

## INFORME PLAN EXPERIMENTAL TRABAJO FINAL

### Experimento para estudiar y comparar factores que determinen el rendimiento en la cantidad de “crispetas” que se obtienen de una cantidad predeterminada de maíz pira

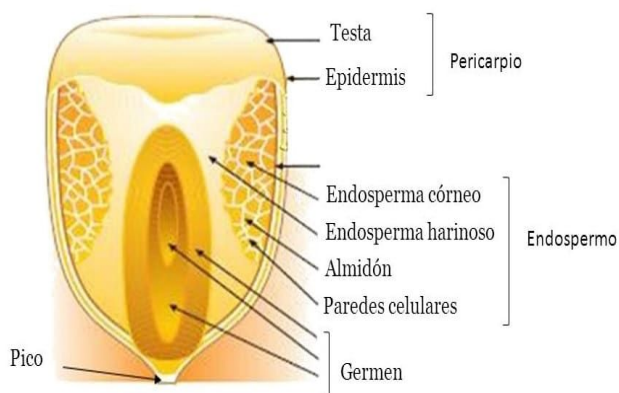
Estefania Alvarez Piedrahita<sup>1</sup>, Alexandra Berrío Jaramillo<sup>2</sup>, Juan Pablo Jaramillo<sup>3</sup>, Yeraldin Peláez Cano<sup>4</sup>, Nicolás Sarmiento García<sup>5</sup>

Fecha de entrega: 01 – 04 – 2020

#### 1. Marco teórico

El objetivo de un plan experimental es poder obtener conclusiones válidas y objetivas sobre un proceso, cuyo desarrollo es generar datos con los que se harán análisis estadísticos de la eficiencia del maíz para hacer crispetas. Cuando los Españoles llegaban a las costas Americanas en 1492, los autóctonos les ofrecían a modo de obsequio de bienvenida unos curiosos collares de palomitas de maíz. En México de donde el grano de maíz es originario y además los primeros en cultivar por el hombre, cultivos de cebada y trigo. También eran conocedores de que no todos los granos de maíz explotan con el calor, sabían que esto sucedía en función de la cantidad de agua en el interior de grano.

#### • Estructura del grano de maíz.



Para estallar y expandirse bajo los efectos del calor, un grano de maíz debe tener aproximadamente un 14% de humedad, con esta cantidad [5] obtuvo la mayor calidad de estallido, es decir, el volumen de expansión, el tamaño de la escama y el porcentaje más bajo de granos sin explotar. [1] Observa que la temperatura a la que revientan las palomitas de maíz es de 180°C dejando un (96%) de maíz estallado, también fijaron un intervalo de temperatura donde el estallido de las palomitas de maíz es óptimo, este intervalos está comprendido entre 177-183°C. [1] Define que la temperatura es crítica cuando el esfuerzo ortorradial inducido en el cáscara, excede la resistencia final de la cáscara. En el punto de ruptura, la cáscara tiene aproximadamente una resistencia máxima 10 MPa. Cuando la temperatura de las palomitas de maíz supera los 100°C, su contenido de agua hierve y alcanza un equilibrio termodinámico a la presión de vapor, esto se debe a que el pericarpio actúa como un recipiente a presión y cuando la temperatura está 177°C la mayor parte del agua en el núcleo se sobre calienta y proporciona la fuerza impulsora para expandir el núcleo, una vez se rompe el pericarpio[2].

El experimento de [3] se guió por el camino de preparar las palomitas con microwave, los factores a considerar fueron el precio, el tiempo, potencia, precalentamiento y elevación, la variable respuesta para este experimento fueron dos, peso de palomitas no explotadas y quemadas, la otra variable respuesta seleccionada fue el sabor de las palomitas de maíz. El nivel de los factores fueron: Para el precio (genérico y de marca), para los tiempos (4 min y 6 min), para la potencia (Media y Baja), el precalentamiento y la elevación (No y SI). El diseño experimental se realizó utilizando un diseño factorial. También comentan que aplicar el principio de Pareto ayuda a identificar lo que Juran llama: los pocos factores vitales entre los muchos triviales. teniendo en cuenta los anteriores, [3] encuentran que los factores significativos que afectan el rendimiento y sabor son: precio, tiempo, potencia y elevación.

Según el experimento [2] encontraron algunos problemas en un centro de alimentos con la calidad de las palomitas de maíz en su punto de venta. Específicamente, identificaron que muchas veces la proporción de palomitas de maíz sin explotar era más de lo habitual. Para abordar el problema se identificaron los factores responsables de la queja donde esto preocupaba al centro de alimentos por las pérdidas debido a la mala calidad de los granos de maíz. Como resultado del experimento se concluyó que los factores significativos fueron la marca de maíz, el tipo de grasa utilizado, y la cantidad de kernels utilizados. Las variables respuesta para este estudio fueron rendimiento y sabor.

En otras recomendaciones para el plan experimental es hacer un muestreo de las marcas, puesto que se requiere conseguir la mayor representatividad en la muestra. Se debe tener en cuenta que en el momento de la compra del insumo no debe ser en el mismo lugar (Supermercado), de ser así solo se estudiaría el insumo solamente en ese supermercado y no en los otros donde también se puede encontrar el mismo insumo pero de diferente Lote de producción.

El experimento a desarrollar en este trabajo va a fundamentarse o apoyarse en de acuerdo al artículo [2]. Este artículo describe el procedimiento completo y adecuado para un experimento que involucra rendimiento del maíz pira, identificar los factores y combinaciones de niveles para obtener resultados óptimos.

### 1.1 Tipos y Clasificación del maíz:

- **Taxonomía:** Reino: Plantae División: Magnoliophyta Clase: Liliopsida Subclase: Commelinidae Orden: Poales  
Familia: Poaceae Subfamilia: Paricoideae Tribu: Andropogoneae Género: Zea Especie: Zea mays.

**Raíz:** Presenta numerosas raíces adventicias que brotan de los nudos inferiores y que dirigiéndose al suelo se fijan fuertemente. Raíz fasciculada.

**Hoja:** Son simples, alternas cortantes, alargadas y estrechas, paralelinervias y con una larga vaina en forma de envoltura alrededor de casi todo el entrenudo, Situado por encima del punto de inserción con el tallo.

**Tallo:** Es herbáceo, recto, cilíndrico, en su base presenta nudos y entrenudos bien diferenciados.

**Florez:** Es una planta monoica por tanto tiene flores masculinas y femeninas en el mismo pie de la planta, la inflorescencia masculina se presenta en forma de panoja terminal y cada flor que es apétala, tiene tres estambres protegidos por brácteas. Las flores femeninas se disponen en las axilas de las hojas en un eje grueso y están cubiertas por brácteas protectoras dando lugar a esa inflorescencia a un tipo especial de espiga.

**Fruto:** El fruto y la semilla forman un solo cuerpo: El grano de maíz (Kernel) es un fruto pequeño, seco, encarpado y contiene un solo cotiledón. [9]

Tipo de Maíz	Descripción
Maíz Dulce	El maíz dulce, como su propio nombre indica, se caracteriza por su sabor dulce debido a su alto contenido en azúcares, ya que la conversión del azúcar en almidón es bloqueada por determinados genes recesivos. El maíz dulce es recogido antes de comenzar el proceso de secado del grano, por lo que también se caracteriza por su elevada humedad. Esto se traduce en una mayor probabilidad de sufrir plagas, enfermedades o procesos de putrefacción por parte del fruto.
Maíz Duro	El maíz duro está compuesto en su mayoría por almidón duro, presentando almidón blando únicamente en el corazón del grano. Por ello, presenta una mayor dureza de grano, lo que lo hace menos propenso a sufrir ataques de plagas o enfermedades. Podemos encontrar diferentes tonalidades de maíz duro como amarillo, naranja, blanco, verde, morado o negro entre otros y sus granos se caracterizan por ser duros y de forma redondeada.
Maíz Reventón	El maíz reventador es mundialmente conocido por su utilización para cocinar las clásicas palomitas de maíz. Como principal característica destaca la dureza del grano, que no podrá ser ingerido o masticado de no ser cocinado para que explote.

<b>Maíz Dentado</b>	El maíz dentado adopta su nombre por la forma de diente que adquiere en su proceso de secado. Se caracteriza por concentrar el almidón duro en las puntas y estar compuesto por almidón blando en el resto del grano.
<b>Maíz Harinoso</b>	Además de por su gran variedad de colores y de estar destinado a la preparación de platos alimenticios, el maíz harinoso destaca por estar compuesto mayoritariamente de almidón muy blando, lo que supone granos muy blandos. Por ello, también tiene gran tendencia a estropearse por putrefacción o ataque de plagas a lo largo del proceso productivo.
<b>Maíz Ceroso</b>	El maíz ceroso es blando y está compuesto principalmente por amilopectina sin apenas contenido en almidón, lo cual lo hace mucho más rápido de digerir. No se trata de un cultivo habitual, ya que se reduce a determinadas zonas del continente asiático, donde es muy consumido en determinadas dietas y platos tradicionales.
<b>Maíz Opaco con proteínas de calidad</b>	El maíz opaco con proteínas de calidad también se caracteriza por ser blando y estar expuesto a enfermedades y plagas, pero destaca por tener unas condiciones nutritivas muy superiores al resto de tipos vistos. Esto se debe a la posesión de un gen recesivo en concreto que contiene una cantidad de aminoácidos muy superior al resto de tipos de maíz, mejorando su capacidad proteica.
<b>Maíz Baby</b>	El maíz baby sería el equivalente a los famosos tomates Cherry en el cultivo del maíz. Se trata de mazorcas de menor tamaño que han sido recogidas al comienzo de su proceso de crecimiento, una vez han adoptado la forma de mazorca pero todavía no han desarrollado todo su tamaño. Precisamente por este motivo su color es algo más claro o apagado que el de una mazorca totalmente desarrollada, pero se consumen de igual manera dentro de la dieta del consumidor final.

## 1.2 Tipos de cocción del maíz:

**Cocción en recipiente:** Los granos de maíz se ponen en un recipiente y se tuestan habitualmente friéndose en aceite vegetal hasta que ocurra una explosión, Según [10] solamente algunas variedades sirven para palomitas de maíz ( Maíz reventón o rosetero o Zea mays) Estas producen el resultado deseado que es la expansión del contenido del grano creando una masa esponjosa de color blanco.

**Cocción Horno microondas:** Estas son comercializan dentro de un bolsa de papel doblada de manera especial, junto con el aceite y la sal necesarios para su cocción. Para la obtención de la masa blanda blanca se pone la bolsa dentro el microonda, las ondas electromagnéticas de radio de alta frecuencia de este instrumento están entorno a los 2.5 Ghz. la ondas son absorbidas por el agua , grasas y azúcares haciendo un calentamiento dieléctrico. Hay moléculas como la del agua que se encuentra dentro del kernel del maíz , cuya estructura forma dipolos eléctricos, es decir tienen una carga positiva parcial en un extremo y una carga negativa en el otro, y por tanto oscilan en su intento de alinearse con el campo eléctrico alterno del microondas. Al rotar, se producen rozamiento y choques, que son los que elevan la temperatura.

## 1.3 Industrialización del maíz:

En Colombia se pueden diferenciar dos sistemas de producción:

Sistema de Producción	Definición
<b>Tecnificado</b>	Hace referencia a los monocultivos de más de cinco hectáreas. Se desarrolla en terrenos planos, de buena fertilidad y disponibilidad de agua; utiliza tecnologías basadas en la mecanización para la preparación del suelo y la siembra, el uso de semillas mejoradas, fertilizantes y plaguicidas químicos.

<b>Tradicional</b>	Se adelanta en muchas regiones del país en donde predomina la economía campesina. En general se realiza en suelos con baja fertilidad, en minifundios menores a cinco hectáreas. Generalmente se lleva a cabo con capital propio pero en algunos casos se usan créditos extrabancarios. Es frecuente el crédito en especie mediante suministro de bienes básicos para ser pagados con la cosecha. En general el cultivo del maíz se basa en el uso de una amplia diversidad de variedades criollas y la utilización limitada de híbridos. La mano de obra es familiar, el grado de mecanización es muy bajo al igual que el uso de insumos químicos. La preparación del suelo es mínima, se hace arando con bueyes y azadón y se siembra a chuzo. En zonas frías generalmente se siembra en asocio con frijol, papa, haba y arveja, usando como cultivo de rotación el trigo y la papa, mientras que en zonas cálidas se asocia con yuca, café, cacao, plátano y frijol. Los rendimientos de la producción tradicional no son altos, en gran parte, porque las tierras usadas para ello son generalmente suelos pobres y, además, en muchos casos no se utilizan las semillas adecuadas para estas condiciones.
--------------------	---

## Agroindustria:

Los productos que se pueden realizar a partir del maíz son :

- Maíz molido para alimentación de los pollos
- Concha para acompañar el ceviche
- Palomitas de maíz.

### 1.4 Medidas para el rendimiento de las palomitas de maíz:

Medida	Definición
<b>Proporción</b>	Se conoce como proporción a la relación de correspondencia o igualdad que existe en varias cosas relacionadas entre sí; es decir, en cuanto a tamaño, cantidad, dureza, etc.
<b>Esfericidad</b>	Índice de medida de la forma de una partícula y también de la desviación de esta forma de una esfera equivalente. En sentido estricto, este índice indica la relación entre la superficie de una esfera, que tiene el mismo volumen que el fragmento, y la superficie real del mismo. Para un sólido no esférico, esta relación es menor que la unidad. Sin embargo, puesto que es más fácil medir longitudes que superficies, se suele definir la esfericidad como la relación entre el diámetro de una esfera que tiene el mismo volumen que la partícula y el diámetro de una esfera que circunscribe la partícula. Esta nueva relación, proporciona también un valor menor que la unidad para los fragmentos no esféricos; cuanto más se acerque esta relación a la unidad, mayor será el índice de esfericidad.
<b>Tamaño</b>	La forma más frecuente de percepción del tamaño para los humanos es a través de la vista. La forma más común de percibir una medida es comparar la de un elemento observado por primera vez con la medida de un objeto que te resulte familiar.

**1.4.1 Rendimiento de acuerdo a la grasa:** Para la selección de la grasa se tomó como referencia el artículo [2] en donde uno de los factores es la grasa , en donde se compara un aceite vegetal y la mantequilla clarificada, teniendo en cuenta lo anterior, se seleccionó la marca de aceite “Premier” y marca de mantequilla clarificada “Ghee”, puesto que las propiedades del aceite y mantequilla clarificada no difieren mucho entre marcas.

**Aceite vegetal:** Es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas u otras partes de las plantas, está compuesto por lípidos, es decir, ácidos grasos de diferentes tipos. La proporción de estos ácidos grasos y sus diferentes características, son las que dan las propiedades a los distintos aceites vegetales existentes. Los aceites y las grasas vegetales se extraen de las semillas oleaginosas de frutas y pepitas. No solamente se utilizan para la alimentación, sino que también, son utilizadas con fines industriales. Dependiendo del tipo de materia prima se utiliza un método y otro para su extracción y elaboración. Esto es así porque es necesario separar el líquido (aceite) de la parte sólida.

**Mantequilla clarificada:** Es una grasa láctea anhidra procesada de la mantequilla para separar los sólidos lácteos y el agua de la grasa butírica. Por lo general se produce deritiendo mantequilla y dejando que los diferentes componentes se separen por densidad. El agua se evapora, algunos sólidos flotan en la superficie y son espumados, y el resto de los sólidos lácteos se hunden hasta el fondo y se quedan atrás cuando la grasa de la mantequilla se vacía.

Calorías	45	
Grasa total	5g	8%
Grasa saturada	3g	15%
Grasa trans	9g	
Colesterol	15mg	5%
Sodio	0mg	0%
Carbohidratos total	0g	0%
Fibra dietaria	0g	0%
Azúcares	0g	
Proteína	0g	0%
Vitamina A	0g	0%
Calcio	0g	0%
Vitamina C	0g	0%
Hierro	0g	0%



**1.4.2 Rendimiento de acuerdo a la marca:** Para poder medir el rendimiento de la marca, se encontró que en el experimento [2] se tomó la marca de menor valor y la marca de mayor valor, de esta forma después de que se seleccionó aleatoriamente los supermercados, se tomó las dos marcas con estas características.



Calorías	400	
Grasa total	4g	6%
Grasa saturada	0g	0%
Grasa trans	0	
Colesterol	0g	0%
Sodio	15mg	1%
Carbohidrato total	82g	27%
Fibra dietaria	1.5g	6%
Azúcares	0g	
Proteína	10g	20%
Vitamina A		0%
Calcio		0%
Vitamina C		0%
Hierro		0%



Calorías	110	
Grasa total	1g	2%
Grasa saturada	0g	0%
Grasa trans	0g	
Colesterol	0mg	0%
Sodio	0mg	0%
Carbohidrato total	22g	7%
Fibra dietaria	0g	0%
Azúcares	0g	
Proteína	3g	6%
Vitamina A		0%
Calcio		0%
Vitamina C		0%
Hierro		4%

### 1.4.3 Rendimiento de acuerdo a la humedad :

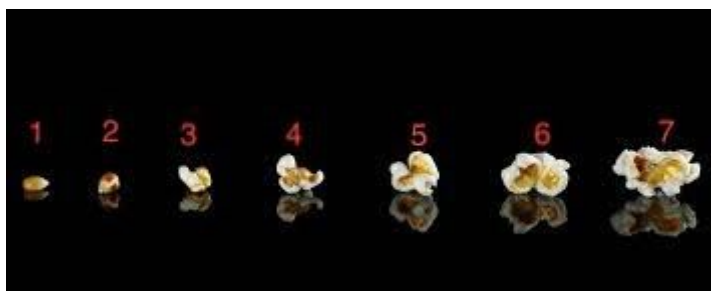
Un estudio tomó como objetivo explorar el mecanismo responsable del pico en el volumen de estallido en función del contenido de agua. Estudios anteriores han demostrado que el volumen de la palomita se ve afectado por el contenido de agua hasta un valor óptimo.[11] concluyó que a medida que aumenta el contenido de agua , la presión en el grano en el momento de estallido es menor, lo que causa una menor expansión y menor volumen final de estallido.

### 1.4.3 Rendimiento de acuerdo al Tamaño:

De acuerdo a mediciones de propiedades físicas no destructivas, como el tamaño del grano, la esfericidad, la deformación elástica y la gravedad específica. Dentro de una variedad dada , los tamaños de grano más grande dieron como resultado una relación de grano sin explotar más baja y el volumen de expansión y el tamaño de escamas fueron más altos, según índices evaluados de las características de las palomitas de maíz en el microondas según [14]; También la deformación elástica no tiene correlación con el estallido de microondas.

### 1.5 Control de calidad de la palomita de maíz:

Para medir de una manera constante la proporción de granos que no reventaron en cada corrida, se verificará que los granos se encuentren en el estado 1 y 2 como lo muestra la siguiente imagen, de lo contrario el grano no se contará.



## 2. Proceso o sistema que se estudia y variables respuestas de interés:

Variables respuesta	Niveles de operación	Medida de precisión
Humedad del grano de maíz	8.95%-17.2%	$\pm 0.02$
Volumen de expansión	15.43cm <sup>3</sup> - 17.2cm <sup>3</sup>	$\pm 0.30$ ml
Rendimiento	Peso de mil semillas Número de Kernels 100-200	$\pm 0.0001$ Gramos
Sabor	1-10 Subjetivo	Criterio de sabor

El interés es determinar la calidad de las palomitas de maíz de acuerdo a la proporción de granos estallados de un total de 100. La medición depende solamente del investigador y no de un aparato o instrumento que contenga incertidumbre.

## 3. Objetivo del experimento

Comparar la cantidad de granos de maíz que explotan en dos diferentes tiempos de cocción, con dos marcas particulares de maíz pira. Se espera que el experimento responda a las siguientes preguntas:

- ¿Existe diferencia en la cantidad de maíz explotado entre las dos diferentes marcas durante los tiempos establecidos? si existe, es significativa?
- ¿Si existe diferencia de maíz explotado, cual tiene mejor rendimiento?
- ¿Da mayor rendimiento utilizar aceite vegetal o mantequilla clarificada?

No es posible generalizar resultados a otros granos de maíz pira, pues cada grado difiere, por esto las conclusiones que se obtengan solo deben y pueden ser discutidas en términos de las condiciones a las que se uso en este experimento que son las marcas Frescampo y TOT, las marcas que lideran el negocio son: Act II, con 34,2%; La Especial, con 34,1%; y Planet Pop, con 6,6%.

#### 4. Identificación de todas la fuentes de variación:

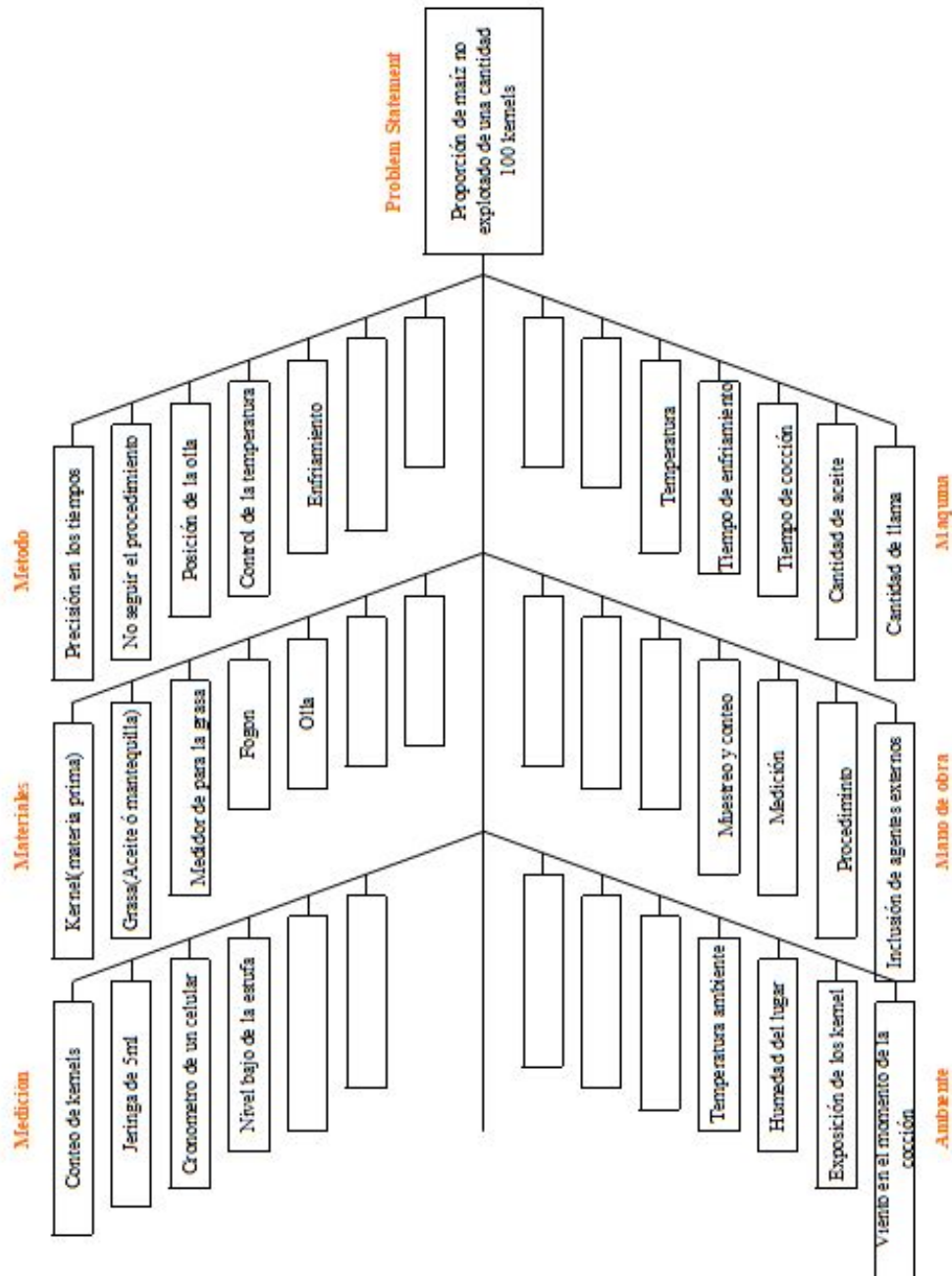


Figura 2: Diagrama de causa y efecto



**Tabla 2 Factores seleccionados para el experimento y sus niveles**

Código Factor	Factor	Bajo(-1)	Alto(+1)
A	Marca de Kernels	Precio bajo	Precio alto
B	Duración	30 Segundos	50 Segundos
C	Tipo de grasa	Aceite vegetal	Mantequilla clarificada

El experimento consiste en estudiar y comparar el rendimiento en el número de crispetas que se obtienen de una cantidad predeterminada de maíz pira, en este caso 100. Se pretende realizar un análisis con dos marcas de maíz pira seleccionadas de acuerdo al precio en un supermercado de cadena ubicado en la ciudad de Medellín, las marcas elegidas para desarrollar el experimento son: Frescampo siendo la marca del precio más bajo y TOT la marca del precio más alto.

No se tendrán en cuenta las marcas que comercializan palomitas instantáneas para preparar en el microondas; si se quiere observar los resultados respecto a este experimento se puede ver el artículo [3] Applying DOE to Microwave Popcorn.

Después de ver en el marco teórico los factores que pueden afectar los resultados según diferentes experimentos, se realiza una prueba piloto para observar posibles inferencias de la primera corrida del experimento. Una vez seleccionados los paquetes de maíz pira de las marcas elegidas se procede a tomar muestras aleatorias de 100 granos, y se sigue el siguiente proceso descrito a continuación:

- a. La prueba piloto se realizó en la urbanización serravalle, en el barrio calasanz, ya que se contaba con un fogón de características comunes.



- b. Para tener control sobre la cantidad de kernels, se contó cada uno de los granos para formar la cantidad correcta para cada una de las corridas y se organizaron en dos toallas diferentes separándolas por marca.





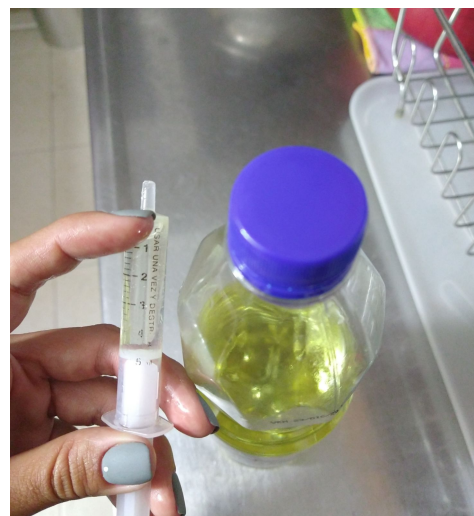
- c. Se usó el fogón de adelante en el lado izquierdo para realizar la prueba piloto ya que era el que estaba en mejor condición y se podía controlar de una manera más constante la llama. Para controlar de la mejor manera los factores externos y que no fueran a influir en cada corrida, se cerraron las persianas para evitar que el viento influya en el desarrollo.



- d. Se seleccionó de acuerdo a la facilidad una olla IMUSA para realizar cada una de las corridas. El recipiente se precalienta a fuego medio por un tiempo fijo de 30 segundos. Esto se realiza para eliminar la humedad que la olla pueda contener, la cual puede contaminar la corrida del experimento.



- e. Se mide con la ayuda de una jeringa el aceite, el nivel de la grasa es de 5ml, para controlar de esta manera que sea la misma cantidad para cada una de las corridas.



- f. Se agrega la grasa medida anteriormente al recipiente previamente precalentado por 30 segundos, para que de esta manera el agua que quedará después de lavar el recipiente en cada corrida se evapore.



- g. La grasa se calienta a fuego bajo durante 50 segundos, se controló de manera que la perilla girara hasta su punto máximo el cual es la intensidad baja, y de esta manera tener la misma intensidad de la llama en cada corrida.

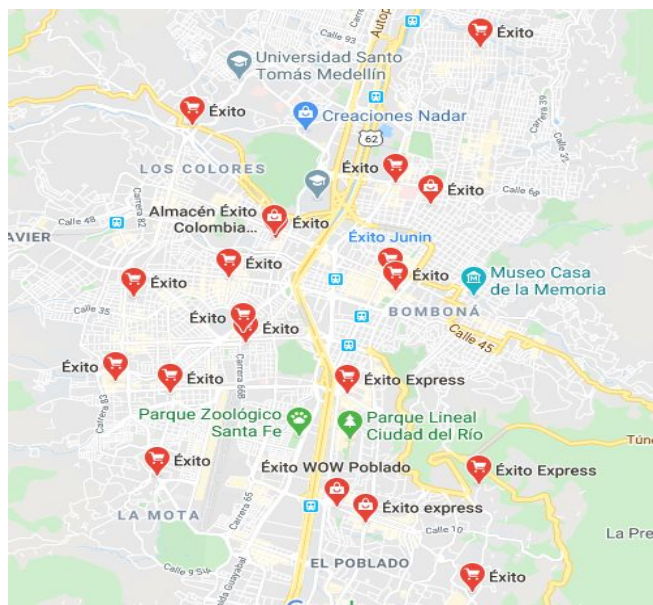


- h. Los 100 granos se incorporan al recipiente con la grasa, verificando que ningún grano quede sobre otro. Dejar los granos en el fuego durante los tiempos determinados (30 y 50 segundos) según el experimento [2]. Una vez cumplido el tiempo, se retira la olla del fuego y se deja reposar durante 30 segundos con la tapa puesta. Se destapa la olla y se procede al conteo de granos de maíz que estallaron.



### 3. Muestreo:

Para la compra del insumo del maíz pira para el desarrollo del experimento se realizó un muestreo: Nuestro universo consta de 23 supermercados "Éxito" en la ciudad de Medellín. Se desea utilizar un muestreo aleatorio simple para seleccionar 12 de los supermercados para la obtención del insumo, todos con la misma probabilidad de seleccionarse  $1/23$ . Luego estando ahí en dichos supermercados, se selecciona de a una unidad de las dos marcas, la económica y la premium respectivamente. Teniendo en cuenta que el producto está ordenado en el mostrador y se escoge aleatoriamente el producto de acuerdo a un generador de números aleatorios de una calculadora Fx-570 Es - Plus.



**Tabla 1 Lista de supermercados Éxito para selección de U.E**

NÚMERO	SUPERMERCADO	NÚMERO	SUPERMERCADO	SELECCIONADOS
1	Éxito Aranjuez	14	Éxito La América	1
2	Éxito Aventura	15	Éxito Laureles	3
3	Éxito Belén	16	Éxito Maracaibo	5
4	Éxito Colombia	17	Éxito Molinos	7
5	Éxito Del Este	18	Éxito Poblado	9
6	Éxito Envigado	19	Éxito Robledo	10
7	Éxito Envigado Centro	20	Éxito San Antonio	13
8	Éxito Gran Vía	21	Éxito San Diego	14
9	Éxito Indiana Mall	22	Éxito Unicentro	17
10	Éxito La Central	23	Éxito la 70	20
11	Éxito Itagüí			21
12	Éxito Junín			23
13	Éxito La 33			



Supermercados	Dirección	Unidades Seleccionadas			
		TOT	Nº Aleatorio	Frescampo	Nº Aleatorio
Éxito Aranjuez	calle 94 #48-13	1	7	1	1
Éxito Belén	Carrera 77 # 28-124	1	4	1	1
Éxito Del Este	Carra 25 # 3-45	1	2	1	2
Éxito envigado centro	carrera 48 Envigado	1	7	1	4
Éxito Indiana Mall	Km 19,Av. Las palmas	1	1	1	2
Éxito la central	Calle 43 # 21-38	1	1	1	7
Éxito la 33	Calle 34 # 43-65	1	6	1	1
Éxito la América	Carrera 79B # 45-90	1	4	1	6
Éxito maracaibo	calle 49 # 52-165	1	5	1	7
Éxito San Antonio	Calle 48 # 46-115	1	6	1	1
Éxito San Diego	Caller 36 # 43-15	1	7	1	4
Éxito la 70	Carrera 70 # 43-31	1	2	1	5

### 1.3 Marcas:

**Frescampo:** Es una marca propia del Grupo Éxito, Frescampo participa en 60 categorías de la compañía como granos, frutos secos, bebidas, aceites, enlatados, arepas, panes, lácteos, entre otros y es realizada por 146 proveedores nacionales.

**TOT:** El Maíz Pira TOT surgió en el mercado colombiano en el año 1979, para tal época, la economía colombiana estaba dándose a la apertura y se tuvo la visión de cubrir la creciente demanda del maíz pira en Colombia. Recién se dio la apertura económica, TOT fue la primera marca de maíz pira comercializada en Colombia, al inicio, se vendía a mayoristas en la ciudad de Bogotá y ellos a su vez le vendían a las tiendas de barrio y comercios alrededor de la capital.

### 1.4 Grasas:

- Mantequilla clarificada : La mantequilla clarificada es una grasa láctea procesada de la mantequilla para separar los sólidos lácteos y el agua de la grasa butírica. Por lo general se procede derritiendo mantequilla y dejando que los diferentes componentes se separen por densidad. El agua se evapora, algunos sólidos flotan en la superficie y son espumados, y el resto de los sólidos lácteos se hunden hasta el fondo y se quedan atrás cuando la grasa de la mantequilla se vacía.
- Un aceite vegetal es un triglicérido extraído de una planta. El término “aceite vegetal” puede definirse estrechamente como referido sólo a los aceites vegetales que son líquidos a temperatura ambiente o definidos ampliamente sin tener en cuenta el estado de la materia de la sustancia a una temperatura dada.

Para la selección de la marca de tipo de grasa aceite y mantequilla clarificada, tomando como referencia el artículo [8] no se hizo comparaciones entre marcas sino entre tipo de grasa. Por lo anterior, se seleccionó la marca de aceite “Premier” y marca de mantequilla clarificada “Ghee”, puesto que las propiedades del aceite y mantequilla clarificada no difieren mucho entre marcas.

#### 1.4.1 Marcas de grasa:

**Premier:** La amplia gama de productos premier demuestra su compromiso con la salud y el bienestar de los consumidores. Son productos que cumplen con estrictos estándares de calidad.

“Esta marca es pionera en el mercado de aceites y margarinas, que representa aproximadamente el 20% de la canasta de alimentos de los colombianos, convirtiéndola en la número uno con toda una variedad de productos indicados para cada gusto y necesidad.”

**Ghee (La quinta esencia):** El Ghee es uno de los ingredientes más valiosos y preciados de la cocina india y de la dieta ayurvédica. Se trata de una especie de mantequilla clarificada. Según la receta de Manjula Balakrishnan en el libro Cocina

ayurvédica, Alimentos de los Dioses, la mantequilla tradicional primero se derrite a fuego medio en una cacerola y luego se cuece a fuego lento hasta que salgan burbujas. Acto seguido, el agua evapora y los sólidos de la leche (proteínas) se depositan en el fondo del recipiente. Al cabo de quince-veinte minutos, se quita la cacerola del fuego, se retira la espuma y se deja enfriar. Por esta razón, se prefiere a otros aceites para saltear y freír. Otro motivo de su frecuente empleo en la cocina india es que se cree que ayuda la digestión y mejora la absorción de determinados componentes.

#### **4. Identificación de todas las fuentes de variación:**

##### **4.1. Factores de estudio y sus niveles**

Los cinco factores mencionados anteriormente en la Tabla 1 son los que se consideran que afectan potencialmente la cantidad de granos de maíz que explotan, esto debido a que en cada marca la calidad de grano varía y afecta el rendimiento del resultado final, ya que la capacidad de cambiar de grano de maíz a palomita se ve afectada por varios factores, [6] menciona que la capacidad de reventar de un grano de maíz depende del tamaño, volumen, contenido de humedad y cantidad de daño en el pericarpio, además también se menciona una relación lineal entre las dimensiones del grano con el contenido de humedad. Por lo anterior el tiempo de cocción también es diferente para cada una de las marcas; y el comportamiento con los tipos de grasa puede ser diferente de acuerdo a las propiedades de cada uno, por ejemplo el punto de ebullición de la mantequilla clarificada es más bajo que para el aceite. De acuerdo con lo anterior y estudios previos se definieron los niveles de los factores elegidos para desarrollar la muestra piloto los cuales son: Para el factor marcas de maíz para los niveles fueron: (precio bajo frescampo(-1), precio alto TOT(+1)), para el factor tiempo de cocción o duración: (30 segundos (-1), 50 segundos(+1)), para el factor grasa: (Aceite vegetal(-1) Premier y mantequilla clarificada (+1)), y para el factor número de kernel (100(-1), 200(+1)) respectivamente.

##### **4.2. Factores de bloque, de ruido y covariables**

El principio de bloqueo se pudo haber tenido en cuenta con los supermercados donde se compro las bolsas de palomitas de maíz, sin embargo no se bloqueo, ya que las empresas de ventas de maíz pira busca que su producto varíe lo menos posible entre diferentes lotes, es decir, que la calidad de grano para diferentes cosechas sea lo más homogénea posible; pero si es una fuente de ruido menor, otra de las situaciones que influyó a no bloquear fue que solo se escogió una cadena de supermercados y se espera que la calidad de un mismo producto no cambia, pero posiblemente es una fuente de variación. Otras fuentes de variación es la temperatura ambiente que puede ser influyente en la cantidad de humedad dentro del grano de maíz afectando así su capacidad de explotar. Por otro lado la posición en la que se encuentra la estufa no es completamente rectilínea generando así un desnivel el cual induce a que el contenido de grasa quede ubicado en un solo lado de la olla y no sea homogéneo obligando al experimentador ser preciso a la hora de colocar los kernels de maíz sobre la grasa. Todas estas fueron consideradas menores. Ningún factor de ruido fue incorporado al experimento.

##### **4.3. Unidades experimentales**

El experimento se lleva a cabo usando la misma olla para cada muestra, se utilizó 12 bolsas por cada marca, 6 asignadas al tratamiento con 100 gramos y las otras 6 a las de 200 gramos. De grasa se utilizó aceite vegetal y mantequilla clarificada. Cada conjunto de granos de maíz (kernels 100) es la unidad experimental serán seleccionadas aleatoriamente de los paquetes de las diferentes marcas.

#### **5. Regla de asignación de las unidades experimentales a los tratamientos**

Un número igual de observaciones se asigna sobre cada uno de los dos niveles del factor. Por lo tanto se prepararon muestras de 100 y 200 granos de maíz. Para cada unidad experimental se asignó un empaque de maíz pira, los cuales se selecciona de un supermercado de cadena un paquete por cada marca de una lista de los principales supermercados “Éxito” en la ciudad de Medellín. Estos granos serán escogidos aleatoriamente a las unidades experimentales (grupos de 100) las cuales serán asignadas a cada tratamiento. Esta regla de asignación define un diseño completamente aleatorizado con  $n=3$  observaciones en cada nivel de los factores.

#### **6. Procedimiento experimental, mediciones y dificultades anticipadas**

La cantidad de aceite y de maíz pira se agregan de acuerdo a la regla de asignación descrita. La olla se deja calentar sin tapa y con aceite o mantequilla clarificada por 50 segundos e inmediatamente se agregan los granos de maíz y se procede a tapar. La tapa no se abre hasta haber terminado el tiempo asignado para que el calor se conserve. Después de esperar el tiempo de cocción, el

contenido de la olla se dejar reposar un periodo de 30 segundos con el fin de asegurar que el calor de la olla no afecte la explosión de los granos de maíz, es decir, al retirar la olla esta queda con una temperatura elevada por lo cual los granos de maíz pueden seguir explotando.

Posteriormente cuando la olla ha reposado, cada maíz pira es contado cuidadosamente. Esta cantidad es registrada para estudiar los cambios que pueden haber ocurrido. El análisis se realiza sobre las diferencias entre las marcas y el tiempo de cocción.

### 6.1 Dificultades experimentales esperadas:

- La temperatura del aceite podría ser una dificultad debido a que no se contó con un termómetro, esta puede variar a pesar de haber fijado el tiempo de calentado de la olla, sin embargo se espera no varíe mucho de tal forma que no afecte en gran medida el experimento.
- El tiempo entre corridas es un factor ruido y es una dificultad, ya que no se cuenta con el suficiente tiempo para dejar enfriar en su totalidad la olla y puede que la temperatura de calentamiento para la siguiente corrida sea mayor.
- La cantidad de granos y de aceite a usar tiene que ser exacta para obtener un rendimiento homogéneo en las tres marcas.

### 6.2 Dificultades encontradas durante la experimentación:

- El tiempo de espera entre corrida y corrida tiene que ser exacto para que la temperatura de la olla sea lo más homogénea posible de corrida a corrida..
- La olla debe de estar en cada corrida en la misma posición( centro del fogón ) para que el calor se pueda repartir de la misma manera, lo que es difícil de calcular para que sea exacto en cada corrida ya que el fogón no tiene un molde en fijo y la mayoría de veces presenta un desnivel el cual hace que el aceite o la mantequilla clarificada quede en un solo sitio lo cual implica que algunos granos de maíz no queden sumergidos o untados ya sea con aceite o mantequilla clarificada y este se demore más en explotar, es decir, que no exploten en los tiempos establecidos establecidos anteriormente.

## 7. Experimento

Se corrió un experimento con el objetivo de identificar dificultades durante la experimentación y determinar cómo poder mejorarlas para el experimento final, también se realizó para verificar si los diferentes factores enunciados en el marco teórico son significativos. En la siguiente tabla se muestra como fueron tabulados los resultados:

### Corrida aleatorio del experimento

Unidad Experimental	Corrida	Tratamiento
1	1	b
2	2	a
3	3	a
4	4	b
5	5	ac
6	6	ab
7	7	b
8	8	(-1)
9	9	bc
10	10	bc
11	11	(-1)
12	12	c
13	13	c
14	14	a
15	15	ab

16	16	(-1)
17	17	bc
18	18	c
19	19	ac
20	20	ab
21	21	abc
22	22	abc
23	23	abc
24	24	ac

**Tabla 3: Notación de Yates**

Yates	Marca de Kernel	Duración	Tipo de Grasa	Rendimiento de Maíz					
	A	B	C	Y1	Corrida	Y2	Corrida	Y3	Corrida
(1)	(-)	(-)	(-)	9	8	15	11	8	16
a	(+)	(-)	(-)	78	2	24	3	18	14
b	(-)	(+)	(-)	5	1	2	4	4	7
ab	(+)	(+)	(-)	3	6	0	15	5	20
c	(-)	(-)	(+)	28	12	14	13	28	18
ac	(+)	(-)	(+)	10	5	55	19	14	24
bc	(-)	(+)	(+)	7	9	5	10	2	17
abc	(+)	(+)	(+)	16	21	18	22	20	23

### Corrección por continuidad

En la teoría de probabilidad, una corrección por continuidad es un ajuste que se realiza cuando una distribución discreta se aproxima mediante una distribución continua que para este caso es una aproximación de la distribución binomial a una distribución normal.

### Binomial

Si una variable aleatoria X tienen una distribución binomial con parámetros n y p, es decir, X se distribuye como el número de ‘éxito’ en n ensayos independientes Bernoulli con probabilidad p de éxito en cada ensayo, luego:

$$P(X \leq x) = P(X < x + 1)$$

para cualquier  $x \in \{0, 1, 2, \dots, n\}$ . Si np y np(1-p) son grandes, entonces la probabilidad por encima se aproxima por:

$$P(Y \leq x + 0.5)$$

donde Y es una variable aleatoria con distribución normal con el mismo valor esperado y la misma varianza que X, es decir,  $E(Y) = np$  y  $Var(Y) = np(1-p)$ . La adición 0.5 a x es una corrección por continuidad.

### Corrección de las respuesta

$$Y_i \sim \text{Bin}(n_i p_i, n_i p_i (1 - p_i)) \text{ para } i = 1, 2, 3 \text{ y } n_i = n$$

entonces por corrección de continuidad tenemos que:  $Y_1' = y_1 + 0.5$        $Y_2' = y_2 + 0.5$        $Y_3' = y_3 + 0.5$

$$Y_{ij}' \sim N(n_i p_i, n_i (1 - p_i)) \text{ para } i = 1, 2, 3 \text{ y } j = 1, \dots, 8$$



Luego la tabla anterior queda la de siguiente forma, teniendo en cuenta que:

$$Y'_{ij} = \text{total de granos no explotados} / 100$$

Yates	Marca de Kernel	Duración	Tipo de Grasa	Rendimiento de Maíz					
	A	B	C	Y1	Corrida	Y2	Corrida	Y3	Corrida
-1	(-)	(-)	(-)	0.0905	8	0.1505	11	0.0805	16
a	(+)	(-)	(-)	0.7805	2	0.2405	3	0.1805	14
b	(-)	(+)	(-)	0.0505	1	0.0205	4	0.0405	7
ab	(+)	(+)	(-)	0.0305	6	0.0005	15	0.0505	20
c	(-)	(-)	(+)	0.2805	12	0.1405	13	0.2805	18
ac	(+)	(-)	(+)	0.1005	5	0.5505	19	0.1405	24
bc	(-)	(+)	(+)	0.0705	9	0.0505	10	0.0205	17
abc	(+)	(+)	(+)	0.1605	21	0.1805	22	0.2005	23

## Resultados

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

Como el objetivo del experimento es estudiar el efecto sobre el rendimiento de maíz, tomando como referencia el artículo [2] cada uno con dos niveles se hará un diseño factorial con  $2^k$  tratamientos. Se denotaron los niveles de los factores como bajo y alto, en forma codificada representamos por -1 y +1 respectivamente según [13]. Cada nivel de todos los factores ocurre con cada nivel de todos los demás factores, como se muestra en la Tabla 3 lo que equivale a un total de 8 tratamientos. Se utilizó este diseño gracias a que ha sido el de mayor impacto a nivel industrial y en la investigación, por su eficacia, versatilidad y es principalmente útil cuando el número de factores a estudiar está entre 2 y cinco, lo cual es nuestro caso. En general, los factoriales en dos niveles sean completos o fraccionados, constituyen el conjunto de diseños de mayor impacto en las aplicaciones. Estos permiten atacar todo tipo de problemas y procesos de manera eficiente. Dado que se tendrá cuidado en controlar todas las fuentes extrañas de variación, se asumió que el siguiente modelo es una aproximación razonable:

Estructura de diseño: Experimento factorial  $2^k$  la variable respuesta obtenida en la tabla anterior es la proporción de semillas no explotadas, también se hizo una corrección por continuidad para que la variable respuesta tenga una distribución normal.

#### Modelo

$$X_1 = \begin{cases} -1 & A : \text{Precio bajo} \\ +1 & A : \text{Precio alto} \end{cases} \quad X_2 = \begin{cases} -1 & B : 30 \text{ segundos} \\ +1 & B : 50 \text{ segundos} \end{cases}$$

$$X_3 = \begin{cases} -1 & C : \text{Aceite vegetal} \\ +1 & C : \text{Mantequilla clarificada} \end{cases}$$

**Modelo ANOVA:**  $Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \lambda_k + \alpha_i\beta_j + \alpha_i\lambda_k + \beta_j\lambda_k + \alpha_i\beta_j\lambda_k + \varepsilon_{ijk}, \quad \varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = \sum_{j=1}^n \beta_j = \sum_{k=1}^8 \lambda_k = \sum_{i=1}^n \alpha_i \beta_j = \sum_{i=1}^n \alpha_i \lambda_k = \sum_{i=1}^n \alpha_i \beta_j \lambda_k = 0$$

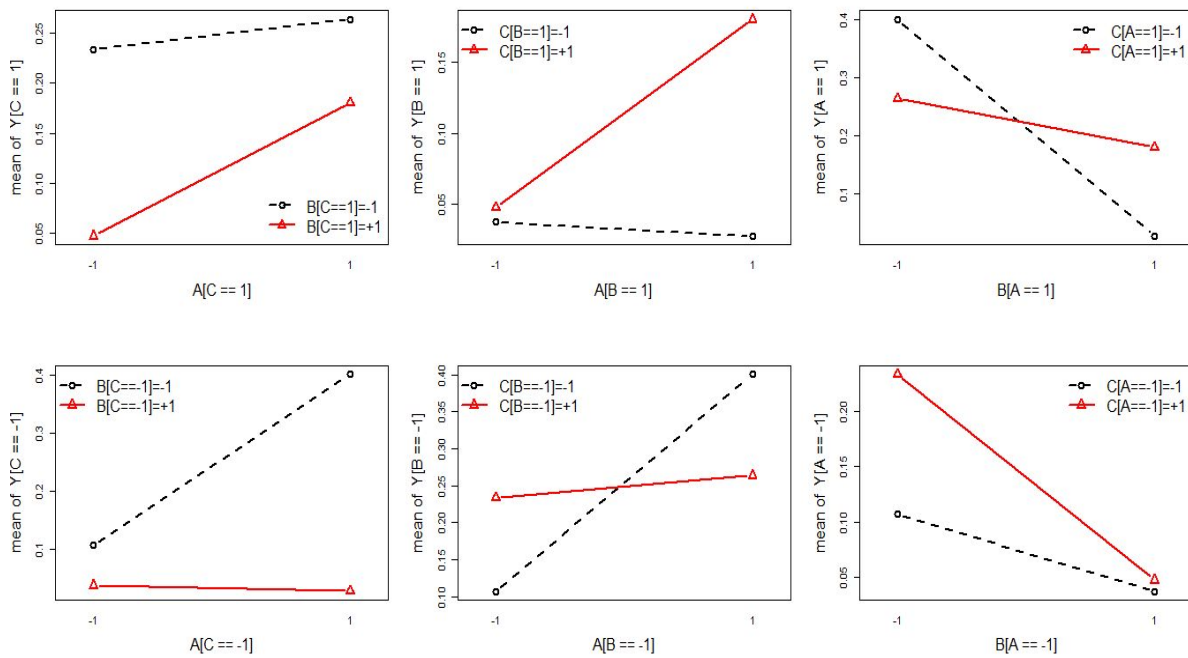
Lo mismo para j , k en las dobles y triples interacciones.

**El modelo de regresión correspondiente es:**

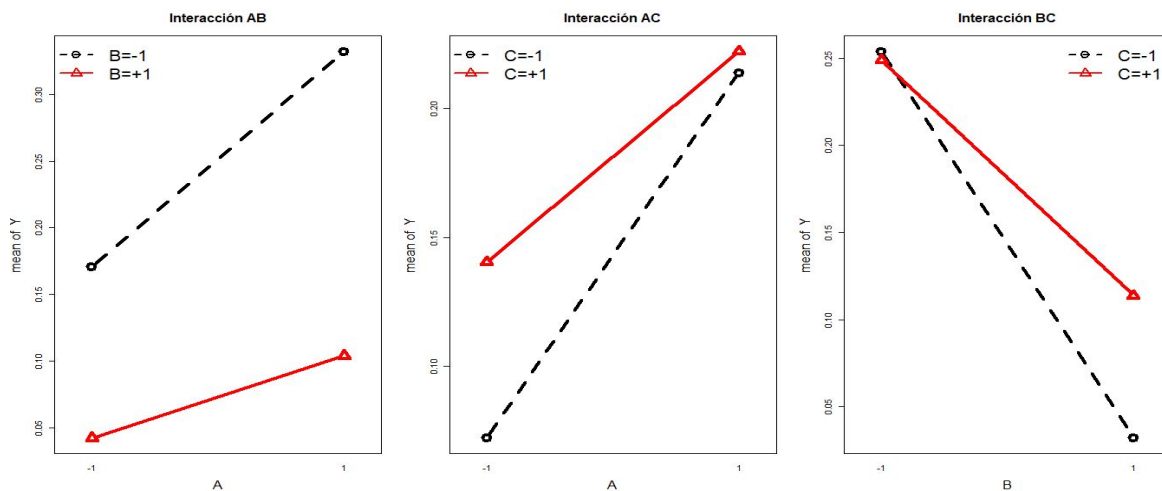
$$Y_{ij} = \beta_0 + \sum_{i=1}^3 \beta_i X_i + \beta_{1,2} X_1 X_2 + \beta_{1,3} X_1 X_3 + \beta_{2,3} X_2 X_3 + \beta_{1,2,3} X_1 X_2 X_3 + E$$

$$E \sim N(0, \sigma^2)$$

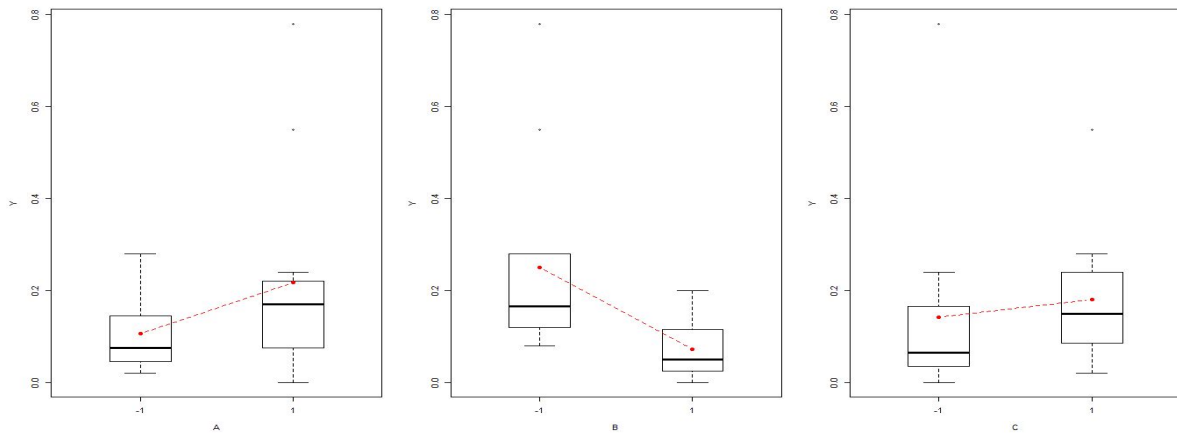
**Análisis descriptivo** Con las siguientes figuras se determinar la posible presencia de triple interacción y enmascaramiento de los factores principales y cómo pueden estar afectando los factores sobre la variable respuesta. Si hay presencia de interacción se debe ser cauto al evaluar los efectos marginales y dobles interacciones.



**Figura 8.1: Perfiles de medias para el análisis de la interacción triple**



**Figura 8.2: Perfiles de medias para evaluar las interacciones dobles AB, AC y BC**

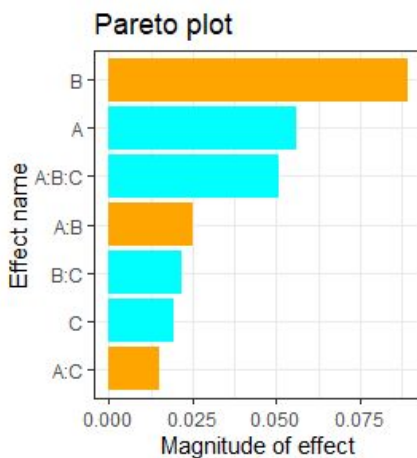


**Figura 8.3: Boxplot para evaluar los efectos principales de A, B y C**

De la figura 8.1 es evidente que la interacción entre ABC es significativa, por ejemplo si observamos la forma en que interactúan A y C esta varía significativamente cuando cambia el nivel B, vemos que cuando  $C=-1$  y  $B=1$  se observa un crecimiento al variar el nivel de A de -1 a 1 pero pasa lo contrario cuando en el nivel de  $B=-1$ , ahora si fijamos el valor  $C=1$  y  $B=1$  vemos una línea recta que tiene una pendiente muy pequeña cuando se cambian los niveles de A, pero si fijamos el nivel  $B=-1$  vemos que la línea roja aumenta su pendiente cuando varía el nivel de A. Se obtiene un buen rendimiento de palomitas de maíz cuando el porcentaje de granos explotados es próximo a cero por lo tanto de la figura también se puede concluir que si se fija el nivel de  $A=1$ ,  $B=-1$  y  $C=-1$ , es decir  $A=\text{Precio Alto}$ ,  $B=\text{duración(Tiempo de cocción) 30 segundos}$  y  $C=\text{Aceite vegetal}$ , la proporción de semillas de maíz no explotado se minimiza en estos valores. Luego el rendimiento de las palomitas de maíz es óptimo.

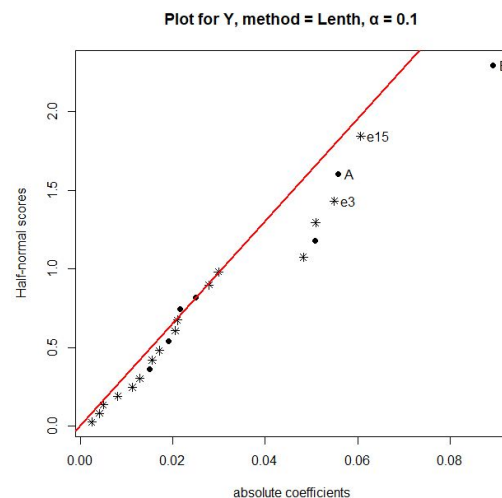
Como la triple interacción ABC es significativa las conclusiones para los efectos de interacciones dobles y factores principales toca hacerlos con precaución, de acuerdo con estos en la figura 8.2 muestra que las dobles interacción son significativas. De la interacción entre AB se podría concluir que existe una interacción leve ya que la distancia entre la dos rectas no varía de forma significativa cuando se cambia el nivel de A, para AC y BC se podría concluir que estas interacciones son moderadas ya para AC en el nivel  $A=-1$  para cada nivel de C hay una mayor distancia mientras que cuando  $A=1$  esta diferencia se hace casi cero y para BC ocurre lo opuesto.

A nivel de factores principales es todavía más arriesgado sacar conclusiones, ya que, la triple y dobles son significativas, pero a nivel del factor B se alcanza apreciar una diferencia entre las medias de cada uno de los niveles del factor, para A y C puede existir un enmascaramiento y no se observa diferencia entre ellas ya que las cajas para cada uno de los niveles se solapan en gran medida.



**Sign of coefficients**

- Negativo
- Positivo



**Figura 8.4: Gráfica de Pareto de efectos estimados y de probabilidad medio normal**

En el gráfico de efectos estimados (efectos sin estandarizar), vemos que los efectos de mayor magnitud son B y A, pero la triple interacción tiene casi la misma magnitud de A por lo tanto se debería dejar en el modelo, pero el gráfico “Half normal plot” los únicos factores que presenta como outliers respecto a la recta de probabilidad normal son B y A la triple interacción no alcanza a ser significativa.

### 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 el más bajo y +1 para el nivel alto.

```
Call:
lm(formula = Y ~ A * B * C)

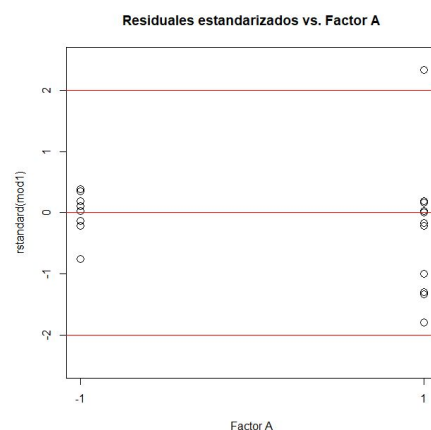
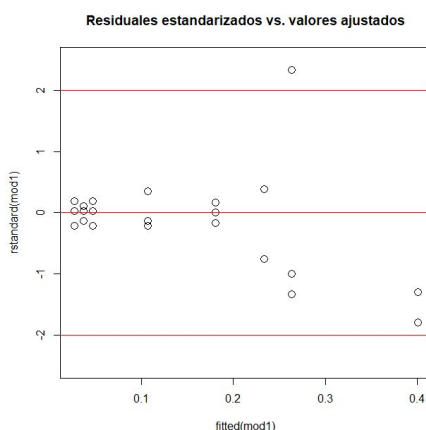
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.22000 -0.02667  0.00167  0.02333  0.38000

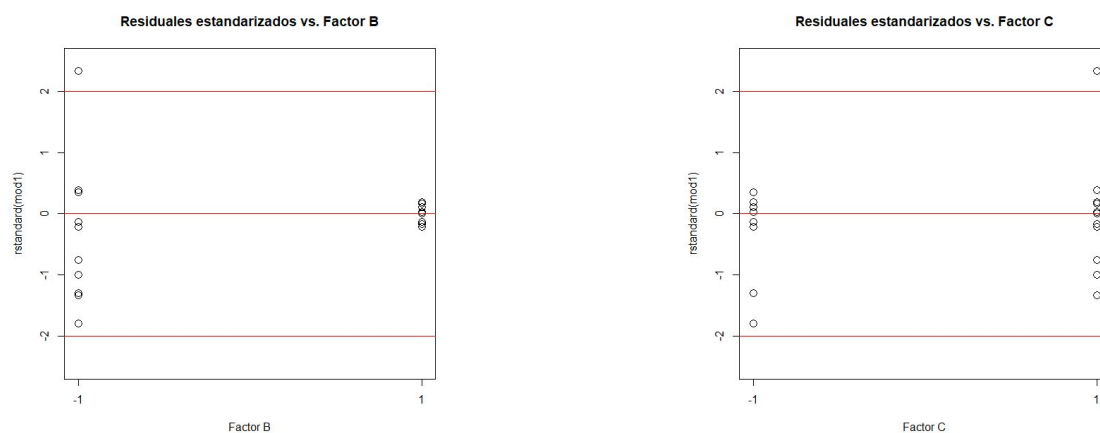
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.16217    0.03071   5.280 7.47e-05 ***
A             0.05583    0.03071   1.818  0.0878 .
B            -0.08917    0.03071  -2.903  0.0104 *
C             0.01917    0.03071   0.624  0.5414
A:B          -0.02500    0.03071  -0.814  0.4276
A:C          -0.01500    0.03071  -0.488  0.6319
B:C           0.02167    0.03071   0.705  0.4907
A:B:C         0.05083    0.03071   1.655  0.1174
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.1505 on 16 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.5041,    Adjusted R-squared:  0.2871
F-statistic: 2.323 on 7 and 16 DF,  p-value: 0.07711
```

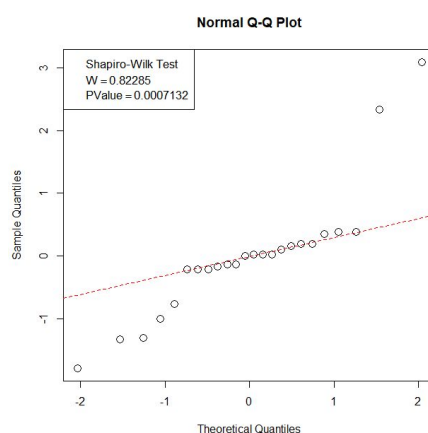
De los resultados del ajuste del modelo de regresión arrojaron que la triple interacción no es significativa lo cual es un error por lo mostrado en los gráficos de interacción en donde hay evidencia de dicha interacción, esto se debe al supuesto de que  $Y_{ij} \sim N(\mu_{ij}, \sigma^2)$  no se cumple ya que los valores atípicos obtenidos en el experimento dañan la normalidad de la variable respuesta y el modelo de regresión no es capaz de identificar la triple interacción.

Como no fue posible volver a correr el experimento no se pudo determinar si la presencia de estos datos atípicos fue por un error de procedimiento o en realidad si el resultado si tiene que ver que con cada uno de los factores para esta corrida, una evidencia que presentó este experimento es que la réplicas para los tratamientos implicados tienen valores altos. De acuerdo a lo anterior se decidió cambiar los valores atípicos por el promedio de los otras dos réplicas con el fin de poder de llegar a dar resultados concordantes con lo mostrado en las gráficas. **Comportamiento de los residuales**





**Figura 8.5: Residuales estandarizados.**



**Figura 8.6: Gráfico de probabilidad normal de los residuales**

En los gráficos de residuales vs valores ajustados y factores principales es claro que el supuesto de varianza constante no se cumple siendo más grave para los factores A y B, el comportamiento para los valores ajustados es como de cono es decir a medida que aumenta el Y estimado así mismo lo hacen los residuales.

**Observación:** No es recomendable quitar o reemplazar por el promedio de las réplicas los valores atípicos, en vez de esto se recomienda correr nuevamente el experimento y verificar que la presencia de los datos atípicos no fue un error de medición.

### Experimento cambiando los valores atípicos

Para el tratamiento **a** en la réplica uno su valor es sustituido por  $(0.2405+0.1805)/2 = 0.2105$  y el tratamiento **ac** en la réplica dos su valor es sustituido por  $(0.1005+0.1405)/2=0.1205$ . A continuación se muestra la tabla con notación de Yates con lo valores que se sustituyeron para las factores a y ac.

Yates	Marca de Kernel	Duración	Tipo de Grasa	Rendimiento de Maíz					
				Y1	Corrida	Y2	Corrida	Y3	Corrida
-1	(-)	(-)	(-)	0.0905	8	0.1505	11	0.0805	16
a	(+)	(-)	(-)	0.2105	2	0.2405	3	0.1805	14
b	(-)	(+)	(-)	0.0505	1	0.0205	4	0.0405	7

ab	(+)	(+)	(-)	0.0305	6	0.0005	15	0.0505	20
c	(-)	(-)	(+)	0.2805	12	0.1405	13	0.2805	18
ac	(+)	(-)	(+)	0.1005	5	0.1205	19	0.1405	24
bc	(-)	(+)	(+)	0.0705	9	0.0505	10	0.0205	17
abc	(+)	(+)	(+)	0.1605	21	0.1805	22	0.2005	23

Los modelos planteados anteriormente son válidos para las correcciones planteadas.

## Análisis descriptivo

Con las siguientes figuras se determinar la posible presencia de triple interacción y enmascaramiento de los factores principales y cómo pueden estar afectando los factores sobre la variable respuesta. Si hay presencia de interacción se debe ser cauto al evaluar los efectos marginales y dobles interacciones.

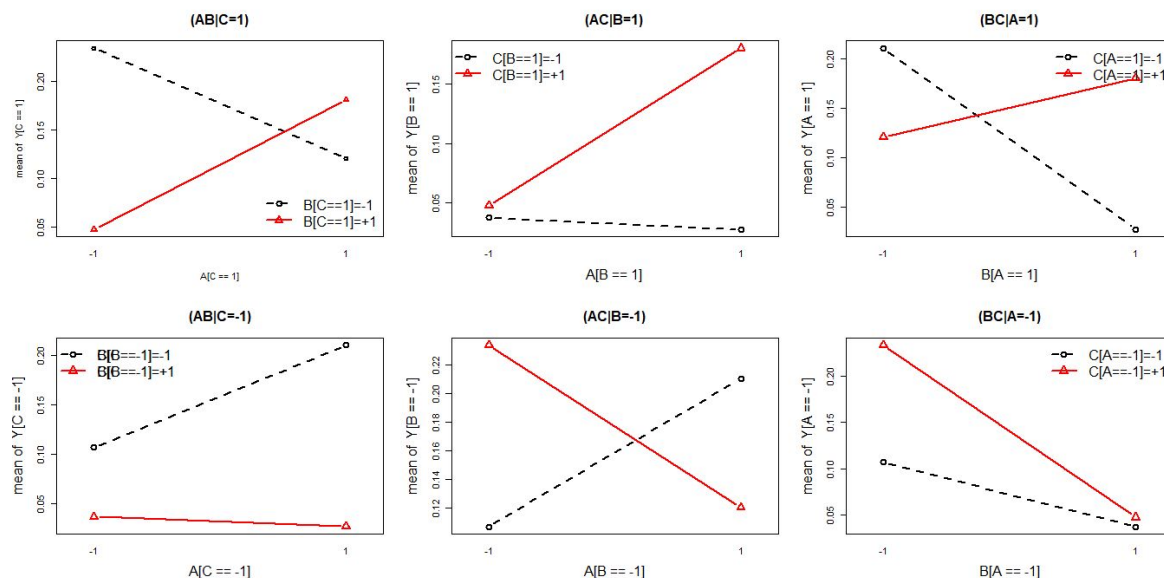


Figura 8.6: Perfiles de medias para el análisis de la interacción triple

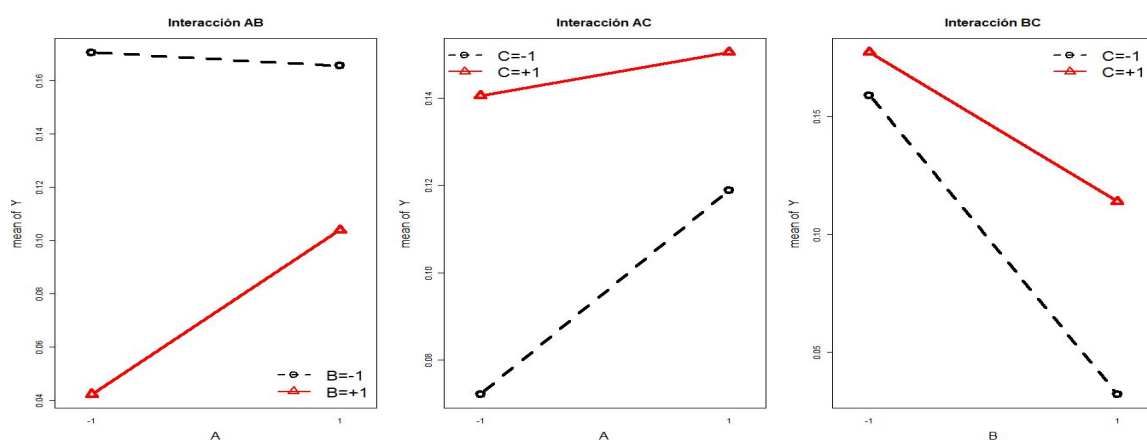
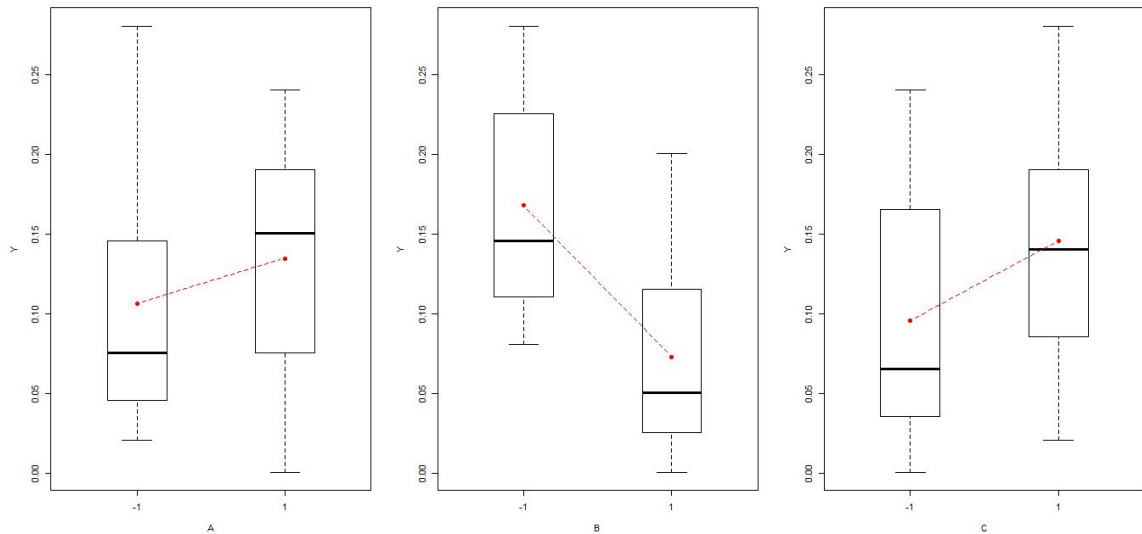


Figura 8.7: Perfiles de medias para evaluar las interacciones dobles AB, AC y BC

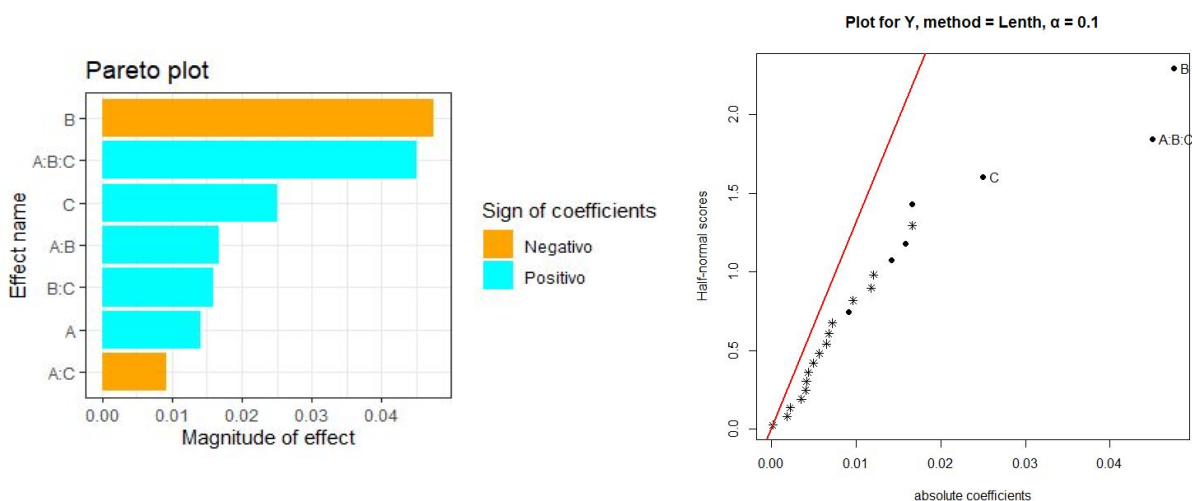


**Figura 8.8: Boxplot para evaluar los efectos principales de A, B y C**

De la figura 8.4 es evidente que la interacción entre ABC es significativa, por ejemplo si observamos la forma en que interactúan A y B esta varía significativamente cuando cambia el nivel C, cuando el nivel de C=1, B=-1 y se varía el nivel de A se observa que la recta resultante tiene una pendiente negativa, mientras que para el otro nivel de C la pendiente es positiva, ahora si cambiamos el nivel de C=-1, B=-1 y se varía el valor de A la recta resultante cambia de pendiente negativa a positiva y lo mismo ocurre cuando el nivel B=1, lo mismo ocurre fijando los factores A y B. Para los valores que se minimiza el porcentaje de granos no explotados es cuando el nivel de A =1, B=1 y C=-1 es decir A=Precio Alto, B=50 segundos, C=Aceite vegetal.

Como la triple interacción ABC es significativa las conclusiones para los efectos de interacciones dobles y factores principales toca hacerlos con precaución, de acuerdo con estos en la figura 8.5 se podría concluir que para la interacción AC, AB, y BC existe una interacción leve ya que las rectas para cada una de estas presentan un comportamiento casi paralelo, es decir, la distancia entre las rectas es casi constante a medida que se cambie en nivel de un factor. Esto puede deberse al enmascaramiento por parte de la triple interacción.

A nivel de factores principales es todavía más arriesgado sacar conclusiones, ya que, la triple interacción es significativa y lo más seguro es que las dobles interacciones también lo sean, pero a nivel del factor B se alcanza apreciar una diferencia entre las medias de cada uno de los niveles del factor, para A y C puede existir un enmascaramiento y no se observa diferencia entre ellas ya que las cajas para cada uno de los niveles se solapan en gran medida.



**Figura 8.9 Gráfica de pareto de efectos estimados con corrección de valores atípicos y de probabilidad media normal**



En los gráficos anteriores observamos los efectos estimados sin estandarizar, que la triple interacción A:B:C tiene casi la misma magnitud que B siendo significativas, pero a la vez en el gráfico “Half normal plot” se presenta como outliers respecto a la recta de probabilidad al igual que C. Evidenciando que los datos atípicos con los que contábamos antes estaban enmascarando la triple interacción.

## 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 el más bajo y +1 para el nivel alto.

```
Call:
lm(formula = Y ~ A * B * C)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-0.093333 -0.020000  0.001667  0.020833  0.046667

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  0.120500   0.007626  15.801 3.49e-11 ***
A             0.014167   0.007626   1.858  0.08173 .
B            -0.047500   0.007626  -6.228 1.21e-05 ***
C             0.025000   0.007626   3.278  0.00473 **
A:B           0.016667   0.007626   2.185  0.04407 *
A:C          -0.009167   0.007626  -1.202  0.24686
B:C           0.015833   0.007626   2.076  0.05436 .
A:B:C         0.045000   0.007626   5.901 2.24e-05 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.03736 on 16 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8601,    Adjusted R-squared:  0.7988
F-statistic: 14.05 on 7 and 16 DF,  p-value: 9.371e-06
```

## ANOVA

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados Medios	$F_0$	Valor-p
A	0.004817	a-1=1	0.004817	$F_A = MSA/MSE = 3.4507$	0.081725
B	0.054150	b-1=1	0.054150	$F_B = MSB/MSE = 38.7940$	$1.20 \times 10^{-5}$
C	0.015000	c-1=1	0.015000	$F_C = MSC/MSE = 10.7463$	0.004732
AB	0.006667	(a-1)(b-1)=1	0.006667	$F_{AB} = MS(AB)/MSE = 4.7761$	0.044073
AC	0.002017	(a-1)(c-1)=1	0.002017	$F_{AC} = MS(AC)/MSE = 1.4448$	0.246857
BC	0.006017	(b-1)(c-1)=1	0.006017	$F_{BC} = MS(BC)/MSE = 4.3104$	0.054355
ABC	0.048600	(a-1)(b-1)(c-1)=1	0.048600	$F_{ABC} = MS(ABC)/MSE = 34.8179$	$2.236 \times 10^{-5}$
Error	0.022333	abc(n-1)=16	0.001396		
Total	159.601	abcn-1=23			

Hipótesis a un nivel de significancia de  $\gamma = 0.05$

### Significancia de la triple interacción

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

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

**Estadístico**  $F_{ABC} = MS(ABC)/MSE = 34.8179 \quad F_{ABC} \sim f_{1,16}$

**Rechazo**  $Valor-p = P(f_{1,16} \geq 34.8179) = 2.236 \times 10^{-5}$

Como el valor  $p \ll \gamma$  se rechaza la hipótesis nula, es decir, la triple interacción es significativa por lo tanto puede existir enmascaramiento de las interacciones dobles y factores principales.

### Significancia de las interacciones dobles

Interacción AxB	Interacción AxC	Interacción BxC
$H_0 : (\alpha\beta)_{ij} = 0 \quad \forall i, j$ $H_1 : \text{algún } (\alpha\beta)_{ij} \neq 0$ $i=1,2 \text{ y } j=1,2$	$H_0 : (\alpha\lambda)_{ik} = 0 \quad \forall i, k$ $H_1 : \text{algún } (\alpha\lambda)_{ik} \neq 0$ $i=1,2 \text{ y } k=1,2$	$H_0 : (\beta\lambda)_{jk} = 0 \quad \forall j, k$ $H_1 : \text{algún } (\beta\lambda)_{jk} \neq 0$ $j=1,2 \text{ y } k=1,2$
$F_0 = MS(AB)/MSE = 4.7761$ $F_0 \sim f_{1,16}$ $VP = P(f_{1,16} \geq 4.7761) = 0.044073$	$F_0 = MS(AC)/MSE = 1.4448$ $F_0 \sim f_{1,16}$ $VP = P(f_{1,16} \geq 1.4448) = 0.246857$	$F_0 = MS(BC)/MSE = 4.3104$ $F_0 \sim f_{1,16}$ $VP = P(f_{1,16} \geq 4.3104) = 0.054355$
Como el valor p es menor que $\gamma$ 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 mayor que $\gamma$ no se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto la doble interacción entre AC queda enmascarada por la triple interacción.	Como el valor p es mayor que $\gamma$ no se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto la doble interacción entre BC queda enmascarada por la triple interacción.

**Nota:** Los valores p para las significancia de las dobles interacciones AB y BC son muy cercanos al nivel de significancia  $\gamma$  por lo tanto las conclusiones pueden estar equivocadas sin embargo esto puede ser causado por la triple interacción lo cual hace que no se puede tener una decisión contundente con respecto a la significancia de estas interacciones dobles.

### Significancia de los factores principales

Factor A	Factor B	Factor C
$H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = 0$ $H_1 : \text{al menos } \alpha_i \neq 0$ para $i=1,2$	$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = 0$ $H_1 : \text{al menos } \beta_j \neq 0$ $j=1,2$	$H_0 : \lambda_1 = \lambda_2 = 0$ $H_1 : \text{al menos } \lambda_k \neq 0$ $k=1,2$
$F_0 = MSA/MSE = 3.4507$ $F_0 \sim f_{1,16}$ $VP = P(f_{1,16} \geq 3.4507) = 0.081725$	$F_0 = MSB/MSE = 38.7940$ $F_0 \sim f_{1,16}$ $VP = P(f_{1,16} \geq 38.7940) = 1.20 \times 10^{-5}$	$F_0 = MSC/MSE = 10.7463$ $F_0 \sim f_{1,16}$ $VP = P(f_{1,16} \geq 10.7463) = 0.004732$
Se concluye a un nivel de significancia de 0.05 que no se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, el factor principal A 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.

Como el interés del experimento es buscar la mínima cantidad de kernel no explotados, por lo tanto, se buscan bajo qué condiciones debe operarse el proceso para alcanzar este mínimo. Lo anterior se justifica con la Tabla ANOVA gráficos de interacción y estimación de las medias de los tratamientos (usando lsmeans) con nivel de confianza del 95% los resultados son consignados en la siguiente tabla.

Media	A	B	C	lsmean	SE	df	lower.CL	upper.CL
$\mu_{222}$	alto	alto	alto	0.18050000	0.0215703	16	0.134773010	0.22622699
$\mu_{122}$	bajo	alto	alto	0.04716667	0.0215703	16	0.001439677	0.09289366
$\mu_{212}$	alto	bajo	alto	0.12050000	0.0215703	16	0.074773010	0.16622699
$\mu_{112}$	bajo	bajo	alto	0.23383333	0.0215703	16	0.188106343	0.27956032
$\mu_{221}$	alto	alto	bajo	0.02716667	0.0215703	16	-0.018560323	0.07289366
$\mu_{121}$	bajo	alto	bajo	0.03716667	0.0215703	16	-0.008560323	0.08289366
$\mu_{211}$	alto	bajo	bajo	0.21050000	0.0215703	16	0.164773010	0.25622699
$\mu_{111}$	bajo	bajo	bajo	0.10716667	0.0215703	16	0.061439677	0.15289366

De acuerdo a la figura 8.4 y la tabla de estimaciones de medias obtenidas anteriormente la menor proporción de kernels no explotados es cuando el factor A está en el nivel alto el cual es “Precio Alto”, lo mismo sucede para B y el nivel alto para este factor es “50 segundos” y el factor C está en el nivel bajo el cual es “Aceite vegetal”. También cabe notar que si se varía el nivel del factor A no se presenta una diferencia significativa entre  $\mu_{221}$ ,  $\mu_{121}$  y  $\mu_{122}$  y observando los intervalos de confianza se encuentra que se solapan entre ellos. Luego se espera que:

$$\mu_{221} = \mu_{121} = \mu_{122}$$

Las medias estimadas más alta están de color verde, los IC del 95% obtenidas se solapan entre ellos por lo tanto se espera que:

$$\mu_{222} = \mu_{112} = \mu_{211}$$

Sin embargo en la tabla anterior se observan dos filas de color rojo las cuales no se sabe a qué grupo pertenecen ya que los IC obtenidos se solapan con los dos grupos obtenidos anteriormente.

Por lo tanto se hace el procedimiento de Tukey sobre  $abc=8$  medias de tratamientos. Construyendo IC al 95% de las forma :

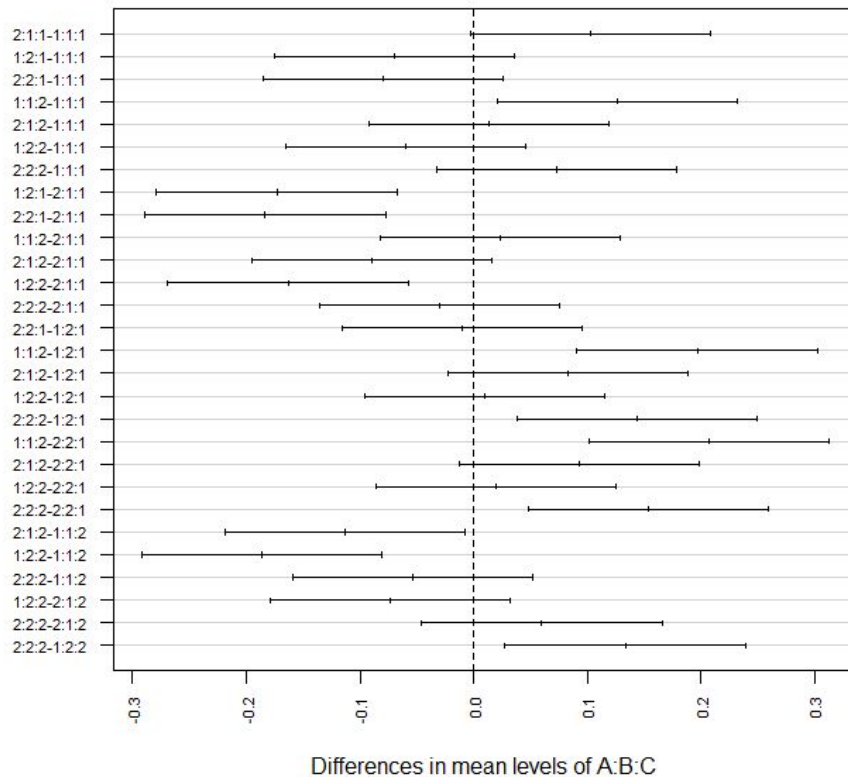
$$(\mu_{ijk} - \mu_{lmn}) \in (\bar{Y}_{ijk} - \bar{Y}_{lmn}) \pm q_{0.05}(abc, abc(n-1))\sqrt{MSE/n}$$

para verificar si las medias de tratamientos indicadas resultan iguales, en la siguiente tabla se muestra los resultados de la comparación de las media donde  $\mu_{ijk}$  se representa i:j:k.

A:B:C		IC al 95%			
	diff	lwr	upr	p adj	Resultado
2:1:1-1:1:1	0.10333333	-0.002279604	0.208946270	0.0574757	Igual ( $\mu_{211} = \mu_{111}$ )
1:2:1-1:1:1	-0.07000000	-0.175612937	0.035612937	0.3526868	Igual ( $\mu_{121} = \mu_{111}$ )
2:2:1-1:1:1	-0.08000000	-0.185612937	0.025612937	0.2171425	Igual ( $\mu_{221} = \mu_{111}$ )
1:1:2-1:1:1	0.12666667	0.021053730	0.232279604	0.0133020	Diferente ( $\mu_{112} \neq \mu_{111}$ )
2:1:2-1:1:1	0.01333333	-0.092279604	0.118946270	0.9997899	Igual ( $\mu_{212} = \mu_{111}$ )
1:2:2-1:1:1	-0.06000000	-0.165612937	0.045612937	0.5299583	Igual ( $\mu_{122} = \mu_{111}$ )
2:2:2-1:1:1	0.07333333	-0.032279604	0.178946270	0.3023369	Igual ( $\mu_{222} = \mu_{111}$ )
1:2:1-2:1:1	-0.17333333	-0.278946270	-0.067720396	0.0006976	Diferente ( $\mu_{121} \neq \mu_{211}$ )
2:2:1-2:1:1	-0.18333333	-0.288946270	-0.077720396	0.0003796	Diferente ( $\mu_{221} \neq \mu_{211}$ )
1:1:2-2:1:1	0.02333333	-0.082279604	0.128946270	0.9928093	Igual ( $\mu_{112} = \mu_{211}$ )
2:1:2-2:1:1	-0.09000000	-0.195612937	0.015612937	0.1261334	Igual ( $\mu_{212} = \mu_{211}$ )
1:2:2-2:1:1	-0.16333333	-0.268946270	-0.057720396	0.0012958	Diferente ( $\mu_{122} \neq \mu_{211}$ )
2:2:2-2:1:1	-0.03000000	-0.135612937	0.075612937	0.9705149	Igual ( $\mu_{222} = \mu_{211}$ )
2:2:1-1:2:1	-0.01000000	-0.115612937	0.095612937	0.9999695	Igual ( $\mu_{221} = \mu_{121}$ )
1:1:2-1:2:1	0.19666667	0.091053730	0.302279604	0.0001718	Diferente ( $\mu_{112} \neq \mu_{121}$ )
2:1:2-1:2:1	0.08333333	-0.022279604	0.188946270	0.1821891	Igual ( $\mu_{212} = \mu_{121}$ )
1:2:2-1:2:1	0.01000000	-0.095612937	0.115612937	0.9999695	Igual ( $\mu_{122} = \mu_{121}$ )
2:2:2-1:2:1	0.14333333	0.037720396	0.248946270	0.0045851	Diferente ( $\mu_{222} \neq \mu_{121}$ )
1:1:2-2:2:1	0.20666667	0.101053730	0.312279604	0.0000962	Diferente ( $\mu_{112} \neq \mu_{221}$ )
2:1:2-2:2:1	0.09333333	-0.012279604	0.198946270	0.1042050	Igual ( $\mu_{212} = \mu_{221}$ )
1:2:2-2:2:1	0.02000000	-0.085612937	0.125612937	0.9971655	Igual ( $\mu_{122} = \mu_{221}$ )
2:2:2-2:2:1	0.15333333	0.047720396	0.258946270	0.0024292	Diferente ( $\mu_{222} \neq \mu_{221}$ )
2:1:2-1:1:2	-0.11333333	-0.218946270	-0.007720396	0.0309616	Diferente ( $\mu_{212} \neq \mu_{112}$ )
1:2:2-1:1:2	-0.18666667	-0.292279604	-0.081053730	0.0003107	Diferente ( $\mu_{122} \neq \mu_{112}$ )
2:2:2-1:1:2	-0.05333333	-0.158946270	0.052279604	0.6592891	Igual ( $\mu_{222} = \mu_{112}$ )

1:2:2-2:1:2	-0.07333333	-0.178946270	0.032279604	0.3023369	Igual ( $\mu_{122} = \mu_{212}$ )
2:2:2-2:1:2	0.06000000	-0.045612937	0.165612937	0.5299583	Igual ( $\mu_{222} = \mu_{212}$ )
2:2:2-1:2:2	0.13333333	0.027720396	0.238946270	0.0086872	Diferencia ( $\mu_{222} \neq \mu_{122}$ )

### 95% family-wise confidence level



Como el número de comparación de medias es relativamente grande la potencia de la prueba se reduce y por lo tanto los grupos obtenidos se solapan entre ellos. Vemos que si existe una diferencia de medias ya que varios intervalos confianza al 95% no contiene al cero o están muy próximos a ellos. De las comparaciones anteriores tenemos que

$$\mu_{111} = \mu_{121} = \mu_{122} = \mu_{212} = \mu_{221}$$

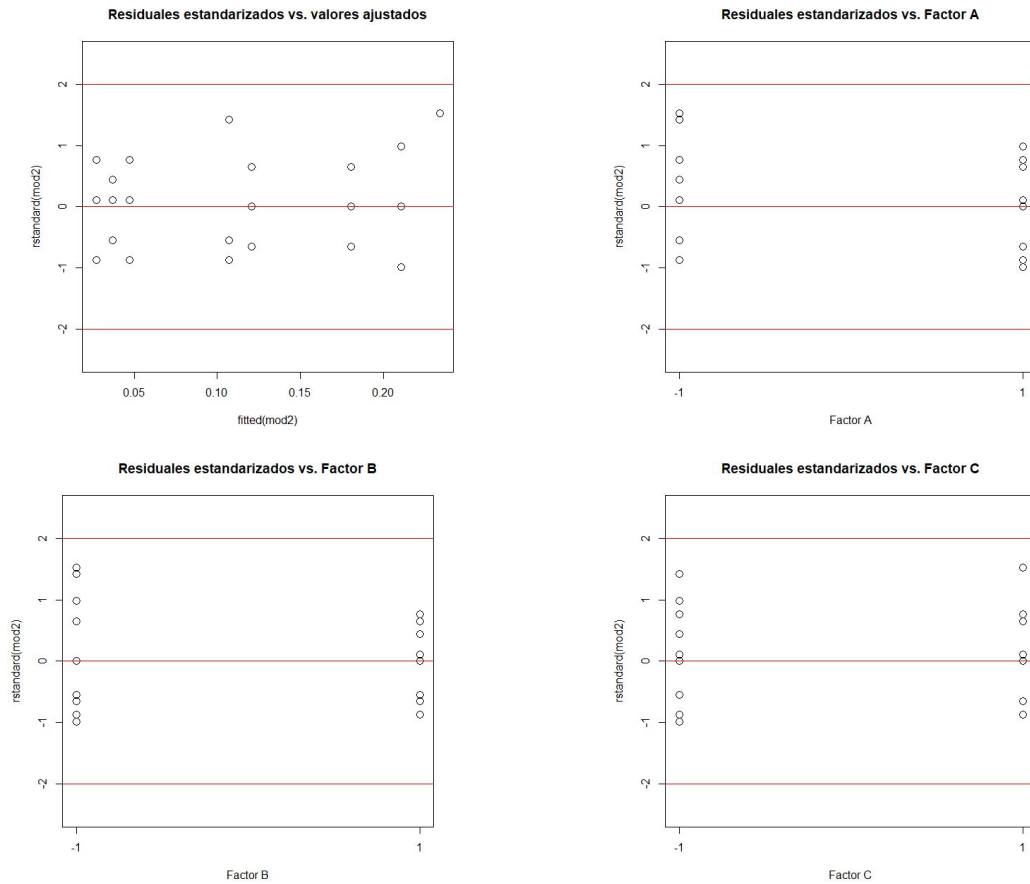
$$\mu_{111} = \mu_{211} = \mu_{212} = \mu_{222}$$

$$\mu_{112} = \mu_{211} = \mu_{222}$$

### Validación de supuestos

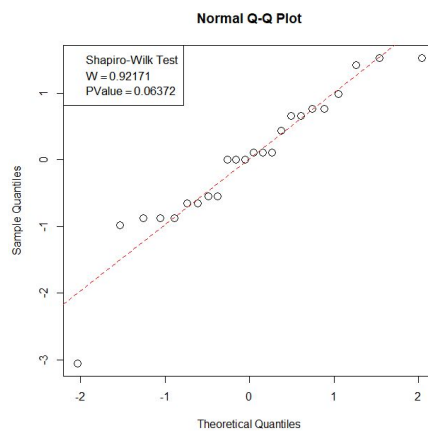
**Hipótesis**  $H_0 : var(\epsilon_{ijk}) = \sigma^2 \forall ijk$  vs  $H_1 : al menos var(\epsilon_{ijk}) \neq \sigma^2$

**Residuales:** A continuación se analizan los gráficos de los residuales estandarizados vs los valores ajustados, residuales estandarizados vs factor principal A, B y C, adicionalmente se muestra el gráfico de probabilidad normal.



**Figura 8.10: Gráficos de residuales estandarizados vs valores ajustados y factores principales y**

**Gráficos residuales estandarizado sin valores atípicos Hipótesis normalidad de los errores**



**Figura 8.11: Gráfico de probabilidad normal**

## Conclusiones

- ## 9. Referencias

- [1] Emmanuel Viot, & Alexandre Ponomarenko. (06 de marzo 2015). Popcorn: Critical temperature, jump and sound. Recuperado de <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rsif.2014.1247>
- [2] R.C. Hosney, K. Zeleznak, & A. Abdelrahman. (s.f). Mechanism of popcorn popping. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0733521083800071>
- [3] Mark J. Anderson, & Hank P. Anderson. (s.f). Applying DOE to Microwave Popcorn. Recuperado de <https://cdnm.statease.com/pubs/popcorn.pdf>
- [4] Laiq Muhammad Khan, & Ejaz Ahmed. (s.f). Factors affecting yield and taste of popcorn: a planned approach. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/339069703\\_FACTORS\\_AFFECTING\\_YIELD\\_AND\\_TASTE\\_OF\\_POPCORN\\_A\\_PLANNED\\_APPROACH?enrichId=rgreq-848bb0379c6773dbadc3616426b87663-XXX&enrichSource=Y292ZXJOYWdlOzMzOTA2OTcwMztBUzo4NTU1NDZmZDQ4NzA1MzJAMTU4MDk4ODExOTkyNA%3D%3D&el=1\\_x\\_3&esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/publication/339069703_FACTORS_AFFECTING_YIELD_AND_TASTE_OF_POPCORN_A_PLANNED_APPROACH?enrichId=rgreq-848bb0379c6773dbadc3616426b87663-XXX&enrichSource=Y292ZXJOYWdlOzMzOTA2OTcwMztBUzo4NTU1NDZmZDQ4NzA1MzJAMTU4MDk4ODExOTkyNA%3D%3D&el=1_x_3&esc=publicationCoverPdf)
- [5] Gokmen, S. (2004). Effects of moisture content and popping method on popping characteristics of popcorn. Recuperado de <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US201300940748>.
- [6] E. Karababa. (21 de enero 2005). Physical properties of popcorn kernels. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/223922586\\_Physical\\_properties\\_of\\_popcorn\\_kernels](https://www.researchgate.net/publication/223922586_Physical_properties_of_popcorn_kernels).
- [7] Ciencia BBC Mundo (13 de febrero 2015).Resuelven el misterio de por qué explotan las palomitas de maíz.BBC news Mundo. Recuperado de: [https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/02/150212\\_palomitas\\_maiz\\_explosion\\_lp#orb-banner](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/02/150212_palomitas_maiz_explosion_lp#orb-banner)
- [8] Brewer, W. H. auid Wilbert, M. I. 1904 U. S. Dept. Agri., Farmers Bui, 202 pp. 17-19.
- [9] Lina M. Salgar. Colombia. (19 de enero de 2005). El cultivo de Maíz en Colombia. Recuperado de <http://www.semillas.org.co/es/el-cultivo-de-maz-en-colombia>
- [10] Wikipedia. (13 julio 2015). Palomitas de maíz. Recuperado de [https://es.wikipedia.org/wiki/Palomitas\\_de\\_ma%C3%ADz](https://es.wikipedia.org/wiki/Palomitas_de_ma%C3%ADz)
- [11] E. Shimoni, E. M. Dirks, & T. P. Labuza. (Febrero 2002). The Relation Between Final Popped Volume of Popcorn and Thermal–Physical Parameters. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0023643801908230>
- [12] Nelfy G. Gonzalez Alvarez. (s.f). Notas de clase DOE. Recuperado de [https://unvirtual.medellin.unal.edu.co/pluginfile.php/110625/mod\\_resource/content/5/Experimentos%20factoriales%202k%203007340.pdf](https://unvirtual.medellin.unal.edu.co/pluginfile.php/110625/mod_resource/content/5/Experimentos%20factoriales%202k%203007340.pdf)
- [13] Nelfy G. Gonzalez Alvarez. (s.f). Notas de clase DOE parte IV (capítulo 9) Diseños factoriales 2^k. Recuperado de [https://unvirtual.medellin.unal.edu.co/pluginfile.php/110625/mod\\_resource/content/5/Experimentos%20factoriales%202k%203007340.pdf](https://unvirtual.medellin.unal.edu.co/pluginfile.php/110625/mod_resource/content/5/Experimentos%20factoriales%202k%203007340.pdf)
- [14] CrossRef
- [15] Premier®: 25 años deleitando sanamente Los pioneros Un vistazo al mercado [http://www.macrovisionmedia.com/superbrandscolombia/pdf\\_casos/premier.pdf](http://www.macrovisionmedia.com/superbrandscolombia/pdf_casos/premier.pdf)

[16] Sumum. Gourmet. ( 19 julio 2018) El Ghee, los secretos del alimento de moda

[https://www.abc.es/summum/gastronomia-gourmet/abci-ghee-mantequilla-india-sana-y-ligera-abusaras-201807061355\\_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://www.abc.es/summum/gastronomia-gourmet/abci-ghee-mantequilla-india-sana-y-ligera-abusaras-201807061355_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F)

## 11. Código R

```
rm(list=ls(all=TRUE))
```

```
library(gmodels)
```

```
library(daewr)
```

```
library(agricolae)
```

```
library(lsmmeans)
```

```
library(daewr)
```

```
library(rsm)
```

```
library(pid)
```

```
library(FrF2)
```

```
#-----#
```

```
#Plan de aleatorización#
```

```
#-----#
```

```
ni=3 #Replicas por cada tratamiento
```

```
num_trat <- 8 #Número de tratamientos
```

```
#Repetir cada tratamiento 3 veces
```

```
tratamientos = factor(rep(c('l','a','b','c','ab','ac','bc','abc'), each=ni))
```

```
tratamientos
```

```
N = ni*num_trat #Total de unidades experimentas
```

```
#Sembrando una semilla
```

```
set.seed(12356)
```

```
fac = sample(tratamientos, N) #Selección de los tratamientos aleatoriamente(m.a.s)
```

```
UE = 1:N #Enumerar las unidades experimentales
```

```
corrida = data.frame('Unidad'=UE, 'Tratamientos'=fac)
```



corrida

#-----#

# Resultados #

#-----#

data\_exp = data.frame(scan(what=list(A=0,B=0,C=0, Y=0)))

-1 -1 -1 0.0905

1 -1 -1 0.7805

-1 1 -1 0.0505

1 1 -1 0.0305

-1 -1 1 0.2805

1 -1 1 0.1005

-1 1 1 0.0705

1 1 1 0.1605

-1 -1 -1 0.1505

1 -1 -1 0.2405

-1 1 -1 0.0205

1 1 -1 0.0005

-1 -1 1 0.1405

1 -1 1 0.5505

-1 1 1 0.0505

1 1 1 0.1805

-1 -1 -1 0.0805

1 -1 -1 0.1805

-1 1 -1 0.0405

1 1 -1 0.0505

-1 -1 1 0.2805

1 -1 1 0.1405

-1 1 1 0.0205

1 1 1 0.2005

data\_exp

attach(data\_exp)

```
#-----#
```

```
# Grafico de interacciones#
```

```
#-----#
```

```
win.graph()
```

```
interaction.plot(A[C==1],B[C==1],Y[C==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),  
               lwd=4,cex=0.7,cex.lab=0.7,legend=F)
```

```
legend("bottomright",legend=c("B[C==1]=-1","B[C==1]=+1"),col=1:2,pch=1:2,lwd=2,  
      lty=c(2,1),bty="n",cex=0.7)
```

```
win.graph()
```

```
interaction.plot(A[C==1],B[C==1],Y[C==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),  
               lwd=4,cex=0.7,cex.lab=0.7,legend=F)
```

```
legend("topleft",legend=c("B[C==1]=-1","B[C==1]=+1"),col=1:2,pch=1:2,lwd=2,  
      lty=c(2,1),bty="n",cex=0.7)
```

```
interaction.plot(A[B==1],C[B==1],Y[B==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),  
               lwd=4,cex=0.7,cex.lab=0.7,legend=F)
```

```
legend("topleft",legend=c("C[B==1]=-1","C[B==1]=+1"),col=1:2,pch=1:2,lwd=2,  
      lty=c(2,1),bty="n",cex=0.7)
```

```
interaction.plot(A[B==1],C[B==1],Y[B==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),  
               lwd=4,cex=0.7,cex.lab=0.7,legend=F)
```

```
legend("topleft",legend=c("C[B==1]=-1","C[B==1]=+1"),col=1:2,pch=1:2,lwd=2,  
      lty=c(2,1),bty="n",cex=0.7)
```

```
interaction.plot(B[A==1],C[A==1],Y[A==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),  
               lwd=4,cex=0.7,cex.lab=0.7,legend=F)
```

```
legend("topright",legend=c("C[A==1]=-1","C[A==1]=+1"),col=1:2,pch=1:2,lwd=2,  
      lty=c(2,1),bty="n",cex=0.7)
```

```
interaction.plot(B[A==1],C[A==1],Y[A==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),  
               lwd=4,cex=0.7,cex.lab=0.7,legend=F)
```

```
legend("topright",legend=c("C[A==1]=-1","C[A==1]=+1"),col=1:2,pch=1:2,lwd=2,
```

```
lty=c(2,1),bty="n",cex=0.7)
```

```
# Interacciones dobles
```

```
#GRÁFICOS DE INTERACCIONES DOBLES
```

```
win.graph()
```

```
interaction.plot(A,B,Y,type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),
```

```
lwd=4,cex=2,cex.lab=1.5,legend=F)
```

```
legend("topleft",legend=c("B=-1","B=+1"),col=1:2,pch=1:2,
```

```
lwd=2,lty=c(2,1),bty="n",cex=2)
```

```
win.graph()
```

```
interaction.plot(A,C,Y,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)
```

```
win.graph()
```

```
interaction.plot(B,C,Y,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)
```

```
#Gráficos a nivel marginal
```

```
mediaA = sapply(split(Y, A), mean)
```

```
mediaB = sapply(split(Y, B), mean)
```

```
mediaC = sapply(split(Y, C), mean)
```

```
win.graph()
```

```
boxplot(Y~A,boxwex=0.4,xlab="A",ylab="Y")
```

```
lines(1:2, mediaA, col=2, lty=2, type = 'b', pch=19)
```

```
win.graph()
```

```
boxplot(Y~B,boxwex=0.4,xlab="B",ylab="Y")
```

```
lines(1:2, mediaB, col=2, lty=2, type = 'b', pch=19)
```

```
win.graph()
```

```
boxplot(Y~C,boxwex=0.4,xlab="C",ylab="Y")
```

```
lines(1:2, mediaC, col=2, lty=2, type = 'b', pch=19)
```

```
#-----#
```

```
# Modelo de regresión y ANOVA #
```

```
#-----#
```

```
mod1 <- lm(Y~A*B*C)
```

```
summary(mod1)
```

```
anova(mod1)
```

```
win.graph()
```

```
paretoPlot(mod1,negative=c("Negativo","orange"),
```

```
    positive=c("Positivo","blue"))
```

```
win.graph()
```

```
halfnormal(mod1,alpha=0.1,linelwd=2,linecol=2, pch.set = c(19, 16, 8))
```

```
#-----#
```

```
# Residuales #
```

```
#-----#
```

```
layout(rbind(c(1,1,2,2),c(3,3,4,4)))
```

```
win.graph()
```

```
plot(fitted(mod1),rstandard(mod1),ylim=c(-2.5,2.5),cex=1.5,
```

```
    main="Residuales estandarizados vs. valores ajustados")
```

```
abline(h=c(-2,0,2),col=2)
```

```
win.graph()
```

```
stripchart(rstandard(mod1)~A,vertical=TRUE,ylim=c(-2.5,2.5),pch=1,cex=1.5,
```

```
    xlab="Factor A",
```

```
    main="Residuales estandarizados vs. Factor A")
```

```
abline(h=c(-2,0,2),col=2)
```

```
win.graph()
```

```
stripchart(rstandard(mod1)~B,vertical=TRUE,ylim=c(-2.5,2.5),pch=1,
```

```

      cex=1.5,xlab="Factor B",

      main="Residuales estandarizados vs. Factor B")

abline(h=c(-2,0,2),col=2)

win.graph()

stripchart(rstandard(mod1)~C,vertical=TRUE,ylim=c(-2.5,2.5),pch=1,

      cex=1.5,xlab="Factor C",

      main="Residuales estandarizados vs. Factor C")

abline(h=c(-2,0,2),col=2)

shapiro.test(rstandard(mod1))

qqnorm(rstandard(mod1),cex=1.5)

qqline(rstandard(mod1),col=2,lty=2)

legend("topleft",

      legend=c("Shapiro-Wilk Test",

      expression(W==0.82285),expression(PValue== 0.0007132)),cex=1.1)

detach(data_exp)

a1 = (0.2405+0.1805)/2

a1

ac2 = (0.1005+0.1405)/2

ac2

data_exp1 = data.frame(scan(what=list(A=0,B=0,C=0, Y=0)))

-1 -1 -1 0.0905

1 -1 -1 0.2105

-1 1 -1 0.0505

1 1 -1 0.0305

-1 -1 1 0.2805

1 -1 1 0.1005

-1 1 1 0.0705

1 1 1 0.1605

```

-1 -1 -1 0.1505

1 -1 -1 0.2405

-1 1 -1 0.0205

1 1 -1 0.0005

-1 -1 1 0.1405

1 -1 1 0.1205

-1 1 1 0.0505

1 1 1 0.1805

-1 -1 -1 0.0805

1 -1 -1 0.1805

-1 1 -1 0.0405

1 1 -1 0.0505

-1 -1 1 0.2805

1 -1 1 0.1405

-1 1 1 0.0205

1 1 1 0.2005

data\_exp1

attach(data\_exp1)

#-----#

# Grafico de interacciones#

#-----#

win.graph()

interaction.plot(A[C==1],B[C==1],Y[C==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),

lwd=4,cex=0.7,cex.lab=0.8,legend=F)

legend("bottomright",legend=c("B[C==1]=-1","B[C==1]=+1"),col=1:2,pch=1:2,lwd=2,

lty=c(2,1),bty="n",cex=0.7)

win.graph()

interaction.plot(A[C==1],B[C==1],Y[C==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),

lwd=4,cex=0.7,cex.lab=0.8,legend=F)

```

legend("topleft",legend=c("B[C==1]=-1","B[C==1]=+1"),col=1:2,pch=1:2,lwd=2,

      lty=c(2,1),bty="n",cex=0.7)

win.graph()

interaction.plot(A[B==1],C[B==1],Y[B==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),

               lwd=4,cex=0.7,cex.lab=0.8,legend=F)

legend("topleft",legend=c("C[B==1]=-1","C[B==1]=+1"),col=1:2,pch=1:2,lwd=2,

      lty=c(2,1),bty="n",cex=0.7)

win.graph()

interaction.plot(A[B==1],C[B==1],Y[B==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),

               lwd=4,cex=0.7,cex.lab=0.8,legend=F)

legend("topleft",legend=c("C[B==1]=-1","C[B==1]=+1"),col=1:2,pch=1:2,lwd=2,

      lty=c(2,1),bty="n",cex=0.7)

win.graph()

interaction.plot(B[A==1],C[A==1],Y[A==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),

               lwd=4,cex=0.7,cex.lab=0.8,legend=F)

legend("topright",legend=c("C[A==1]=-1","C[A==1]=+1"),col=1:2,pch=1:2,lwd=2,

      lty=c(2,1),bty="n",cex=0.7)

win.graph()

interaction.plot(B[A==1],C[A==1],Y[A==1],type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),

               lwd=4,cex=0.7,cex.lab=0.7,legend=F)

legend("topright",legend=c("C[A==1]=-1","C[A==1]=+1"),col=1:2,pch=1:2,lwd=2,

      lty=c(2,1),bty="n",cex=0.7)

```

#Gráficos de interacciones dobles

```

win.graph()

interaction.plot(A,B,Y,type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),

               lwd=4,cex=2,cex.lab=1.5,legend=F)

legend("topleft",legend=c("B=-1","B=+1"),col=1:2,pch=1:2,

      lwd=2,lty=c(2,1),bty="n",cex=2)

win.graph()

interaction.plot(A,C,Y,type="b",pch=c(1,2),col=c("black","red"),

               lwd=4,cex=2,cex.lab=1.5,legend=F)

legend("bottomright",legend=c("C=-1","C=+1"),col=1:2,pch=1:2,

      lwd=2,lty=c(2,1),bty="n",cex=2)

```



```

win.graph()

interaction.plot(B,C,Y,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)

```

#Gráficos a nivel marginal

```
mediaA = sapply(split(Y, A), mean)
```

```
mediaB = sapply(split(Y, B), mean)
```

```
mediaC = sapply(split(Y, C), mean)
```

```

win.graph()

boxplot(Y~A,boxwex=0.4,xlab="A",ylab="Y")

lines(1:2, mediaA, col=2, lty=2, type = 'b', pch=19)

win.graph()

boxplot(Y~B,boxwex=0.4,xlab="B",ylab="Y")

lines(1:2, mediaB, col=2, lty=2, type = 'b', pch=19)

win.graph()

boxplot(Y~C,boxwex=0.4,xlab="C",ylab="Y")

lines(1:2, mediaC, col=2, lty=2, type = 'b', pch=19)

```

```
mod2 <- lm(Y~A*B*C)
```

```
summary(mod2)
```

```
anova(mod2)
```

# Grafico de pareto y Holfen

```

win.graph()

paretoPlot(mod2,negative=c("Negativo","orange"),

           positive=c("Positivo","blue"))

win.graph()

halfnormal(mod2,alpha=0.1,lwd=2,col=2, pch.set = c(19, 16, 8))

```

```
# Modelo ANOVA con interacciones por pares
```

```
A<-ifelse(A==1, '1', '2')
```

```
B<-ifelse(B==1, '1', '2')
```

```
C<-ifelse(C==1, '1', '2')
```

```
mod3 <- aov(Y~A*B*C)
```

```
anova(mod3)
```

```
# Estimación de las medias de tratamientos y IC respectivos 95%
```

```
summary(lsmmeans(mod3, ~A*B*C))
```

```
TukeyHSD(mod3, "A:B:C", conf.level = 0.95)
```

```
win.graph()
```

```
plot(TukeyHSD(mod3, "A:B:C", conf.level = 0.95), las=2, cex.axis=0.7)
```

```
#-----#
```

```
# Residuales #
```

```
#-----#
```

```
win.graph()
```

```
plot(fitted(mod2),rstandard(mod2),ylim=c(-2.5,2.5),cex=1.5,
```

```
      main="Residuales estandarizados vs. valores ajustados")
```

```
abline(h=c(-2,0,2),col=2)
```

```
win.graph()
```

```
stripchart(rstandard(mod2)~A,vertical=TRUE,ylim=c(-2.5,2.5),pch=1,cex=1.5,
```

```
        xlab="Factor A",
```

```
        main="Residuales estandarizados vs. Factor A")
```

```
abline(h=c(-2,0,2),col=2)
```

```
win.graph()
```

```
stripchart(rstandard(mod2)~B,vertical=TRUE,ylim=c(-2.5,2.5),pch=1,

          cex=1.5,xlab="Factor B",

          main="Residuales estandarizados vs. Factor B")

abline(h=c(-2,0,2),col=2)


win.graph()

stripchart(rstandard(mod2)~C,vertical=TRUE,ylim=c(-2.5,2.5),pch=1,

          cex=1.5,xlab="Factor C",

          main="Residuales estandarizados vs. Factor C")

abline(h=c(-2,0,2),col=2)


shapiro.test(rstandard(mod2))

win.graph()

qqnorm(rstandard(mod2),cex=1.5)

qqline(rstandard(mod2),col=2,lty=2)

legend("topleft",

       legend=c("Shapiro-Wilk Test",

               expression(W==0.92171),expression(PValue== 0.06372)),cex=1.1)
```