	2
7	3	La Trece	Aceite	2	19	7	La Trece	Otro tipo	2
8	3	La Trece	Aceite	2	20	8	TOT	Otro tipo	2
9	6	TOT	Otro tipo	1	21	1	La Trece	Aceite	1
10	7	La Trece	Otro tipo	2	22	5	La Trece	Otro tipo	1
11	5	La Trece	Otro tipo	1	23	7	La Trece	Otro tipo	2
12	8	TOT	Otro tipo	2	24	8	TOT	Aceite	1

Formularios o formatos para registro de datos

Cada corrida experimental se almacenará en el siguiente formato, con $n_i = 3$ réplicas por tratamiento, y un total de 8 tratamientos. La primera casilla de cada tratamiento corresponde a la primer replica de dicho tratamiento, la segunda casilla a la segunda replica y de la misma forma para la tercera.

Tabla 7 Formato para las observaciones experimentales

		B_1		B_2	
		C_1	C_2	C_1	C_2
A_1	Tratamiento 1	Tratamiento 3	Tratamiento 5	Tratamiento 7	
	Tratamiento 1	Tratamiento 3	Tratamiento 5	Tratamiento 7	
	Tratamiento 1	Tratamiento 3	Tratamiento 5	Tratamiento 7	
A_2	Tratamiento 2	Tratamiento 4	Tratamiento 6	Tratamiento 8	
	Tratamiento 2	Tratamiento 4	Tratamiento 6	Tratamiento 8	
	Tratamiento 2	Tratamiento 4	Tratamiento 6	Tratamiento 8	

Donde,

A_1 corresponde a la marca de palomitas El trece,

A_2 Marca de palomitas TOT

B_1 Palomitas de maíz con Aceite

B_2 Palomitas de maíz con Otro tipo

C_1 Tiempo de cocción 1 minuto

C_2 Tiempo de cocción 2 minutos

La evaluación sensorial se realiza según la escala hedónica de 10 puntos. Se pide a los panelistas clasificar según sus preferencias (Rango 1 = no me gusta nada, Rango 10 = me gusta mucho), una escala de calidad (Rango 1 = quemado, Rango 10 = No quemado) y una escala de textura (Rango 1 = Es dura, Rango 10 = Es suave), las cuales se pretenden promediar para obtener una sola calificación por cada tratamiento. Se les da agua potable para neutralizar los sabores antes de probar la siguiente muestra.

Dificultades anticipadas:

- El tipo de engrasante en barra no tiene el mismo tratamiento que el aceite, pues esta tiende a quemarse más rápido
- Por el clima frío actual en la ciudad, podría entrar en la casa corrientes de viento no consideradas
- Los materiales pueden tener cierto desgaste a medida que avanza el experimento. La jeringa puede perder su. Escala de medida debido al aceite y será necesario tener repuestos para ella. La olla podría perder propiedades por el uso continuo.
- Colocar una marca al nivel deseado de temperatura en la estufa, no garantiza que la llama homogénea en cada corrida
- La olla o recipiente en cada corrida aumenta su temperatura y puede provocar que las corridas sean distintas, por lo cual es importante dejarla reposar en un fogón a temperatura ambiente entre corridas.

5. Experimento:

- **Muestreo**

Para la compra de los ingredientes necesarios para desarrollar el experimento se realizó inicialmente un muestreo aleatorio simple entre una lista de 6 supermercados situados en el barrio Los Alpes, Medellín, Antioquia, esto con ayuda de la función *sample()* de R. Teniendo cada una con una probabilidad de 1/6, la tienda resultante fue la número 6: “Supermercado Velmer”. Así entonces, una vez en el supermercado, se seleccionan dos lotes de cada marca, TOT y “El trece” respectivamente, esto haciendo uso de un muestreo sistemático y con la ayuda de la aplicación *random generator* en un celular Samsung Galaxy A52s.



Imagen tomada de: google maps

Figura 4: Localización de los supermercados en el barrio Los Alpes, Medellín

Tabla 8 Listado de supermecados Los Alpes, Medellín, Antioquia

número	Tienda	Dirección
1	Autoservicio La Economía	Medellín, Antioquia
2	D1 Belén los Alpes	Av. Universidad de Medellín, Medellín, Antioquia
3	La Nueva Ola	Cl. 28 #11, Medellín, Antioquia
4	Fruver Express	Cra. 85 #29a2, Medellín, Antioquia
5	Tienda de Don Norberto	28- a, Cra. 84 #28-74, Medellín, Antioquia
6	Supermercado Velmer	Cl. 29b ##84-81, Medellín, Antioquia

• Procedimiento

Para la ejecución del experimento se consideran dos marcas distintas de maíz pira: TOT y La Trece con 500gr y 460gr respectivamente, estos productos son fácilmente accesibles en las cadenas de supermercados más populares en Colombia. TOT es una empresa colombiana con mas de 40 años de experiencia en la comercialización de productos de consumo masivo a nivel nacional. El trece trayectoria en el mercado en empaquetados y comercialización de gran variedad de mercancías entre la que destaca su línea de maíz en la ciudad de Medellín, Antioquia



Figura 5: Tipos de maíz pira a someter al experimento

Tabla 9 Información nutricional marca La Trece

Tamaño por porción	60 g	Valor diario
Valor energético	160 Kcal	
Grasa Total	1 g	1%
Colesterol	0 mg	0%
Sodio	15mg	1%
Carbohidratos totales	16 g	9%
Fibra dietaria	11 g	44%
Proteína	13 g	26%
Hierro		10%
Calcio		6%
Vitamina B1		21%
Vitamina B2		34%
Vitamina B3		1%

Tabla 10 Información nutricional marca TOT

Tamaño por porción 1/2 taza	100 g	Valor diario
Valor energético	400 Kcal	
Grasa Total	4 g	6%
Colesterol	0 mg	0%
Sodio	15mg	1%
Carbohidratos totales	82 g	27%
Fibra dietaria	1.5g	6%
Proteína	10 g	20%
Hierro		0%
Calcio		0%
Vitamina B1		0%
Vitamina B2		0%
Vitamina B3		0%

Se utilizarán 2 tipos de grasa como aditivo (Aceite vegetal de marca gota de oro y otro tipo de marca Rama). La marca gota de oro es una marca propia de la cadena de supermercados D1 la cual en los últimos años se ha convertido en el mayor proveedor de los hogares colombianos por sus precios accesibles. Su línea de aceites es una combinación de aceites vegetales y la marca Rama la cual es una marca posicionada en el mercado colombiano desde 1973 innovando en la categoría de las margarinas, es más común verla en los hogares, Rama

es una combinación de nutrientes esenciales que contiene vitaminas A, D y E y aceites vegetales de semillas. Estas dos grasas se medirán en mililitros con ayuda de una jeringa, al tratarse de otro tipo previamente se procede a derretirla.



Figura 6: Tipos de aditivos grasos considerados como factor de tratamientos.

Teniendo en cuenta los factores que posiblemente afectan los resultados de los experimentos se realiza una prueba piloto para observar posibles diferencias entre los tratamientos, una vez sean seleccionados de los paquetes de las diferentes marcas los 100 granos de maíz pira se sigue el siguiente proceso: La prueba piloto se realizó en el barrio Belén los Alpes en la ciudad de Medellín, Antioquia, se tomó la decisión de realizarla en un solo lugar ya que se quería intentar tener igualdad de condiciones para cada corrida.



Figura 7: Evidencia fotográfica de las condiciones del experimento

Los insumos utilizados para la corrida del experimento fueron:

- Aceite marca Gota de Oro 1000 MI
- Otro tipo marca Rama en barra 125g
- Paquetes maíz pira premium TOT 500g
- Paquetes maíz crispeta EL TRECE 460g
- Olla IMUSA ancho 35cm, alto 17,4 cm y largo 25,5 cm
- Jeringa 5ml
- Estufa, con un solo fogón elegido (inferior izquierdo.)



Figura 8: Instrumento de cocción para las palomitas

- El siguiente paso a seguir, consistió en contar 100 granos por cada marca para cada corrida y separarlos por etiquetas para evitar posibles confusiones.



Figura 9: Grupos de 100 granos de maíz por marca

- Una vez contados los granos, se procedió a derretir la otro tipo en un recipiente aparte para medirlo de la misma manera que se iba a medir el aceite.



Figura 10: Proceso de fundición para el engrasante tipo 2

- La olla o recipiente se sometió al fuego por 20 segundos, con el fin de eliminar cualquier indicio de humedad en ella. También, para controlar el factor de la temperatura, se realizó una marca azul en el fogón para especificar el punto indicado de temperatura para cada corrida, se eligió el fuego medio-bajo.



Figura 11: Marca de temperatura para cada corrida

- Se procedió con ayuda de la jeringa a medir las grasas, 5ml por cada una.



Figura 12: Medición 5ml de cada nivel del factor B tipo de engrasante

- Luego, dichos ingresantes fueron introducidos en el recipiente con la temperatura indicada en el fogón. Se contó un minuto con ayuda del cronómetro del celular, una vez pasado dicho tiempo se introdujeron los 100 granos de maíz pira, se tapó la olla y se contó los respectivos tiempos en cada una de las corridas.



Figura 13: Procedimiento de cocción de las palomitas

- Una vez terminado el tiempo de cocción, se permitió reposar el recipiente 30 segundos, para luego ser destapada contar los granos que no reventaron. A continuación, algunas imágenes de evidencia del conteo realizado.



Figura 14: Conteo de las palomitas sin explotar

El procedimiento presentado se puede visualizar en el vídeo a continuación: <https://youtu.be/ak74EBI0t6I>

6. Especificación del modelo estadístico, análisis o pruebas a realizar:

Intentando que cada experimento fuera realizado bajo las mismas condiciones y luego de haber realizado la prueba piloto para mitigar los factores externos controlables se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 11: Corrida aleatoria del experimento

Unidad Experimental	Corrida	Tratamiento	Unidad Experimental	Corrida	Tratamiento
1	1	abc	13	13	ac
2	2	abc	14	14	ab
3	3	c	15	15	(-1)
4	4	b	16	16	b
5	5	bc	17	17	bc
6	6	c	18	18	b
7	7	ab	19	19	a
8	8	ab	20	20	(-1)
9	9	c	21	21	abc
10	10	a	22	22	ac
11	11	ac	23	23	a
12	12	(-1)	24	24	bc

Tabla 12 Notación de Yates

Yates	Marca de Maíz	Duración	Tipo de Grasa	Replicas			Total
	A	B	C	1	2	3	

(1)	(-1)	(-1)	(-1)	22/100	21/100	18/100	0,61
a	(+1)	(-1)	(-1)	34/100	28/100	30/100	0,92
b	(-1)	(+1)	(-1)	15/100	9/100	9/100	0,33
ab	(+1)	(+1)	(-1)	3/100	2/100	3/100	0,08
c	(-1)	(-1)	(+1)	31/100	37/100	40/100	1,08
ac	(+1)	(-1)	(+1)	42/100	45/100	40/100	1,27
bc	(-1)	(+1)	(+1)	14/100	15/100	15/100	0,44
abc	(+1)	(+1)	(+1)	29/100	26/100	20/100	0,75

Especificación del modelo estadístico, análisis o pruebas a realizar y tamaños de muestra

En primer lugar, se tiene como primera misión del experimento estudiar los efectos sobre el rendimiento del maíz, se tienen en cuenta 3 factores, cada uno con 2 niveles representados de forma codificada por -1 y +1. Se hizo lo posible para mitigar cualquier factor externo que ocasionara datos atípicos en cada corrida y luego del trabajo y las pruebas piloto se obtuvieron los siguientes resultados,

Estructura de diseño: Experimento factorial 2^3

variable respuesta: Proporción de semillas no explotadas, también se hizo una corrección por continuidad para que la variable respuesta tenga una distribución normal.

Modelo de rendimiento de las palomitas de maíz

Para las variables predictoras se tiene,

$$X_1 = \begin{cases} -1, & \text{si se tiene maíz marca Tot} \\ +1, & \text{si se tiene maíz marca la trece} \end{cases}, \quad X_2 = \begin{cases} -1, & \text{si se tiene aceite en barra} \\ +1, & \text{si se tiene Aceite} \end{cases},$$

$$X_3 = \begin{cases} -1, & \text{si se cocen por 2 minutos} \\ +1, & \text{si se cocen por 1 minuto} \end{cases}$$

El modelo de regresión correspondiente es:

$$Y_{ijk} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 + E, E_i \sim iid N(0, \sigma^2)$$

Análisis descriptivo

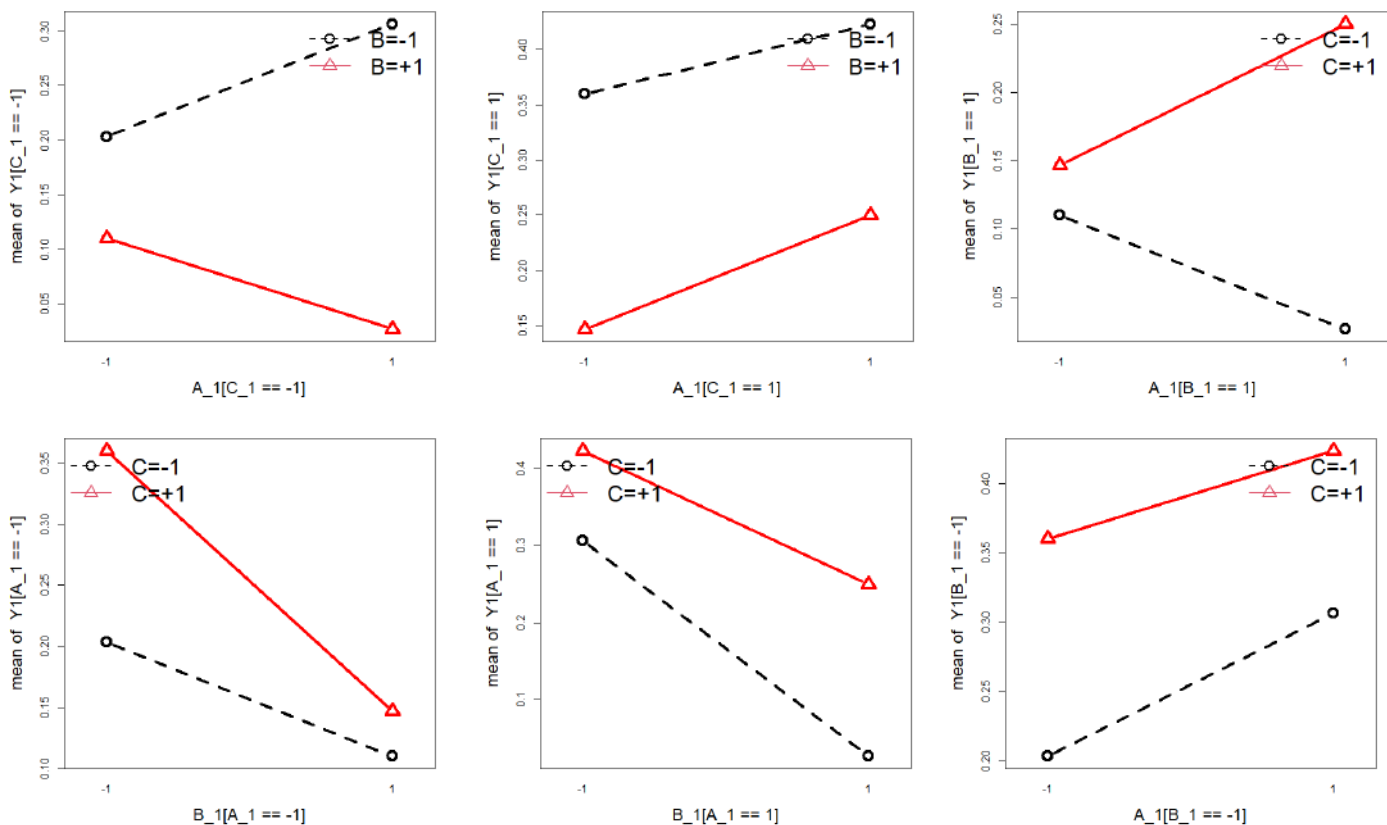


Figura 15 Perfiles de medias para el análisis de interacción triple.

Con los gráficos anteriores se determina una posible presencia de interacción en tercer grado y un enmascaramiento de los factores principales.

Interacciones triples

- Cuando se fija el factor C (Tiempo de cocción) en el nivel -1 (2 minutos), se observa que el factor A(Marca) y el factor B (tipo de grasa) interactúan significativamente, lo mismo no se puede observar cuando fijamos el tiempo de cocción en 1 minuto ya que en dicho caso la interacción es casi nula.
- Al fijar B=1, el factor A y C tienen una interacción significativa teniendo valores similares cuando A=-1 y valores bastante distantes cuando A=1, es decir, cuando se usó la marca Tot con aceite el rendimiento del maíz fue similar tanto para el tiempo de 1 min como para el de 2 min, caso contrario sucedió cuando se utilizó la marca de maíz la trece ya que la cantidad de maíz no explotado fue mucho mayor cuando se tuvo un tiempo de cocción de 2 min.
- Al fijar A=-1, se nota una interacción significativa del factor B y C
- Ya que la variable respuesta representa el porcentaje de maíz pira no reventado se busca minimizar dicho valor, por tanto, es posible que la mejor combinación para minimizar la proporción de maíz pira no reventado podría ser A=1, B=1 y C=-1, aunque no es tan claro si en realidad la marca del maíz sea significativa en dicha interacción.

Resultados del ajuste del modelo de regresión y ANOVA

El ajuste del modelo de regresión con predictores codificando los niveles de los tres factores en estudio con valores de -1 para el más bajo y +1 para el nivel alto.

```
Call:
lm.default(formula = Y1 ~ A_1 * B_1 * C_1)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.050000 -0.020000  0.003333  0.011667  0.040000

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.228333   0.006236   36.615 < 2e-16 ***
A_1          0.023333   0.006236    3.742 0.001779 **
B_1         -0.095000   0.006236  -15.234 6.06e-11 ***
C_1          0.066667   0.006236   10.690 1.08e-08 ***
A_1:B_1      -0.018333   0.006236   -2.940 0.009611 **
A_1:C_1       0.018333   0.006236    2.940 0.009611 **
B_1:C_1      -0.001667   0.006236   -0.267 0.792682
A_1:B_1:C_1  0.028333   0.006236    4.543 0.000332 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.03055 on 16 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9614,    Adjusted R-squared:  0.9445
F-statistic: 56.91 on 7 and 16 DF,  p-value: 4.022e-10
```

Los resultados del ajuste del modelo regresión arrojaron que la triple interacción efectivamente es significativa lo cual ratifica lo mostrado en los gráficos de interacción en donde hay evidencia de dicha interacción, se tiene un muy buen puntaje del estadístico R_{adj}^2 (0.9445) por lo que da indicios que el modelo es adecuado.

Tabla 12 ANOVA

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F_0	Valor-p
A	0.013067	a-1=1	0.013067	14	0.0017788
B	0.216600	b-1=1	0.216600	232.0714	6,06*10^-08
C	0.106667	c-1=1	0.106667	114.2857	1,08*10^-05
AB	0.008067	(a-1)(b-1)=1	0.008067	8.6429	0.0096109
AC	0.008067	(a-1)(c-1)=1	0.008067	8-6429	0.0096109
BC	0.000067	(b-1)(c-1)=1	0.000067	0.0714	0.7926824
ABC	0.019267	(a-1)(b-1)(c-1)=1	0.019267	206.429	0.0003323
Error	0.014933	abc(n-1)=16	0.000933		
Total	0.378668	abcn-1=23			

Test de significancia para la triple interacción

Hipótesis

$$H_0: (\alpha\beta\lambda)_{ijk} = 0, \forall i, j, k, \text{ con } i = 1, 2; j = 1, 2; k = 1, 2$$

$$H_1: (\alpha\beta\lambda)_{ijk} \neq 0, \text{ para algún } i, j, k, \text{ con } i = 1, 2; j = 1, 2; k = 1, 2$$

Estadístico:

$$F_{ABC} = \frac{MS(ABC)}{MSE} = 206.429 \sim f_{1,16}$$

Criterio de rechazo:

$valorp = P(f_{1,16} \geq 20.6429) = 0.0003323$

Tomando un nivel de significancia de 0.05 se rechaza la hipótesis nula, es decir, la triple interacción es significativa y es posible que haya enmascaramiento de las interacciones dobles y de los factores principales.

Test de significancia de las interacciones dobles

Tabla 14: Test de significancia de las interacciones dobles

Interacción AB	Interacción AC	Interacción BC
$H_0: (\alpha\beta)_{ij} = 0, \forall i, j$ $H_0: (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$, para algún i, j Con $i, j = 1, 2$	$H_0: (\alpha\lambda)_{ik} = 0, \forall i, k$ $H_0: (\alpha\lambda)_{ik} \neq 0$, para algún i, k Con $i, k = 1, 2$	$H_0: (\beta\lambda)_{jk} = 0, \forall j, k$ $H_0: (\beta\lambda)_{jk} \neq 0$, para algún j, k Con $j, k = 1, 2$
$F_0 = MS(AB)/MSE = 8.6429$ $F_0 \sim f_{1,16}$ $V P = P(f_{1,16} \geq 8.6429) = 0.0017788$	$F_0 = MS(AC)/MSE = 8.6429$ $F_0 \sim f_{1,16}$ $V P = P(f_{1,16} \geq 8.6429) = 0.0096109$	$F_0 = MS(BC)/MSE = 0.0714$ $F_0 \sim f_{1,16}$ $V P = P(f_{1,16} \geq 0.0714) = 0.7926824$
Como el valor p es menor que 0.05 se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, la doble interacción entre AB es significativa y no queda enmascarada por la triple interacción.	Como el valor p es menor que 0.05 se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, la doble interacción entre AC es significativa y no queda enmascarada por la triple interacción	Como el valor p es mayor que 0.05 no se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, la doble interacción entre BC queda enmascarada por la triple interacción.

Test de significancia de los factores principales

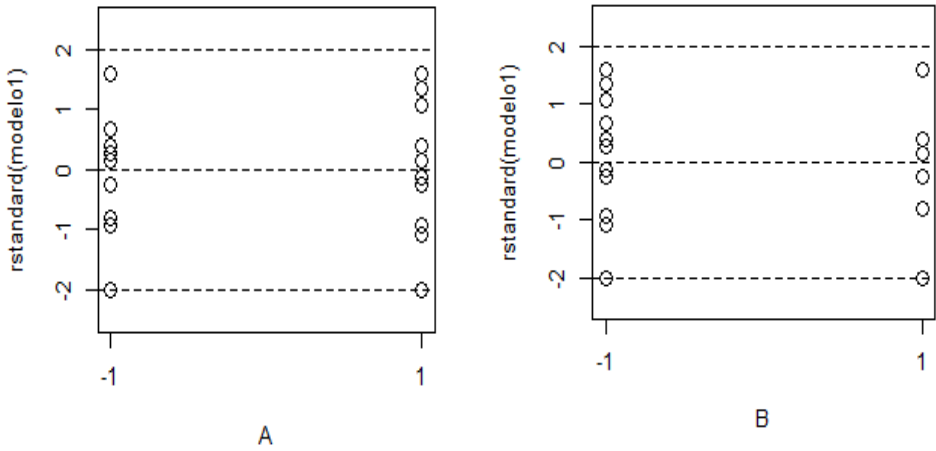
Tabla 15: Test de significancia de los factores principales

Factor A	Factor B	Factor C
$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = 0$ $H_1: \alpha_i \neq 0$ para al menos $i = 1, 2$	$H_0: \beta_1 = \beta_2 = 0$ $H_1: \beta_j \neq 0$ para al menos $j = 1, 2$	$H_0: \lambda_1 = \lambda_2 = 0$ $H_1: \lambda_k \neq 0$ para al menos $k = 1, 2$
$F_0 = MSA/MSE = 14$ $F_0 \sim f_{1,16}$ $V P = P(f_{1,16} \geq 14) = 0.0017788$	$F_0 = MSB/MSE = 232.0714$ $F_0 \sim f_{1,16}$ $V P = P(f_{1,16} \geq 232.0714) = 6,06 \cdot 10^{-8}$	$F_0 = MSC/MSE = 114.2857$ $F_0 \sim f_{1,16}$ $V P = P(f_{1,16} \geq 114.2857) = 1,08 \cdot 10^{-5}$
Se concluye a un nivel de significancia de 0.05 que se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, el factor A no queda enmascarado por la triple interacción.	Se concluye a un nivel de significancia de 0.05 que se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, el factor B no queda enmascarado por la triple interacción.	Se concluye a un nivel de significancia de 0.05 que se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, el factor C no queda enmascarado por la triple interacción.

Ecuación del modelo ajustado

$$\hat{Y} = 0.228333 + 0.023333X_1 - 0.095000X_2 + 0.066667X_3 - 0.018333X_1X_2 + 0.018333X_1X_3 - 0.001667X_2X_3 + 0.028333X_1X_2X_3$$

Validación de supuestos



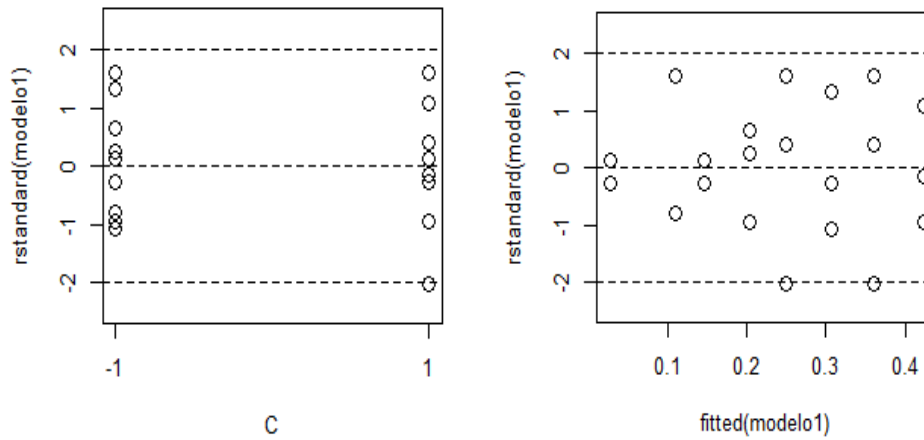


Figura 18: Gráficos para el análisis de residuales

- Observando los anteriores gráficos se puede notar que no hay evidencia en contra de la media igual a cero ni en contra de la homogeneidad en varianza.
- No hay ningún patrón en los gráficos que indique algún tipo de dependencia.

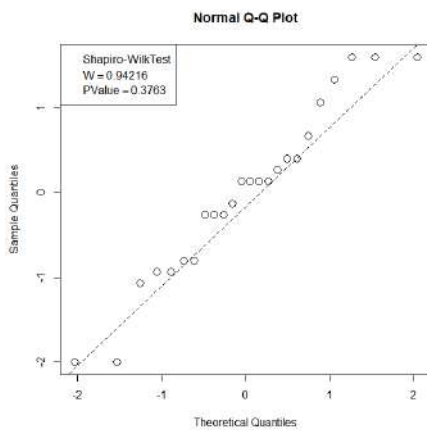


Figura 19: Gráfico de normalidad

Según el test de normalidad SW que tiene como hipótesis, $H_0: E_i \sim Normal$, $H_1: E_i$ no tiene una distribución Normal, se tiene que no se rechaza la hipótesis nula, sin embargo, el gráfico qq-plot nos muestra una desviación severa, dicha carencia de ajuste es suficiente para dudar del resultado del test de normalidad SW y concluir que los errores no distribuyen normalmente.

```
Shapiro-wilk normality test
data:  rstandard(modelo1)
w = 0.95361, p-value = 0.3237
```

Independencia de errores

Sea E_t = Error de ajuste en la t – ésima corrida y sea autocorrelacion de orden k $\rho(k) = \text{corr}(E_t, E_{t+k})$, se tiene que $\widehat{\rho}(k) \sim N\left(0, \frac{1}{24}\right)$.

$$H_0: \rho(k) = 0, \text{ para todo } k, \text{ con } k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

$$H_0: \rho(k) \neq 0, \text{ para algún } k, \text{ con } k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

$$Q_{LB} = 7.9023 \sim \text{aprox } \chi_6^2$$

$$Valor_p = P(\chi_6^2 > 7.9023) = 0.2453$$

```
Box-Ljung test
data:  resid(modelo1)
x-squared = 7.9023, df = 6, p-value = 0.2453
```

Se concluye entonces que no se detectó autocorrelación significativa de orden 1 a orden 6, es decir, no hay evidencia en contra de la independencia de los errores.

Experimento de atributos sensoriales.

Se conto con la ayuda de 5 catadores a los cuales se les hizo entrega de recipientes plásticos (sin ningún tipo de marca) para que calificaran la palomita de maíz según las preguntas propuestas. Los panelistas fueron tratados como factor de bloqueo para que las variación en la percepción gustativa de cada panelista no interfiera con los tratamientos ya que los estos no fueron entrenados.

Experimento Crispetas

Por favor clasifique según su preferencia de atributos sensoriales las siguientes muestras de crispetas.

¿Cómo clasificaría el sabor de las crispetas probadas? 1: no me gusta nada hasta el número 10: me gusta mucho. Recuerde que se puede utilizar decimales para su clasificación.

Tu respuesta: _____

1: Quemado 10: No quemado. Recuerde que se puede utilizar decimales para su clasificación.

Tu respuesta: _____

¿Cómo clasificaría la dureza de las crispetas probadas? 1: muy duras 10: muy suaves. Recuerde que se puede utilizar decimales para su clasificación.

Tu respuesta: _____

Figura 20 Formato de la encuesta

Pregunta 1: ¿Cómo clasificaría el sabor de las crispetas probadas?

Para dicha pregunta se permitió al panelista dar una calificación del 1 al 10, permitiendo entre dicho rango el uso de decimales, siendo 1 “No me gusta nada” y siendo 10 “me gusta mucho”

Pregunta 2: ¿Qué tan quemadas percibe las crispetas?

Para dicha pregunta se permitió al panelista dar una calificación del 1 al 10, permitiendo entre dicho rango el uso de decimales, siendo 1 “Bastante quemadas” y siendo 10 “Nada quemadas”

Pregunta 3: ¿Cómo clasificaría la dureza de las crispetas?

Para dicha pregunta se permitió al panelista dar una calificación del 1 al 10, permitiendo entre dicho rango el uso de decimales, siendo 1 “Bastante duras” y siendo 10 “Muy suaves”

Tabla 16 Respuestas de catadores

Catador	Pregunta	Trat 1	Trat 2	Trat 3	Trat 4	Trat 5	Trat 6	Trat 7	Trat 8
1	1	5	6	8	2	9	3	2	8
	2	4	8	10	3	10	2	4	10
	3	6	7	10	1	10	5	3	8
2	1	3	4	10	3	8	4	1	8
	2	5	7	10	2	10	5	1	9
	3	3	2	9	3	8	2	7	8
3	1	5	7	7	4	3	1	1	7
	2	4	5	10	6	3	4	1	6
	3	5	4	6	4	3	1	4	3
4	1	2	5	5	6	8	4	3	1
	2	8	9	10	10	10	4	3	4
	3	4	6	7	8	10	8	10	6
5	1	5	3	9	5	5	8	7	4
	2	4	5	3	5	7	8	8	9
	3	5	1	2	4	2	4	4	3

Se promediaron las respuestas de cada catador, con el fin de tener una única variable respuesta que es “Calidad de la palomita de maíz”,

P_{ijk} : Puntuación sensorial de la pregunta i-esima, del catador j-esimo, del k-esimo tratamiento

$$\text{Calidad del maíz}_{jk} = \sum_{i=1}^3 \frac{P_{ijk}}{3}, \text{ donde } j = 1,2,3,4,5 \text{ y } k = 1,2,3,4,5,6,7,8$$

Tabla 17 Notación de Yates

Tratamiento	A	B	C	Bloque	Respuesta	Tratamiento	A	B	C	Bloque	Respuesta
8	-1	-1	-1	1	8,666667	6	-1	-1	1	3	2
7	1	-1	-1	1	3	5	1	-1	1	3	3
4	-1	1	-1	1	2	2	-1	1	1	3	5,333333
3	1	1	-1	1	9,333333	1	1	1	1	3	4,666667
6	-1	-1	1	1	3,333333	8	-1	-1	-1	4	3,666667
5	1	-1	1	1	9,666667	7	1	-1	-1	4	5,333333
2	-1	1	1	1	7	4	-1	1	-1	4	8
1	1	1	1	1	5	3	1	1	-1	4	7,333333
8	-1	-1	-1	2	8,333333	6	-1	-1	1	4	5,333333
7	1	-1	-1	2	3	5	1	-1	1	4	9,333333
4	-1	1	-1	2	2,666667	2	-1	1	1	4	6,666667
3	1	1	-1	2	9,666667	1	1	1	1	4	4,666667

6	-1	-1	1	2	3,66667	8	-1	-1	-1	5	5,33333
5	1	-1	1	2	8,66667	7	1	-1	-1	5	6,33333
2	-1	1	1	2	4,33333	4	-1	1	-1	5	4,66667
1	1	1	1	2	3,66667	3	1	1	-1	5	4,66667
8	-1	-1	-1	3	5,33333	6	-1	-1	1	5	6,66667
7	1	-1	-1	3	2	5	1	-1	1	5	4,66667
4	-1	1	-1	3	4,66667	2	-1	1	1	5	3
3	1	1	-1	3	7,66667	1	1	1	1	5	4,66667

Modelo atributos sensoriales

Para las predictoras se tiene,

$$X_1 = \begin{cases} -1, & \text{si se tiene maíz marca Tot} \\ +1, & \text{si se tiene maíz marca la trece} \end{cases}, X_2 = \begin{cases} -1, & \text{si se tiene aceite en barra} \\ +1, & \text{si se tiene Aceite} \end{cases},$$

$$X_3 = \begin{cases} -1, & \text{si se cocen por 2 minutos} \\ +1, & \text{si se cocen por un minuto} \end{cases}$$

El modelo de regresión completo correspondiente es:

Calidad del maíz

$$= \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3 + \delta_2 I_2 + \delta_3 I_3 + \delta_4 I_4 + \delta_5 I_5 + E, E_i \sim iid N(0, \sigma^2)$$

Análisis descriptivo

Con los siguientes gráficos se verificará la presencia de interacción en tercer grado y segundo y si es el caso enmascaramiento de factores principales.

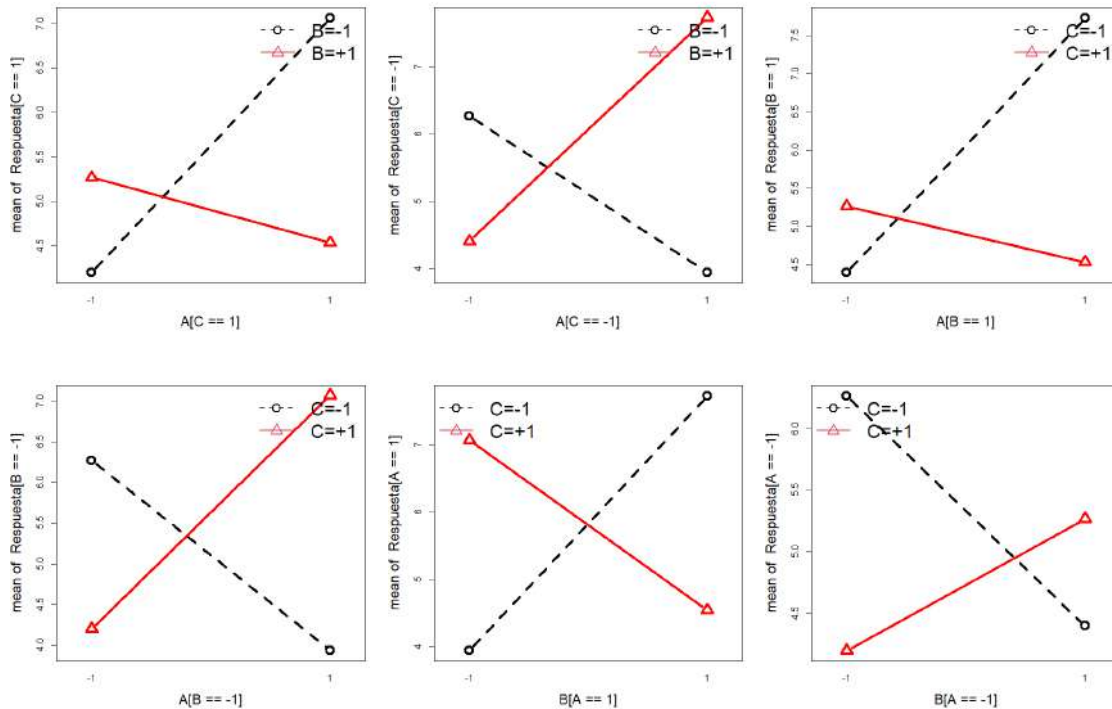


Figura 21: Perfiles de medias para el análisis de interacción triple.

- Hay una evidente interacción triple
- Es importante resaltar que bajo el caso de que $C=1$ (1 minuto), lo catadores tuvieron una mejor percepción del maíz cuando fue de la marca “la trece” y fue cocido con aceite; bajo el caso de $C=-1$ (2 minutos), los catadores tuvieron una mejor impresión del maíz “la trece” cocido con mantequilla
- Cuando se tiene un tiempo de cocción de 1 minuto con aceite la percepción del maíz pira sin importar la marca es de muy baja calidad, habiendo una mejoría si se usa el maíz más económico “la trece”

Según las figuras a continuación, Figura 22 y 22.1, la única interacción significativa es la triple ABC, siguiendo la interacción BC con una magnitud mucho más baja.

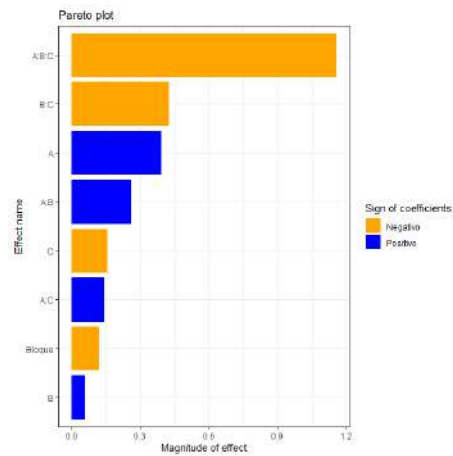


Figura 22: Gráfico de Pareto

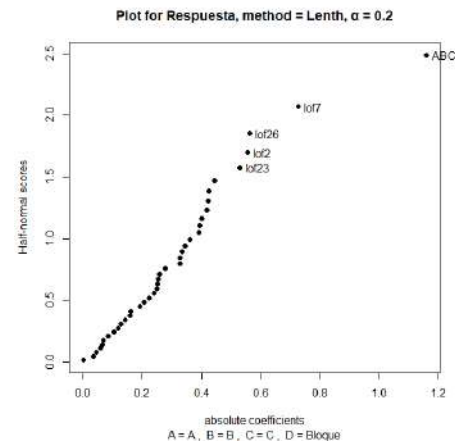


Figura 22.1 Gráfico de Daniel

Resultados del ajuste del modelo de regresión y ANOVA

El ajuste del modelo de regresión con predictoras codificando los niveles de los tres factores en estudio con valores de -1 para elmás bajo y +1 para el nivel alto.

```
Call:
lm.default(formula = Respuesta ~ A ^ B ^ C + Bloque)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-4.067 -1.125  0.100  1.499  3.721

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  5.78750    0.76022   7.613 1.39e-08 ***
A             0.39167    0.32416   1.208  0.23609
B             0.05833    0.32416   0.180  0.85836
C            -0.15833    0.32416  -0.488  0.62867
Bloque       -0.12083    0.22922  -0.527  0.60184
A:B           0.25833    0.32416   0.797  0.43155
A:C           0.14167    0.32416   0.437  0.66512
B:C          -0.42500    0.32416  -1.311  0.19946
A:B:C        -1.15833    0.32416  -3.573  0.00118 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 2.05 on 31 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.3585,    Adjusted R-squared:  0.1929
F-statistic: 2.165 on 8 and 31 DF,  p-value: 0.05893
```

Los resultados del ajuste del modelo regresión arrojaron que la triple interacción efectivamente es significativa lo cual ratifica lo mostrado en los gráficos de interacción en donde hay evidencia de dicha interacción.

Tabla 18 ANOVA					
Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	F ₀	Valor-p
A	6.136	1	6.136	14.599	0.236086
B	0.136	1	0.136	0.0324	0.858359
C	1.003	1	1.003	0.2386	0.628675
Bloque	1.168	1	1.168	0.2779	0.601835
AB	2.669	1	2.669	0.6351	0.431552
AC	0.803	1	0.803	0.1910	0.665119

BC	7.225	1	7.225	17.189	0.199459
ABC	53.669	1	53.669	127.688	0.001177
Error	130.299	31	4.203		

Test de significancia para la triple interacción

Hipótesis

$$H_0: (\alpha\beta\lambda)_{ijk} = 0, \forall i, j, k, \text{ con } i = 1, 2; j = 1, 2; k = 1, 2$$

$$H_1: (\alpha\beta\lambda)_{ijk} \neq 0, \text{ para algún } i, j, k, \text{ con } i = 1, 2; j = 1, 2; k = 1, 2$$

Estadístico:

$$F_{ABC} = \frac{MS(ABC)}{MSE} = 127.688 \sim f_{1,31}$$

Criterio de rechazo:

$$valorp = P(f_{1,31} \geq 0.001177) = 0.001177$$

Tomando un nivel de significancia de 0.05 se rechaza la hipótesis nula y se tiene que la triple interacción es significativa.

Test de significancia de las interacciones dobles

Tabla 19 Test significancia de interacciones dobles

Interacción AB	Interacción AC	Interacción BC
$H_0: (\alpha\beta)_{ij} = 0, \forall i, j$ $H_0: (\alpha\beta)_{ij} \neq 0, \text{ para algún } i, j$ Con $i, j = 1, 2$	$H_0: (\alpha\lambda)_{ik} = 0, \forall i, k$ $H_0: (\alpha\lambda)_{ik} \neq 0, \text{ para algún } i, k$ Con $i, k = 1, 2$	$H_0: (\beta\lambda)_{jk} = 0, \forall j, k$ $H_0: (\beta\lambda)_{jk} \neq 0, \text{ para algún } j, k$ Con $j, k = 1, 2$
$F_0 = MS(AB)/MSE = 0.6351$ $F_0 \sim f_{1,32}$ $V P = P(f_{1,16} \geq 0.6351) = 0.431552$	$F_0 = MS(AC)/MSE = 0.1910$ $F_0 \sim f_{1,32}$ $V P = P(f_{1,32} \geq 0.1910) = 0.665119$	$F_0 = MS(BC)/MSE = 17.189$ $F_0 \sim f_{1,32}$ $V P = P(f_{1,32} \geq 17.189) = 0.199459$
Como el valor p es mayor que 0.05 se no se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, la doble interacción entre AB es no significativa esta enmascarada por la triple interacción.	Como el valor p es mayor que 0.05 se no se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, la doble interacción entre AC es no significativa esta enmascarada por la triple interacción.	Como el valor p es mayor que 0.05 se no se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, la doble interacción entre BC es no significativa esta enmascarada por la triple interacción.

Test de significancia de los factores principales

Tabla 20 Test de significancia de efectos principales

Factor A	Factor B	Factor C
$H_0: \alpha_1 = \alpha_2 = 0$ $H_1: \alpha_i \neq 0 \text{ para al menos } i = 1, 2$	$H_0: \beta_1 = \beta_2 = 0$ $H_1: \beta_j \neq 0 \text{ para al menos } j = 1, 2$	$H_0: \lambda_1 = \lambda_2 = 0$ $H_1: \lambda_k \neq 0 \text{ para al menos } k = 1, 2$
$F_0 = MSA/MSE = 14.599$ $F_0 \sim f_{1,32}$ $V P = P(f_{1,32} \geq 14.599) = 0.236086$	$F_0 = MSB/MSE = 0.0324$ $F_0 \sim f_{1,32}$ $V P = P(f_{1,32} \geq 0.0324) = 0.858359$	$F_0 = MSC/MSE = 0.2386$ $F_0 \sim f_{1,32}$ $V P = P(f_{1,32} \geq 0.2386) = 0.628675$
Como el valor p es mayor que 0.05 se no se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, el factor A es no significativo esta enmascarado por la triple interacción.	Como el valor p es mayor que 0.05 se no se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, el factor B es no significativo esta enmascarado por la triple interacción.	Como el valor p es mayor que 0.05 se no se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, el factor C es no significativo esta enmascarado por la triple interacción.

Validación de supuestos

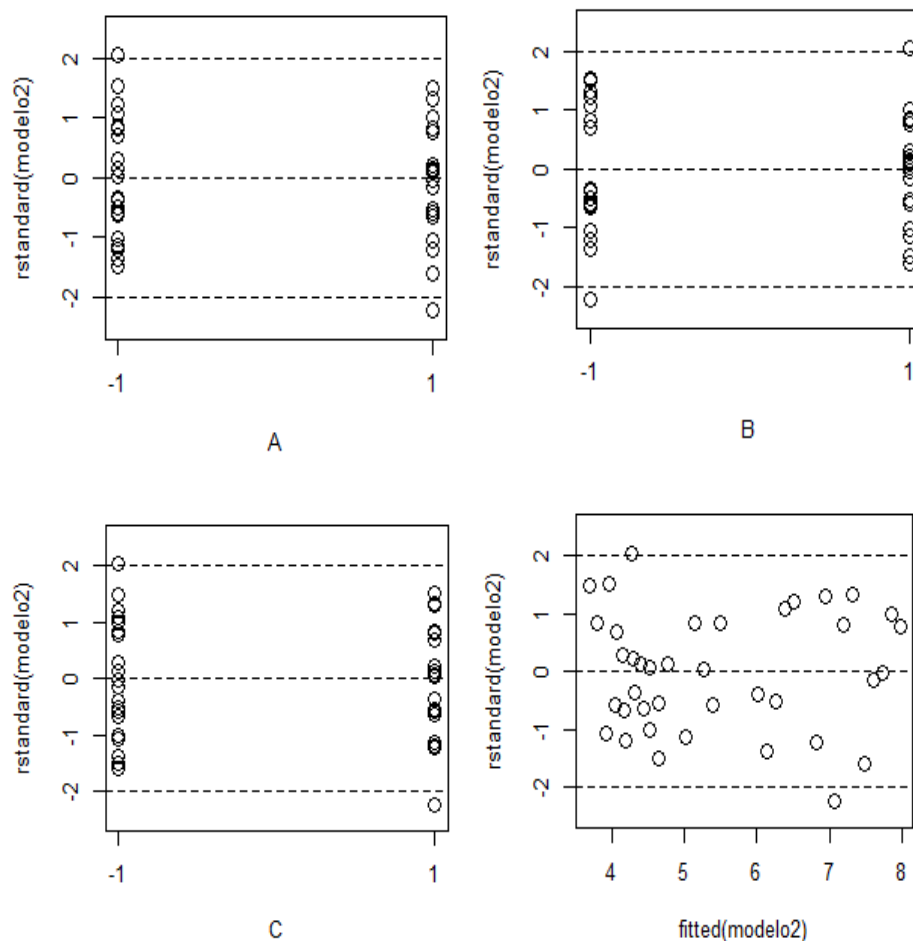
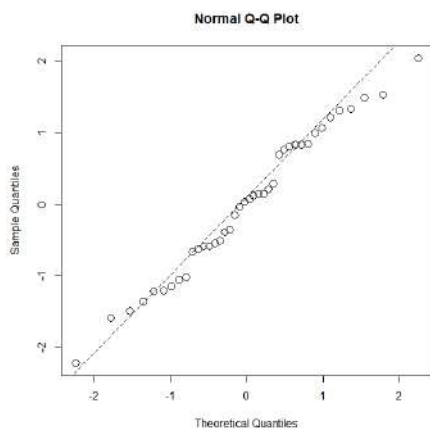


Figura 23: Gráficos para el análisis de residuales.



Según el test de normalidad SW que tiene como hipótesis, $H_0: E_i \sim \text{Normal}$ vs $H_1: E_i$ no tiene una distribución Normal, se tiene que **no se rechaza** la hipótesis nula, lo anterior, se comprueba con el gráfico qqplot donde observamos que los residuales se ajustan bien a la tendencia y no hay una desviación grave.

No hay evidencia en contra de media igual a cero ni de varianza constante

Shapiro-wilk normality test

data: rstandard(modelo2)

w = 0.98015, p-value = 0.6951

Independencia de errores (atributos sensoriales)

Sea E_t = Error de ajuste en la t – ésima corrida y sea autocorrelacion de orden k $\rho(k) = \text{corr}(E_t, E_{t+k})$, se tiene que $\widehat{\rho(k)} \sim N\left(0, \frac{1}{32}\right)$.

$H_0: \rho(k) = 0$, para todo k , con $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$

$H_0: \rho(k) \neq 0$, para algún k , con $k = 1, 2, 3, 4, 5, 6$

$Q_{LB} = 6.4018 \sim \text{aprox } \chi_6^2$

$\text{Valorp} = P(\chi_6^2 > 6.4018) = 0.3797$

Box-Ljung test

data: resid(modelo2)

X-squared = 6.4018, df = 6, p-value = 0.3797

Se concluye entonces que no se detectó autocorrelación significativa de orden 1 a orden 6, es decir, no hay evidencia en contra de la independencia de los errores.

Conclusiones.

De los resultados obtenidos en este trabajo nos podemos dar cuenta que los factores involucrados en este experimento son muy importantes para el rendimiento de las palomitas de maíz y de la percepción del calidad en cuanto al sabor de las mismas, dado que en la industria la idea es maximizar el rendimiento y tener una buena percepción de sabor podemos decir que con respecto al primer modelo se tiene que los factores tenidos en cuenta explican en gran medida el rendimiento del maíz pira, por otro lado, del experimento con los catadores no se encontró un modelo tan satisfactorio, lo cual indica que es importante tener en cuenta otros factores y tal vez verse en la necesidad de pedir ayuda a más catadores para tener mas información. Para tener un mejor rendimiento del maíz se recomienda usar maíz pira marca La Trece con engrasante de Aceite vegetal y tiempo de cocción de 2 minutos. Al parecer los catadores tuvieron una preferencia por el sabor de las crispetas de maíz marca Tot, pero no hubo una preferencia significativa con respecto a los factores tipo engrasante ni tiempo cocción.

5. Código

```
A_1<-c(-1,-1,-1,1,1,1,-1,-1,-1,1,1,1,-1,-1,-1,1,1,1,-1,-1,-1,1,1,1)
B_1<-c(-1,-1,-1,-1,-1,-1,1,1,1,1,1,1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,1,1,1,1,1,1)
C_1<-c(-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,-1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1)
Y1<-c(22,21,18,34,28,30,15,9,9,3,2,3,31,37,40,42,45,40,14,15,15,29,26,20)
Y1<-Y1/100
#Graficos de interacción
interaction.plot(A_1,B_1,Y1,type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),
                lwd=4,cex=2,cex.lab=1.5,legend=F)
legend("topright",legend=c("B=-1","B=+1"),col=1:2,pch=1:2,
      lwd=2,lty=c(2,1),bty="n",cex=2)
interaction.plot(A_1,C_1,Y1,type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),
                lwd=4,cex=2,cex.lab=1.5,legend=F)
legend("topright",legend=c("C=-1","C=+1"),col=1:2,pch=1:2,
      lwd=2,lty=c(2,1),bty="n",cex=2)

interaction.plot(B_1,C_1,Y1,type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),
                lwd=4,cex=2,cex.lab=1.5,legend=F)
legend("topleft",legend=c("C=-1","C=+1"),col=1:2,pch=1:2,
      lwd=2,lty=c(2,1),bty="n",cex=2)
##-----
interaction.plot(A_1[C_1==1],B_1[C_1==1],Y1[C_1==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),
                lwd=4,cex=2,cex.lab=1.5,legend=F)
legend("topright",legend=c("B=-1","B=+1"),col=1:2,pch=1:2,
      lwd=2,lty=c(2,1),bty="n",cex=2)

interaction.plot(A_1[C_1==1],B_1[C_1==1],Y1[C_1==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),
                lwd=4,cex=2,cex.lab=1.5,legend=F)
legend("topright",legend=c("B=-1","B=+1"),col=1:2,pch=1:2,
      lwd=2,lty=c(2,1),bty="n",cex=2)

interaction.plot(A_1[C_1==1],B_1[C_1==1],Y1[C_1==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),
                lwd=4,cex=2,cex.lab=1.5,legend=F)
legend("topright",legend=c("B=-1","B=+1"),col=1:2,pch=1:2,
      lwd=2,lty=c(2,1),bty="n",cex=2)

interaction.plot(A_1[B_1==1],C_1[B_1==1],Y1[B_1==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),
                lwd=4,cex=2,cex.lab=1.5,legend=F)
legend("topright",legend=c("C=-1","C=+1"),col=1:2,pch=1:2,
      lwd=2,lty=c(2,1),bty="n",cex=2)

interaction.plot(A_1[B_1==1],C_1[B_1==1],Y1[B_1==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),
                lwd=4,cex=2,cex.lab=1.5,legend=F)
legend("topright",legend=c("C=-1","C=+1"),col=1:2,pch=1:2,
      lwd=2,lty=c(2,1),bty="n",cex=2)

interaction.plot(A_1[B_1==1],C_1[B_1==1],Y1[B_1==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),
                lwd=4,cex=2,cex.lab=1.5,legend=F)
legend("topright",legend=c("C=-1","C=+1"),col=1:2,pch=1:2,
      lwd=2,lty=c(2,1),bty="n",cex=2)

interaction.plot(B_1[A_1==1],C_1[A_1==1],Y1[A_1==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),
                lwd=4,cex=2,cex.lab=1.5,legend=F)
legend("topleft",legend=c("C=-1","C=+1"),col=1:2,pch=1:2,
      lwd=2,lty=c(2,1),bty="n",cex=2)

interaction.plot(B_1[A_1==1],C_1[A_1==1],Y1[A_1==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),
                lwd=4,cex=2,cex.lab=1.5,legend=F)
legend("topleft",legend=c("C=-1","C=+1"),col=1:2,pch=1:2,
      lwd=2,lty=c(2,1),bty="n",cex=2)

#pareto
modelo1<-lm(Y1~A_1*B_1*C_1)
# Estimacion efectos modelo saturado
summary(modelo1)
# Grafico daniel
halfnormal(modelo1,code=T,alpha=0.2,linelwd=2,linecol=2,
            pch.set = c(19, 16, 8))
# grafico pareto
paretoPlot(modelo1,negative=c("Negativo","orange"),
            positive=c("Positivo","blue"))
LGB(coef(modelo1)[-1],rpt=T,alpha=0.1)
halfnormal(modelo1,code=T,alpha=0.2,linelwd=2,linecol=2,
            pch.set = c(19, 16, 8))

dev.new()
par(mfrow=c(2,2))
shapiro.test(rstandard(modelo1))
stripchart(rstandard(modelo1)~A_1,vertical=TRUE,ylim=c(-2.5,2.5),
```



```

        pch=1,cex=1.5,xlab="A")
abline(h=c(-2,0,2),lty=2)
stripchart(rstandard(modelo1)~B_1,vertical=TRUE,ylim=c(-2.5,2.5),
        pch=1,cex=1.5,xlab="B")
abline(h=c(-2,0,2),lty=2)
stripchart(rstandard(modelo1)~C_1,vertical=TRUE,ylim=c(-2.5,2.5),
        pch=1,cex=1.5,xlab="C")
abline(h=c(-2,0,2),lty=2)

plot(fitted(modelo1),rstandard(modelo1),ylim=c(-2.5,2.5),cex=1.5)
abline(h=c(-2,0,2),lty=2)
qqnorm(rstandard(modelo1),cex=1.5)
qqline(rstandard(modelo1),lty=2)
legend("topleft",legend=c("Shapiro-WilkTest",
        expression(W==0.94216),expression(PValue==0.3763)),cex=1.1)

Box.test(resid(modelo1), lag = 6, type = "Ljung-Box")

#Modelo con interacción triple, en un DBCA
attach(basesabor)
mod=lm(Respuesta~A*B*C+Bloque)
mod1=lm(Respuesta~A*B*C)
summary(mod1)
anova(mod1)
#GRAFICOS DE INTERACCION
interaction.plot(A[C==1],B[C==1],Respuesta[C==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),
        lwd=4,cex=2,cex.lab=1.5,legend=F)
legend("topright",legend=c("B=-1","B=+1"),col=1:2,pch=1:2,
        lwd=2,lty=c(2,1),bty="n",cex=2)

interaction.plot(A[C==1],B[C==1],Respuesta[C==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),
        lwd=4,cex=2,cex.lab=1.5,legend=F)
legend("topright",legend=c("B=-1","B=+1"),col=1:2,pch=1:2,
        lwd=2,lty=c(2,1),bty="n",cex=2)

interaction.plot(A[B==1],C[B==1],Respuesta[B==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),
        lwd=4,cex=2,cex.lab=1.5,legend=F)
legend("topright",legend=c("C=-1","C=+1"),col=1:2,pch=1:2,
        lwd=2,lty=c(2,1),bty="n",cex=2)

interaction.plot(A[B==1],C[B==1],Respuesta[B==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),
        lwd=4,cex=2,cex.lab=1.5,legend=F)
legend("topright",legend=c("C=-1","C=+1"),col=1:2,pch=1:2,
        lwd=2,lty=c(2,1),bty="n",cex=2)

interaction.plot(B[A==1],C[A==1],Respuesta[A==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),
        lwd=4,cex=2,cex.lab=1.5,legend=F)
legend("topleft",legend=c("C=-1","C=+1"),col=1:2,pch=1:2,
        lwd=2,lty=c(2,1),bty="n",cex=2)

interaction.plot(B[A==1],C[A==1],Respuesta[A==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),
        lwd=4,cex=2,cex.lab=1.5,legend=F)
legend("topleft",legend=c("C=-1","C=+1"),col=1:2,pch=1:2,
        lwd=2,lty=c(2,1),bty="n",cex=2)

#pareto
modelo2<-lm(Respuesta~A*B*C+Bloque)
# Estimacion efectos modelo saturado
summary(modelo2)
# Grafico daniel
halfnormal(modelo2,code=T,alpha=0.2,linelwd=2,linecol=2,
        pch.set = c(19, 16, 8))
# grafico pareto
paretoPlot(modelo2,negative=c("Negativo","orange"),
        positive=c("Positivo","blue"))
LGB(coef(modelo2)[-1],rpt=T,alpha=0.2)
halfnormal(modelo2,code=T,alpha=0.2,linelwd=2,linecol=2,
        pch.set = c(19, 16, 8))

anova(modelo2)

dev.new()
par(mfrow=c(2,2))
shapiro.test(rstandard(modelo2))
stripchart(rstandard(modelo2)~A,vertical=TRUE,ylim=c(-2.5,2.5),
        pch=1,cex=1.5,xlab="A")
abline(h=c(-2,0,2),lty=2)
stripchart(rstandard(modelo2)~B,vertical=TRUE,ylim=c(-2.5,2.5),
        pch=1,cex=1.5,xlab="B")
abline(h=c(-2,0,2),lty=2)
stripchart(rstandard(modelo2)~C,vertical=TRUE,ylim=c(-2.5,2.5),
        pch=1,cex=1.5,xlab="C")
abline(h=c(-2,0,2),lty=2)

plot(fitted(modelo2),rstandard(modelo2),ylim=c(-2.5,2.5),cex=1.5)
abline(h=c(-2,0,2),lty=2)
qqnorm(rstandard(modelo2),cex=1.5)
qqline(rstandard(modelo2),lty=2)

```

```
Box.test(resid(modelo2), lag = 6, type = "Ljung-Box")
```

Referencias

- [1] Parra, S. (2014, 25 marzo). Las palomitas de maíz ayudaron a sentar las bases del imperio azteca (y cómo hacerlas con una lata de... Xataka Ciencia. Recuperado 10 de noviembre de 2021, de <https://www.xatakaciencia.com/sabias-que/las-palomitas-de-maiz-ayudaron-a-sentar-las-bases-del-imperio-azteca-y-como-hacerlas-con-una-lata-de-refresco>
- [2] Popcorn Explosion · Popcorn: Ingrained in America's Agricultural History · (s. f.). USDA. Recuperado 8 de noviembre de 2021, de <https://www.nal.usda.gov/exhibits/speccoll/exhibits/show/popcorn/popcorn-explosion#:~:text=Popcorn%20really%20caught%20on%20during,even%20through%20the%20Great%20Depression.&text=During%20the%20Depression%2C%20popcorn%20at,failed%2C%20the%20popcorn%20business%20thrived.>
- [3] The World's 6 Biggest Corn Producers. (2021, 31 julio). Investopedia. Recuperado 20 de diciembre de 2021, de <https://www.investopedia.com/articles/markets-economy/090316/6-countries-produce-most-corn.asp>
- [4] *The Science of Popcorn*. (s. f.). Carolina.com. Recuperado 2022, de <https://www.carolina.com/resources/detail.jsp?trId=tr23952>
- [5] Shavandi, Javanmard, & Basiri. (2022, 20 diciembre). Novel popping through infrared: Effect on some physicochemical properties of popcorn (Zea Mays L. var. Everta). ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643821021083>
- [6] Bayomy. (2017). Sensory, Nutritional and Popping Qualities of Yellow and Purple Popcorn. Journal of Food and Dairy Sciences, 8. https://www.researchgate.net/publication/326673621_Sensory_Nutritional_and_Popping_Qualities_of_Yellow_and_Purple_Popcorn
- [7] Srdić, J. (2019, 16 mayo). Evaluation of agronomic and sensory characteristics of the popcorn kernel. REC - Repositorio Del Instituto de Maíz «Zemun Polje», Belgrado. Recuperado 2022, de <http://rik.mrizp.rs/handle/123456789/663>
- [8] Ranathunga, Ashoka & Gunasekara, G.T.N. & Wijewardana, Danthasingha. (2016). Quality Performance, Proximate Composition and Sensory Evaluation of Developed Flavoured Instant Popcorn. Procedia Food Science. 6. 143-146. 10.1016/j.profoo.2016.02.034.
- [9] Popcornopolis Blog - Popcorn 101: Butterflies, Snowflakes & Mushrooms (oh my!). (s. f.). Popcornopolis. Recuperado 2022, de <https://www.popcornopolis.com/blog/butterfly-mushroom/>
- [10] How popcorn is made - material, history, used, processing, parts, product, industry, machine, History. (s. f.). How Products Are Made. Recuperado 2022, de <http://www.madehow.com/Volume-5/Popcorn.html>
- [11] Selke, L. A. (2019, 15 febrero). Different Ways to Pop Popcorn. Our Everyday Life. Recuperado 2022, de <https://oureverydaylife.com/different-ways-to-pop-popcorn-12228707.html>
- [12] Grande Tovar, C. D., & Orozco Colonia, B. S. (2012). Producción y procesamiento del maíz en Colombia. revistas usb. Recuperado 2022, de <https://revistas.usb.edu.co/index.php/GuillermoOckham/article/download/604/404/1593>
- [13] Palomitas de Maíz USA. (s. f.). <http://palomitasdemaiz.org/semillama.html>. Recuperado 2022, de <http://palomitasdemaiz.org/semillama.html>
- [14] Coleman, D. E., and Montgomery, D. C. (1993). A Systematic Approach to Planning for a Designed Industrial Experiment, Technometrics, vol. 35(1), pp.1—12
- [15] Ceylan, Mehmet and Karababa, Erşan (2004), The effects of ingredients on popcorn popping characteristic - International Journal of Food Science & Technology
- [16] Qué es un panel de degustación, Andy Zambrano, recuperado en 2022 de <https://www.slideshare.net/gabrielaandreasantozambrano/qu-es-un-panel-de-degustacin#:~:text=Un%20panel%20sensorial%20es%20un,produce%20resultados%20precisos%20y%20confiables.>
- [17] Recolección y análisis de datos sensoriales, recuperado en 2022 de : <https://conalepfelixtovar.wordpress.com/category/evaluacion-sensorial/#:~:text=Las%20escalas%20de%20medici%C3%B3n%20se,ordinal%2C%20de%20intervalo%20y%20racional.>
- [18] Análisis sensorial de alimentos recuperado en 2022 de: https://es.wikibooks.org/wiki/An%C3%A1lisis_Sensorial_de_Alimentos/Texto_completo