



Universidad
Nacional de
Ingeniería

Área del Conocimiento de Agricultura

MODELACIÓN DE PRODUCTOS A ESCALA DE LABORATORIO, A PARTIR DE HARINA DE YUCA DE LAS VARIEDADES FORTIFICADAS: INTA PERLA E INTA DORADA, PARA PRODUCTOS ALIMENTICIOS DE CONSUMO HUMANO

Trabajo Monográfico para optar al título de
Ingeniero Químico

Elaborado por:

Br. Valeria Guadalupe Canjura
Rodríguez.
2015- 0728 U

Tutor:

MSc. Leonardo Antonio
Chavarría Carrión

18 de marzo de 2025
Managua, Nicaragua

Managua, 04 de diciembre del 2024

MSc. Ing. Miguel Antonio Fonseca Chávez
Director de área de conocimiento de Agricultura
Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)

Su Despacho

Estimado Ingeniero:

Ante todo, reciba mis saludos, deseándole éxito en sus funciones.

Por este medio hago contar que la Br. Valeria Guadalupe Canjura Rodríguez ha culminado con lo correspondiente a su monografía titulada ***“Modelación de productos a escala de laboratorio, a partir de harina de yuca de las variedades fortificadas: INTA perla e INTA dorada, para productos alimenticios de consumo humano”***, que estuvo bajo mi tutoría, esta carta está acompañada de 3 ejemplares del trabajo realizado, para su debida asignación de jurados y programación de defensa del trabajo realizado.

Agradeciéndole su atención a la presente y esperando una pronta respuesta a esta solicitud, me despido, deseándole éxito en sus funciones.

Atentamente,

MSc. Leonardo Chavarría Carrión
Profesor titular.

TABLA DE CONTENIDO

Contenido	Página
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN	viii
OPINIÓN DEL CATEDRÁTICO	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVO GENERAL	2
2.1) Objetivos específicos	2
III. MARCO TEÓRICO	3
3.1) Yuca (Manihot esculenta)	3
3.1.1) Características generales de la yuca	4
3.1.2) Producción de yuca a nivel mundial	4
3.1.3) Cultivo de yuca en Nicaragua	5
3.1.4) Variedades INTA perla e INTA dorada	5
3.1.5) Características del cultivo de yuca	7
3.1.6) Enfermedades del cultivo de yuca	7
3.1.7) Propiedades de la yuca y valores nutricionales	8
3.1.8) Importancia de la yuca	10
3.1.9) Harina de yuca	10
3.1.10) Producción de harina de yuca	11
3.1.11) Aplicaciones de la harina de yuca	12
3.2) Trigo	13
3.2.1) Harina de trigo	14
3.3) Pan	15
3.3.1) Características organolépticas del pan	15
3.3.2) Componentes del pan y proceso de producción de pan	15
3.4) Galletas	19
IV. METODOLOGÍA	21
4.1) Generalidades	21
4.2) Localización del estudio	21
4.3) Materiales	22
4.4) Equipos	24

4.5) Métodos	25
4.5.1) Caracterización de las variedades INTA- Perla e INTA- dorada.....	25
4.5.2) Proceso de producción de la harina de yuca	29
4.5.3) Panificación.....	32
4.5.4) Elaboración del pan.....	32
4.6) Diseño experimental	34
4.6.1) <i>Diseño factorial de 2^k</i>	34
4.6.2) <i>Diseño factorial de 2³</i>	34
4.6.3) <i>Diseño factorial para esta investigación</i>	35
4.6.4) <i>Modelo matemático e Hipótesis</i>	37
4.6.5) <i>Aplicación de encuestas para medir el nivel de aceptabilidad del pan compuesto de harina de trigo y yuca</i>	38
V. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS	40
5.1) Análisis de caracterización de materia prima	40
5.2) Diseño de experimento para la obtención de harina	43
5.2.1) Matriz de resultados	43
5.2.2) Análisis de Varianza ANOVA.....	44
5.2.3) Comprobación de las hipótesis	45
5.2.4) Análisis del diagrama de Pareto	46
5.2.5) Efectos principales de los factores	47
5.2.6) Interacción para los gramos de harina obtenidos (medias ajustadas)	48
5.2.7) Análisis de grafica de cubo de medias ajustadas	49
5.2.8) Dispersión de datos.....	50
5.2.9) Residuos vs Factores A, B y C	51
5.2.10) Prueba Ryan – Jonier para la normalidad de los residuos.....	52
5.2.11) Caracterización de la harina de yuca.	52
5.3) Elaboración de pan y galletas con sustituciones de harina de yuca.....	53
5.4) Resultados de los niveles de aceptabilidad organoléptica	58
VI. CONCLUSIONES	70
VII. RECOMENDACIONES	72
VIII. BIBLIOGRAFÍA	74
IX. ANEXOS	76
9.1) ANEXO A	76

9.2)	ANEXO B	- 78 -
9.3)	ANEXO C	- 83 -
9.4)	ANEXO D	- 86 -
9.5)	ANEXO E.....	- 96 -

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Corte transversal de la raíz de yuca	3
Figura 2.	Diagrama de Pareto	46
Figura 3.	Gráfica de efectos principales de los factores A, B y C.....	47
Figura 4.	Grafica de efectos principales de los factores A, B y C.....	48
Figura 5.	Grafica de cubo de medias ajustadas.....	49
Figura 6.	Gráfica de residuos versus orden.....	50
Figura 7.	Gráficas de residuos versus factores A, B y C.....	51
Figura 8.	Gráfica de normalidad de los residuos	52
Figura 9.	Cortado y boleado de muestras.....	56
Figura 10.	Muestras en reposo.....	56
Figura 11.	Muestras salidas del horno enfriándose a temperatura ambiente.....	57
Figura 12.	las muestras de pan cortadas para apreciar la miga	57
Figura 13.	Edades de los participantes.....	58
Figura 14.	Nivel de aceptación de color por muestras de pan	59
Figura 15.	Nivel de aceptación de color por muestras de galleta.....	59
Figura 16.	Nivel de aceptación de olor por muestras de pan	60
Figura 17.	Nivel de aceptación de olor por muestra de galleta	61
Figura 18.	Nivel de aceptabilidad de sabor por muestra de pan	62
Figura 19.	Nivel de aceptabilidad de sabor por muestra de galleta.....	62
Figura 20.	Dificultad para deglutir las muestras de pan	63
Figura 21.	Dificultad para deglutir las muestras de galleta.....	64
Figura 22.	Calificación de las muestras de pan	65
Figura 23.	Calificación de las muestras de galleta.....	65
Figura 24.	Muestras más y menos gustada de pan	66
Figura 25.	Muestras más y menos gustada de galletas.....	67
Figura 26.	Sugerencias para las muestras de pan	68
Figura 27.	Sugerencias para las muestras de galletas	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Características Agronómicas de la variedad INTA perla e INTA dorada.	6
Tabla 2.	Resistencia y tolerancia intermedia de variedades INTA perla e INTA dorada	8
Tabla 3.	Contenido de materia seca, carbohidratos y proteínas de algunos tubérculos	9
Tabla 4.	Valor nutricional de la yuca, composición nutritiva media por 100 g de base seca:.....	9
Tabla 5.	Alimentos en los cuales puede ser utilizada la harina de yuca en su elaboración	12

Tabla 6. Composición química de la harina de trigo.....	14
Tabla 7. Tabla de materiales y reactivos para la caracterización fisicoquímica.....	22
Tabla 8. Tabla de materiales para la caracterización fisicoquímica.....	22
Tabla 9. Utensilios y materia prima para productos de panadería.....	23
Tabla 10. Insumos para muestras de productos de panadería	23
Tabla 11. Tabla de equipos usados con sus especificaciones	24
Tabla 12. Formula básica de pan de harina de trigo- yuca:.....	32
Tabla 13. Tabla del diseño de experimentos para 2^3 , con notación de yates y signos	34
Tabla 14. Factor A	35
Tabla 15. Factor B	35
Tabla 16. Factor C	36
Tabla 17. Definición de unidad experimental con los niveles por cada tratamiento	37
Tabla 18. Tabla de caracterización de análisis de humedad, ceniza, pH, grasa, fibra y carbohidratos para la variedad INTA- Perla:	40
Tabla 19. Tabla de caracterización de análisis de humedad, ceniza, pH, grasa, fibra y carbohidratos para la variedad INTA- Dorada:	40
Tabla 20. Tabla de consolidado de los promedios de análisis de variedades INTA-Dorada e INTA-Perla:	41
Tabla 21. Matriz de resultados.....	43
Tabla 22. Análisis de Varianza ANOVA.	44
Tabla 23. Modelo de regresión basado en la tabla ANOVA en unidades no codificadas	44
Tabla 24. Coeficiente de terminación para la ecuación de regresión	45
Tabla 25. Tabla de consolidado de los promedios de análisis de harinas variedades INTA-Dorada e INTA-Perla:.....	53
Tabla 26. Componentes de las muestras de pan:	54
Tabla 27. Componentes de las muestras de galletas.....	54
Tabla 28. Sustituciones de las muestras de pan y galleta.....	55
Tabla 29. Cantidad de mililitros incorporados en la mezcla de pan.....	55

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer primeramente a Nuestro Padre Celestial por todas las oportunidades que me ha dado y por permitirme llegar a este punto de mi vida, A Mesoamérica sin Hambre AMEXCID-FAO por este proyecto, al Msc. Leonardo Chavarría por permitirme trabajar en este proyecto en colaboración con la FAO y el INTA, por sus consejos, tiempo y paciencia dedicada a esta investigación, al Ing. Onell Morales y Br. Pedro Leiva, por el tiempo en los laboratorios y el esfuerzo incansable que se dedicó a que esto fuera posible.

A mis amados y amorosos padres: la Msc. Lic. Nancy Rodríguez por ayudarme a catalizar las ideas de esta investigación y Msc. Lic. Armando García por su paciencia y tiempo, y a mis abuelos Milagros Rosales y Edgardo Rodríguez que nunca se rindieron conmigo y nunca perdieron la fe en lo que podía lograr, a mis hermanos Elizabeth Canjura y David García por hacerme reír siempre no importa la situación.

DEDICATORIA

A mi abuelo Manuel Edgardo Rodríguez Engelhard, esto fue posible porque siempre creíste que iba a ser posible incluso si no pudiste llegar a verlo, un abrazo hasta el cielo.
A mi amada madre y padre, y a todos los que tuvieron fe de que este proyecto era posible.

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo la producción a escala de laboratorio de harina de yuca a partir de dos variedades cultivadas a nivel nacional: INTA Perla e INTA Dorada. Se llevó a cabo una caracterización de las materias primas mediante los métodos de la AOAC (Asociación Oficial de Químicos Agrícolas) y el extractor Soxhlet, obteniendo los siguientes resultados para cada variedad: la variedad INTA Perla presentó un porcentaje de ceniza del 0.67%, contenido de humedad del 65.09%, un pH de 6.5, un porcentaje de grasa cruda del 0.04% y un contenido de fibra y carbohidratos (determinado por métodos indirectos) de 33.15%. Por su parte, la variedad INTA Dorada mostró un porcentaje de ceniza del 0.67%, contenido de humedad del 60.53%, un pH de 6.5, un porcentaje de grasa cruda del 0.07% y un contenido de fibra y carbohidratos de 37.90%. Estos datos reflejan las características de cada variedad en el proceso de producción de harina.

Se realizó un arreglo experimental de 2^k , donde k tendrá el valor de 3 según el diseño propuesto por Fisher a inicios del siglo XX, con las correcciones de Montgomery en el 2004 y Gutiérrez Pulido en el 2008, en este arreglo se midieron tres factores ($k = 3$) que sirvieron como variantes en el diseño siendo estas: temperaturas de secado, tiempo de secado y las dos variedades mencionadas, y obteniendo como variables respuesta: gramos de harina obtenida, humedad y rendimiento de producción, obteniendo los siguientes binomios de temperatura-tiempo de secado para las variedades para la variedad INTA. Perla a 63 °C con 12 horas y para la variedad INTA- Dorada 70 °C por 14 horas. Los datos se analizaron a partir de 3 réplicas, abarcando un total de 24 experimentos.

La harina de yuca variedad INTA dorada contiene un porcentaje de ceniza de 1.11%, presentando también una humedad del 5.66%, siendo estos valores aceptables dentro del rango regulado por el Codex Alimentarius para este producto (CODEX STAN 176-1989). Un pH es de 6.08, un contenido de grasa del 0.13%, y un porcentaje de fibra y carbohidratos que asciende al 93.10%. Por otro lado, la harina de yuca variedad INTA perla presento un contenido de ceniza de 0.68%, un contenido de humedad de 4.99%.

El pH de esta harina se encuentra en 6.37. Con un contenido de grasa ligeramente superior de un 0.25%, un porcentaje de fibra y carbohidratos de 92.67%. Ambas harinas de yuca poseían un diámetro de partícula menor a 0.417 mm.

Se obtuvieron 2 subproductos del proceso siendo este almidón modificado de yuca y un subproducto llamado Bora el cual es yuca deshidratada de un diámetro de partículas mayor a 0.417 mm.

Se elaboraron productos de panadería utilizando la harina de yuca producida, y se evaluaron sus niveles de aceptabilidad al mezclar harina de trigo con harina de yuca en las siguientes proporciones: 10%, 20% y 30% (de harina de yuca). Los resultados mostraron que el pan de mesa con una sustitución del 30% de harina de yuca fue el más aceptado, al igual que las galletas, cuya mezcla también contenía un 30% de harina de yuca.

OPINIÓN DEL CATEDRÁTICO

Nicaragua un país con altos índices de producción agrícola y con una amplia diversidad en lo que respecta a variedades, en ese contexto el Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA) ha desarrollado diversas investigaciones para el mejoramiento productivo en rubros como son frijol, maíz y yuca, esta última se han desarrollado producción debidamente fortificada.

Lo anterior enmarcado en el plan nacional de lucha contra la pobreza y para el desarrollo humano cumpliendo con el lineamiento de más y mejor producción en el campo, desarrollando la agroindustria y el consumo saludable; donde se invierten recursos para la investigación en tecnologías agropecuaria, que incremente la productividad especialmente mediante la reducción de costos de producción, mayor rendimiento y adaptación a la variabilidad climática y el cambio climático lo cual permita el desarrollo agroindustrial para el abastecimiento nacional y las exportaciones, sobre la base de materia prima nacional y encadenamientos productivos con agregación de valor.

Al ampliar el escenario de investigación en temas de desarrollo de valor agregado se trabaja la monografía titulada ***“Modelación de productos a escala de laboratorio, a partir de harina de yuca de las variedades fortificadas: INTA perla e INTA dorada, para productos alimenticios de consumo humano”*** donde la Br. Valeria Guadalupe Canjura Rodríguez genero un diseño de experimentos para la obtención primeramente de la harina de yuca de las dos variedades en estudio y luego la modelación de los productos (pan y galletas) considerando una formulación complementaria de harina de yuca y de trigo.

Estimados miembros del jurado tienen en sus manos el producto de un excelente esfuerzo por parte de la Br. Canjura Rodríguez, por lo que solicito sus sean considerados para la aprobación final del trabajo monográfico.

MSc. Leonardo Chavarría Carrión

Tutor

I. INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) pertenece a la familia Euphorbiaceae, su centro de origen genético se encuentra en la Cuenca Amazónica, fue reclasificada por Pohl en 1827 y Pax en 1910 en dos especies diferentes: yuca amarga *Manihot utilissima* y yuca dulce *M. aipi.*; sin embargo, Ciferri (1938) reconoció prioridad al trabajo de Crantz en el que se propone el nombre utilizado actualmente. (Aristizábal, 2007)

En el año 2015 se realizaron estudios con una de las variedades utilizadas en esta investigación, la cual es conocida a nivel nacional como INTA perla, dicho cultivo resultó ser de interés debido a las propiedades viscoelásticas de la harina, esto debido a su capacidad de gelatinización en razón de su alto porcentaje de almidón, al mismo tiempo presentó características idóneas para la creación de fibras de bioplástico, soportando una mayor cantidad de flexión y tensión, posicionándola como una opción viable para el empaque de alimentos. Siendo no solo de utilidad a nivel alimenticio si no como posible materia prima en empaques de alimentos. (Navia - Porras, 2015)

En el marco de la colaboración de Organización para la Alimentación y la Agricultura (Food and Agriculture Organization, en adelante FAO) y la Universidad Nacional de Ingeniería (en adelante UNI), surge este proyecto, con el fin de establecer un sistema de innovación productiva para la elaboración de harina de yuca de consumo humano a escala de laboratorio de las variedades fortificadas: a) yuca INTA perla y b) INTA dorada, para uso funcional de materia prima agrícola que es cultivada en diversas zonas del país.

El objetivo de este proyecto es transformar las variedades de yuca INTA perla e INTA dorada en harina de yuca, destinada al sector alimenticio, para mejorar la seguridad alimentaria. Se medirá la aceptación de mezclas de harina de yuca producidas en escala de laboratorio y su capacidad de sustituir la harina de trigo. La harina de yuca es una alternativa nutritiva y asequible que podría reducir los costos de importación de trigo y fomentar la producción local de este cultivo fundamental en Nicaragua.

II. OBJETIVO GENERAL

Establecer un sistema de innovación productiva para la elaboración de harina de yuca para consumo humano, a escala de laboratorio de las variedades fortificadas yuca INTA perla e INTA dorada.

2.1) Objetivos específicos

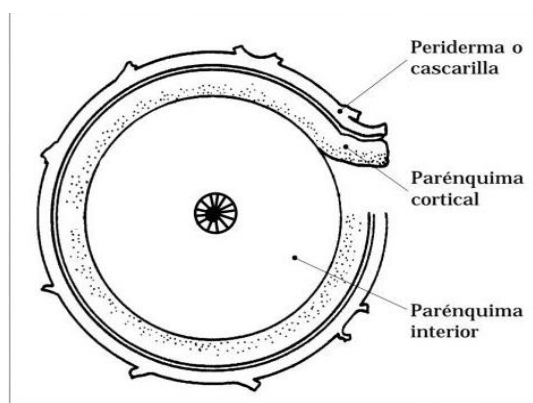
- Caracterizar de manera fisicoquímicamente las variedades fortificadas de yuca INTA perla e INTA dorada como materia prima para la elaboración de la harina de yuca.
- Determinar a escala de laboratorio la producción de harina de yuca con las variedades fortificadas yuca INTA perla e INTA dorada y caracterización de la misma.
- Modelar productos de panadería mediante la mezcla de harina de yuca con harina de trigo para conocer el nivel de aceptación.

III. MARCO TEÓRICO

3.1) Yuca (*Manihot esculenta*)

La yuca "*Manihot esculenta* Crantz" pertenece al reino vegetal específicamente de la división Spermatophyta se encuentra en la subdivisión de las angiospermae. Entre las características agronómicas podemos decir que el valor promedio de la altura de la planta es de 2.68 metros, también es un tipo de planta con aspecto de guardasol (aspecto de sombrilla), es una raíz peduncular y lo que se consume de esta es la raíz la cual tiene una forma alargada y cilíndrica.

Figura 1. Corte transversal de la raíz de yuca



Fuente: Cock, 1989

Analizando por medio de un corte transversal la raíz se puede observar que exhibe una capa exterior llamada periderma o cascarilla la cual posee un color café oscuro (esta posee un aspecto quebradizo como una ligera y delgada capa de piel) y luego de ésta la raíz posee una segunda capa de cascara que no está en contacto directo con la tierra siendo esta la parénquima cortical (la cual posee un color distintivo según el clon o variedad que se estudie), y luego en su interior la parénquima interior que es la parte consumible de la raíz. (Alarcón, 1998)

3.1.1) Características generales de la yuca

La yuca es un tubérculo originario de América del Sur (también se han encontrado hojas de yuca con antigüedad de hace más de 2500 años en México), que ha sido ampliamente diseminado por América Latina, Asia y África (Cock H., 1989), estas raíces contiene altas cantidades de carbohidratos complejos siendo baja en grasa y proteínas, siendo también principalmente compuesta por almidón (entre un 30 – 35 % de su peso), al mismo tiempo conteniendo vitaminas necesarias para el ser humano como el ácido ascórbico (Vitamina C), ácido fólico y calcio.

También debe de destacarse que la raíz de yuca y planta de yuca pueden presentar glucósidos cianogénicos, produciendo cantidades de cianuro tanto en raíces como en hojas realizando una división en dos tipos de variedades: dulce y amargas (siendo estas últimas la que presentan glucósidos cianogénicos), al mismo tiempo estas necesitando tratamientos distintos para su consumo humano y animal, con el fin de eliminar las cantidades de cianuro presente en dichas raíces. (Aristizabal, 2007). La Mandioca también es usada para otras aplicaciones que no sean de índole alimenticia como la producción de bioenergía, almidón y alcohol. (Cock H., 1989)

3.1.2) Producción de yuca a nivel mundial

La yuca es un producto altamente consumido no solo en América latina si no a nivel mundial, en el año 2019 se obtuvo una producción promedio de 303.6 millones de toneladas de yuca a nivel mundial con una superficie de cultivo de 27.6 millones de hectáreas y teniendo un rendimiento promedio de 11.0 ton/ha/año. (Axayacatl, 2021)

A escala mundial, Nigeria es el país actual con mayor producción de yuca, en las décadas anteriores la gran mayoría de producción y cultivo de yuca estaba ubicada en Asia y América, pero actualmente y debido a las condiciones climáticas cambiantes eso se ha visto modificado ahora siendo el continente africano quien lidera la producción mundial de yuca, Nigeria produce más de 19% de la yuca consumida a nivel mundial lo que equivale a 59 millones de toneladas. (Axayacatl, 2021)

3.1.3) Cultivo de yuca en Nicaragua

Es importante establecer que Nicaragua es un país cuya economía se basa en gran manera en la producción agrícola. Según el informe la cadena de la yuca realizado por IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura) y MAGFOR (Ministerio Agropecuario y Forestal de Nicaragua) en el año 2004, la mayor parte de yuca que es cultivada en el país se distribuye en dos departamentos: León y Masaya; y la Región Autónoma de la Costa Caribe Sur (RAACS), en esta última se cultiva el 70% de esa producción, y el 30% restante es producido en los dos departamentos ya mencionados. (IICA, 2004)

3.1.4) Variedades INTA perla e INTA dorada

La variedad INTA perla, fue introducida al país en el año 2004, mientras que la variedad INTA dorada entre los años 2011 y 2015, ambas por medio del INTA en asociación con el CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical), mientras que la variedad INTA perla fue introducida específicamente para zonas secas, la variedad INTA dorada posee un biofortalecimiento de vitamina A la lo cual cambia el color de su parénquima cortical e interior a amarillo, la variedad perla posee un valor de producción de aproximado de 33 t /ha⁻¹ (INTA, 2015), mientras que la variedad dorada posee un rendimiento promedio de 314 quintales por manzana cuadrada. (INTA, 2016)

Tabla 1. Características Agronómicas de la variedad INTA perla e INTA dorada.

Características agronómicas	Variedad INTA perla	Variedad INTA dorada
Altura de planta (promedio)	2.68 m	1.83 m
Tipo de planta	Guardasol (Aspecto de sombrilla)	Guardasol (Aspecto de sombrilla)
Altura de primera ramificación	1.20 m	No ramifica
Forma de la raíz	Cilíndrica	Cónica Cilíndrica
Presencia de pedúnculo de la raíz	Pedúncula	-
Color del pecíolo	Verde rojizo	-
Color de la parte externa del tallo	Marrón Oscuro	-
Color de la corteza de la raíz	Rosado	Amarillo
Hábito de ramificación	Dicotómico	No ramifica
Color de los brotes tiernos	Verde claro	Verde claro
Color de la hoja desarrollada	Verde Oscuro	-
Textura de la epidermis de la raíz	Lisa	Lisa
Hábito de crecimiento del tallo	Recto	Recto
Color de la pulpa de la raíz	Blanco	Amarillo
Tiempo de cocción	15 minutos	25 minutos
Tiempo de cosecha	6 – 8 meses	10 meses
Promedio de raíces por planta	8 - 10	7 -10

Fuente: INTA, 2015 y 2016

El cultivo de este tubérculo se realiza en zonas de clima tropical; es rico en hidratos de carbono complejos, pocas grasas, vitamina C y B6; por lo que no solo se utiliza la yuca; sino que también su follaje; la yuca tiene un 16% de fibra, hay un 7.8% de lisina, en las hojas se encuentra un 23% de proteína, siendo mayor que la contenida en la alfalfa.

3.1.5) Características del cultivo de yuca

El crecimiento del cultivo de yuca se da entre los 20 y 30 °C, debido a que una temperatura menor podría afectar negativamente el cultivo, las zonas del trópico son ideales debido a sus temperaturas entre los 25 – 27 °C, siendo las regiones del Atlántico las idóneas para el cultivo de esta planta. (IICA, 1983)

Es un tipo de cultivo que no requiere un gran uso de insumos y concede el beneficio en un mejor tiempo de cultivo ofreciendo flexibilidad y resistencia a la creciente problemática del cambio climático, existiendo características intrínsecas de esta planta que la hace resistente a las sequías, siendo una de estas la capacidad de extraer agua del suelo profundo y entrando en estrés hídrico, también su capacidad de poder establecer una asociación con hongos (micorriza) para obtener fósforo, teniendo la capacidad de desarrollarse en suelos con aluminio (suelos ácidos) (Alarcón, 1998), este cultivo tiene la capacidad de adaptarse a humedades que van desde los 750 a 1,500 mm de agua, por lo tanto podemos inferir que este cultivo no tolera el suelo inundado y en caso de que dicha circunstancia se presente se deberá de proceder al arranque inmediato de esta.

3.1.6) Enfermedades del cultivo de yuca

Dentro de las enfermedades del cultivo de la yuca esta puede presentar pudriciones de tipo bacteriano como la pudrición bacteriana (*Xanthomona manihotis*) la cual se representa con manchas pequeñas angulares, de apariencia acuosa en el envés y luego crecen cubriendo totalmente la hoja, esto provoca exudación de goma y seca las hojas nuevas de la planta (Segreda Rodríguez, 2016), el cuero de sapo que es producida por una bacteria llamada *fitoplasma o reovirus*, la cual produce un desarrollo anormal del tallo de la planta (engrosamiento) y al mismo tiempo provoca una deformidad en las raíces de la planta y un desarrollo no deseado de las raíces, causando una producción casi mínima de raíces gruesas.

Al mismo tiempo se pueden presentar enfermedades de tipo foliar que afecten negativamente el cultivo retardando su crecimiento como: la mancha parda (*Cercospora henningsii*) la cual puede producir una defoliación severa esta se caracteriza por manchas de color café en las hojas del cultivo, estas a su vez pueden presentar un halo de color amarillo no definido; por otro lado, la antracnosis (*gloeosporium manihotis*) se caracteriza por la muerte parcial del tejido de las hojas jóvenes de la planta, pudiendo atacar los brotes jóvenes en forma de chancros (CIAT, 1977). Las variedades en estudio poseen la ventaja de tener resistencias a ciertas enfermedades y tolerancia intermedia a otras, las cuales poseen una ventaja sobre otros cultivares.

Tabla 2. Resistencia y tolerancia intermedia de variedades INTA perla e INTA dorada

Variedad INTA perla	Variedad INTA dorada
Resistencia a enfermedades	
Cuero de sapo	No tiene resistencia
Tolerancia intermedia a enfermedades	
Bacteriosis	Bacteriosis
Cercospora	Cercospora
Antracnosis	Antracnosis

Fuente: INATEC, 2018

3.1.7) Propiedades de la yuca y valores nutricionales

La yuca posee un valor de carbohidratos muy alto y al ser un cultivo fácil de manejar y una materia prima barata es un alimento ideal, posee una cantidad de energía metabolizable de entre 3500 a 4000 kcal/g, la cual compite en energía metabolizable con la harina de maíz, solo siendo opacada por un valor de proteína muy bajo en comparación a otros tubérculos o raíces. Incluso obteniendo un valor muy alto de vitamina C por encima del porcentaje de consumo de diario, teniendo casi 360 mg de ácido ascórbico en 1kg de yuca, valor que disminuye aproximadamente entre 50 a 70 % cuando se cocina. (Cock H., 1989)

Tabla 3.Contenido de materia seca, carbohidratos y proteínas de algunos tubérculos

Cultivo	Materia seca (%)	Carbohidratos (% materia seca)	Proteína (% materia seca)
Yuca	37.5	92.5	3.2
Patata	22.0	85.9	9.1
Batata	30.0	91.0	4.3
Ñame	27.6	97.3	8.7
Taro	27.5	84.4	6.9

Fuente: Cock, 1989

Tabla 4. Valor nutricional de la yuca, composición nutritiva media por 100 g de base seca:

Valor nutricional de la yuca (por 100 g de base seca)	
Valor energético (kcal)	132.0
Agua (%)	65.2
Proteína (%)	1.0
Grasa (%)	0.4
Carbohidratos totales (%)	32.8
Fibra (%)	1.0
Cenizas (%)	0.6
Calcio (mg)	40.0
Fósforo (mg)	34.0
Hierro (mg)	1.4
Tiamina (mg)	0.05
Riboflavina (mg)	0.04
Niacina (mg)	0.60
Acido ascórbico (mg)	19.00
Porción no comestible (%)	32.0

Fuente: Guillermo y López, 2016

La yuca también posee altos niveles de calcio y fósforo, solo teniendo como desventaja un valor de proteína muy bajo en comparación a otros tubérculos o raíces.

3.1.8) Importancia de la yuca

Teniendo en cuenta todas las ventajas mencionadas con anterioridad como los factores económicos de la producción de yuca y que los suelos tropicales Nicaragüenses son ideales para su cultivo, y que los distintos clones introducidos por el INTA que a su vez provienen del CIAT, los cuales han mejorado el rendimiento de cultivo y acortado los períodos del mismo, además de ser tolerantes al cuero de sapo (INTA perla) y tener resistencias intermedias a enfermedades que dificultan el crecimiento adecuado del cultivo, y que tienen unas características notables como su capacidad de resistencia a la sequía (y cambios climáticos) y su capacidad de dar una buena producción en suelos degradado y carentes de nutrientes la hacen una materia prima muy viable para la presente investigación.

3.1.9) Harina de yuca

La harina de yuca es obtenida por el proceso de molienda y tamizado de trozos secos de yuca. Las raíces de yuca son lavadas para retirar las impurezas y la cascarilla y son trozadas en una picadora. Los trozos son secados al sol o artificialmente y una vez secos son molidos y tamizados para obtener la harina. (Aristizabal, 2007) La harina de yuca comestible (*Manihot esculenta* Crantz) es el producto que se obtiene de las hojuelas o pasta de yuca con un proceso de pulverización y molienda, seguido del cernido para separar la fibra de la harina. (Codex, 1989)

Entre los distintos métodos de producción de harina de yuca se debe de hacer una distinción en razón de las variedades de yuca a tratar siendo que en el caso de la Fariña de agua o grosso se usan variedades amargas por lo tanto antes de llevar a cabo la reducción de tamaño para luego realizar un remojo por varios días de la yuca amarga en agua (esto con el fin de disminuir las concentraciones de ácido cianhídrico presente en estas variedades), procediendo sin remojo en variedades dulces directo a molienda

(después de retirar la cascarilla y cascara) de la raíz para posteriormente secarlas por medio de luz solar por 20 horas de exposición directa y ser molida, teniendo como desventaja principal no poder tener un correcto control microbiológico por la contaminación que proviene del ambiente y puede contaminar las muestras, debido a esto es necesario realizar un secado artificial a condiciones controladas.

Se debe de asegurar los siguientes estándares de calidad en la harina de yuca reflejados en el Codex para dicho producto como un valor de fibra bruta no mayor del 2.0 %, valores de ceniza no superiores al 3.0 % y en este caso al ser una harina fina el mínimo es que el 90% deberá de pasar por un tamiz de 0.60 mm. (Codex, 1989)

3.1.10) Producción de harina de yuca

La producción de harina de yuca inicia desde la recepción del material, pasando por un proceso de selección en el cual se asegura que la materia prima cumpla con los parámetros establecido, para proceder a lavar las raíces y evitar que estas tengan partes solidas del suelo incrustadas, remover la cascara y cascarilla de manera manual con un cuchillo (ya que estas se desechan), reducción de tamaño (gruesa y posteriormente fina) con el fin de realizar una capa que mientras más delgada podrá reducir tiempos de secado y aumentar la superficie el área expuesta a la fuente de calor, para secarla y molerlo al grado de finura deseado y obtener la harina de yuca. (Mejía Rosario, 2023)

Debido al proceso de producción previamente descrito y bibliografía citada con anterioridad es necesario establecer que la producción se realizó escala de laboratorio, debido a la facilidad de monitoreo de variables críticas del proceso de producción (variedades de yuca, tiempos y temperatura de secado). Esto es de vital importancia en las etapas iniciales del desarrollo del producto, esto con el fin de experimentar con diferentes condiciones y buscar la optimización del proceso y réplicas optimas de las variables respuestas (gramos de harina, rendimiento y porcentaje de humedad).

Estableciendo que debido a esta escala de laboratorio las muestras con las que se realizarán los experimentos serán de 1kg por experimento ya que esto permite realizar ensayos (8 experimentos) y sus réplicas (2 réplicas) sin incurrir en altos costos operativos y de infraestructura, lo que es fundamental en las primeras fases de desarrollo de un nuevo proceso.

Es muy importante recalcar que la producción de harina de yuca de alta calidad puede remplazar a la harina de trigo, maíz o cualquier otro cereal, siendo una alternativa para personas que no deban de consumir cantidades de gluten que puedan perjudicarlos, al mismo tiempo siendo una alternativa más saludable para personas con prediabetes o diabetes, hipertensión y colesterol alto.

3.1.11) Aplicaciones de la harina de yuca

La harina de yuca no debe verse solo como un sustituto parcial de la harina de trigo en la panificación, también puede ser usada en distintos tipos de alimentos y al mismo tiempo con distintos tipos de sustituciones, en la siguiente tabla se plantearán los distintos usos de la harina de yuca y sus distintos valores aceptables de sustitución, y ventajas de la sustitución de esta.

Tabla 5. Alimentos en los cuales puede ser utilizada la harina de yuca en su elaboración

Alimento	Materia prima sustituida	Nivel de sustitución (%)	Ventajas de la harina de yuca
Pan	Harina de trigo /Almidón agrio de yuca	3- 20	Menor costo, mejor sabor
Galletería	Harina de trigo	10	Más crocante
Pastas Alimenticias	Harina de trigo, arroz y maíz	20- 35	Menor costo
Carnes procesadas	Harina de trigo /Almidón agrio de yuca	100	Mayor absorción de agua

Mezclas para papillas y sopas	Harina de trigo, arroz, maíz y plátano	10 – 40	Mayor rendimiento
Dulces de leche y frutas	Harina de arroz y almidón de maíz	50 - 100	Mas brillante y mejor sabor
Condimentos	Harinas de trigo y maíz	50 - 100	Menor Costo
Mezclas para empanizado de carnes	Harinas de trigo	15- 30	Más crocante
Snacks	Harina de trigo, arroz y maíz	100	Menor costo

Fuente: Aristizábal, 2004

La sustitución de harina de yuca no solo sería útil con el fin de aminorar costos de producción al ser una materia prima barata, sino también como solución a constantes problemas de salud que son asociados con la harina de trigo, en este caso las mezcla harina de trigo-yuca tendría valores menores de gluten que una mezcla solo compuesta únicamente por harina de trigo, y la harina de yuca daría un aporte sustancial de fibra, reduciendo considerablemente problemas asociados al consumo de pan como el estreñimiento, cáncer de colon, asimismo, podría ser una opción para personas con diabetes, abriendo la posibilidad de volver a consumir pan con regularidad sin sufrir alteraciones graves en los niveles de azúcar en sangre. (Aristizábal Galvis, 2004)

Según la tabla vista anteriormente se puede inferir que lo niveles de sustitución de harina de yuca en mezclas de harina trigo-yuca va desde 3 a 20%, por lo tanto, se propone los siguientes tres niveles sustitución para ambas variedades: 10, 20 y 30%.

3.2) Trigo

Se cree que el origen de trigo se dio en Asia y luego se fue expandiendo por el mediterráneo y todas partes del mundo a diferencia del maíz que es cultivado en América desde los tiempos pre coloniales, el trigo fue traído a América como consecuencia del mestizaje, pero este se adaptó a los climas más fríos como lo son el Sur de América. La harina de trigo tiene una importancia étnica, cultural e incluso religiosa por muchos siglos de antigüedad y posicionando al trigo como el tercer grano más importante a nivel mundial. (Alvarez, 2000)

El trigo contiene hidratos de carbono, compuestos nitrogenados, ácidos grasos, sustancias minerales y agua, con pequeñas cantidades de vitaminas B y E, grasas y proteínas. El gluten es la proteína responsable de las propiedades esponjosas y elásticas del pan siendo este el encargado de posibilitar la panificación dado que permite que la levadura que conforma parte de la mezcla de pan tenga una fermentación anaerobia obteniendo como resultado etanol y dióxido de carbono logrando que el gas se retenga en la masa y dándole la capacidad de ser esponjoso y elástico, permitiendo obtener una mayor cantidad de proteína y una menor cantidad de almidón. (Arteaga, 2015)

3.2.1) Harina de trigo

Se define la harina de trigo como: “el producto elaborado con granos de trigo común, *Triticum aestivum* L. o trigo ramificado, *Triticum compactum* Host., o a combinaciones de ellos por medio de procedimientos de trituration o molienda en los que se separa parte del salvado y del germen y el resto se muele hasta darle un grado adecuado de finura”, al mismo tiempo estando exento de olores y sabores y extraños y sin presencia de insectos vivos o muertos , junto con impurezas de tipo animal y teniendo una humedad no máxima de 15.0 %. (Codex, 1985)

Tabla 6. Composición química de la harina de trigo

Componentes (%)	Mínimo	Máximo
Humedad	13	14
Grasa	1	1.5
Proteína	12	13.5
Hidratos de carbono	67	71
Cenizas	0.55	1.5

Fuente: Arteaga, 2015

3.3) Pan

El pan es un alimento consumido a nivel mundial y uno de los primeros alimentos en ser extendidos por todo el globo terráqueo, es un alimento con un costo accesible y una fuente carbohidratos y de energía metabolizable que es rentable para el consumo diario, ya que cuenta con cantidades de proteína que ayudan al buen funcionamiento del cuerpo. El pan es un producto horneado que consta de la mezcla de harina de trigo (en caso de no ser una harina compuesta como el caso que se plantea en la presente debido a la combinación de harinas de trigo y yuca), agua, manteca, azúcar sal y saborizantes. (Guillermo y Lopez, 2016).

3.3.1) Características organolépticas del pan

Entre las principales características del pan es de poseer una corteza, esta puede ser crujiente o bien una cubierta suave y en su interior de un color blanco o en caso de harina integral de color café, teniendo como característica principal que la miga tenga pequeñas formas de burbujas, que su miga sea pequeña y al mismo tiempo que no presente un problema en la masticación y la posterior deglución del mismo. (Guillermo y Lopez, 2016).

3.3.2) Componentes del pan y proceso de producción de pan

Entre los principales ingredientes para la elaboración de pan de trigo se conoce: harina de trigo como componente principal, mantequilla o margarina (grasas), levadura, azúcar, sal, leche y huevo.

Harina para hacer pan por lo general está constituida por harina de trigo, la cual debe de tener una humedad correcta, sin olores ni sabores que puedan afectar el sabor del pan, también tomando en cuenta que la gran parte de los panes que se consumen hoy en día no se ocupa 100% harina de trigo, si no mezclas de este, al mismo tiempo considerando

que el sabor del pan estará completamente ligado a las materias primas de las cuales se obtuvo la harina.

La levadura es uno de los componentes más importantes en la panificación debido a que es el hongo encargado de realizar la fermentación que la cual da como resultado etanol y dióxido de carbono, dejando el gas atrapado en la mezcla, esto provoca el crecimiento de la mezcla, dando como resultado un producto liviano poroso y con bastante capacidad de ser digestible.

Mantequilla o margarina: las grasas pueden ser varias en su origen siendo animal o vegetal, permite la capacidad de hacer a la mezcla más suave y permitiendo que la humedad sea fijada dentro de la masa y no se pierda en el proceso de horneado. El Agua es uno de los ingredientes más importantes de la mezcla del pan debido que permite que la mezcla se hidrate, por lo tanto, facilita la fermentación, esta se da por medio de descomposición de los azúcares (debido a esto es necesario agregar al menos 10% de peso en azúcar con el fin de mejorar y agilizar este proceso) y partes de las proteínas en la mezcla del pan.

La sal es un factor importante no solo por brindarle el sabor característico al pan si no por realzarlo, al mismo tiempo permitiendo que, cuando sea incorporado en la masa este ayude a mejorar su cohesividad y elasticidad. (Calvel, 2001). El uso de leche y huevo son materiales que pueden ser introducidos con el fin de mejorar el aspecto del pan por un lado la leche logra dar una coloración dorada al pan y adiciona a la masa determinadas cantidades de sólidos, al mismo tiempo el huevo ayudara a mantener una cohesividad alta de la mezcla agregando suavidad a la textura de la mezcla y al pan, y al ser una proteína que contribuye al valor nutricional de la mezcla. (Aristizábal Galvis, 2004)

El proceso de producción de pan consta de las siguientes partes: pesado, mezclado, amasado, refinado, corte y pesado, moldeado, fermentación primaria y reposo, boleado, fermentación secundaria (opcional), horneado y enfriado.

Inicialmente se procede con un pesado de las materias primas con el fin de lograr un correcto control de los componentes del pan, se pesarán tanto los componentes sólidos, como líquidos para la correcta mezcla. Para luego mezclar los componentes previamente pesados con el fin de obtener una masa homogénea, al mismo tiempo se pasará por un tamizado previo con el fin de detectar grumos en la materia prima en polvo, se agregaran los materiales uno a uno previendo su correcta integración a temperaturas que ayuden a su correcta integración a la mezcla, teniendo en cuenta de integrar primeramente los materiales en polvo para consiguientemente agregar los sólidos y luego los líquidos como el agua y la leche con el propósito de que se cree el gluten y la masa tenga la hidratación y consistencia correcta. (Aristizábal Galvis, 2004)

El amasado se da con el fin de desarrollar paulatinamente el gluten, este se puede dar de manera mecánica o manual en el caso del pan artesanal, procediendo a estirar y contraer la masa, ayudando a oxigenar la masa y permitiendo la coarctividad y posibilitando darle un mejor cuerpo a la masa, evitando la formación de burbujas de aire en la mezcla, al mismo tiempo siendo la parte fundamental para darle esa textura esponjosa al pan esto debido a que permite el alineamiento de las partículas de gluten. (Guillermo y Lopez, 2016)

El refinado se da con el propósito de crear una masa compacta y más elástica, para una mejor presentación y una masa más lisa. El reposo es el que permite la correcta formación de la textura del pan debido a que se inicia la fermentación primaria del pan donde se empezará la formación de gas que quedara atrapado en la mezcla, siendo que el tiempo requerido mínimo es de dos horas de reposo, y esta deberá ser a una temperatura de entre 27 a 35 °C dado que a mayor temperatura la fermentación se hará con mayor velocidad el mismo tiempo teniendo en cuenta que a una temperatura mayor que la sugerida se pueden desarrollar olores no deseables en la masa, debido a los distintos tipos de pan consumidos en la actualidad será necesaria una fermentación más larga la cual deberá de ser a temperaturas menores (temperaturas de refrigeración) con el fin de lograr sabores y olores más intensos y profundos en el pan.

Una vez que la masa tenga un tiempo de reposo de como mínimo dos horas esto debido a que mayor tiempo de reposo se desarrollaran más olores y sabores deseables en el producto final se procede con el formado y corte de esta con el fin de brindar una mejor estética la producto terminado al mismo tiempo con el fin de mejorar la transferencia de calor sobre el producto y una distribución uniforme de este y asegurar piezas con un tamaño y simetrías uniformes, teniendo en cuenta no ejercer fuerza excesiva con el fin de no dañar el volumen de la masa y mantener una forma agradable y visualmente estética, también con el propósito de la creación de una corteza uniforme y atractiva que logre realzar las características del pan. (Aristizábal Galvis, 2004)

La fermentación es el proceso más importante para la masa debido que se espera que esta doble su tamaño, teniendo en cuenta que a mayor cantidad de tiempo en la fermentación el pan tendrá mejores características organolépticas, teniendo en cuenta la producción de distintos tipos de pan se puede perder cierto volumen que es no deseable en la división y moldeado, esto resultando en que sea necesaria una “segunda” fermentación a temperatura ambiente para luego proceder a hornearlo, con el fin recuperar el volumen y consistencia perdido.

El horneado es la última etapa en la producción de pan, se da convencionalmente en la industria en hornos a gas o eléctricos, teniendo en cuenta que al ser un alimento milenario este era cocinado originalmente en hornos de leña muy rústicos con fuentes de calor variables, entre las temperaturas optimas de horneado están de los 190 °C hasta los 260 °C, inicialmente cuando la masa que ya fue cortada es introducida el horno esta sigue su proceso de fermentación hasta alcanzar los 45 °C, siguiendo con la formación de alveolos en la masa y por medio de la degradación de dextrinas y maltosas en la capa superficial del pan junto con la exposición directa del calor se crea la corteza del pan con sus características.

Esto al mismo tiempo permitiendo que olores se desprendan de este por medio de la reacción de Maillard, al mismo tiempo ayudando la degradación de microorganismos deteniendo la fermentación, haciendo que la masa elástica se convierta en pan con estas

mismas características, resultando en la creación de una red de alveolos o bien de una estructura similar a las esponjas, y por último se produce la evaporación de alcohol y al mismo tiempo de la mayoría de humedad de la mezcla, el pan se encontrara listo en este punto. (Guillermo y Lopez, 2016)

3.4) Galletas

Las galletas se definen como productos de repostería que pueden ser dulces, saladas o de sabores especiales definidos por la persona que las realiza, siendo la mezcla de harina de trigo (leudante o sin leudante), azúcar (o edulcorantes), grasa (de origen vegetal o animal), levadura o polvo de hornear (levadura química), de una consistencia crujiente o entre dura y suave, que genere una crocancia, teniendo forma variable. (Arroyo, 2014)

Entre los tipos principales de galletas tenemos: galletas tipo cracker (crema), galletas de masas antiglutinante, obleas, galletas craker dulces, galletas dulces y semidulces, esta tipología esta da en base a los ingredientes y distintas preparaciones de cada una, a su vez estas pueden clasificarse por sabores como: saladas, dulces y de sabores especiales; por su presentación como: simples (solo empacadas después de su cocimiento), rellenas, revestidas y por ultimo por su comercialización: empacadas por paquetes sellado pequeños y al granel. (Aponte, 2019)

Entre los principales componentes de las galletas se encuentran las harinas suaves las cuales son hechas a partir de trigos blandos teniendo un contenido proteico inferior a las al 10% siendo menor que las harinas de trigos fuertes, esto genera una masa menos elástica y menos resistente al estiramiento que debe de trabajarse con mayores cantidades de grasa ya que se logra un efecto antiglutinante y una mejor plasticidad de la masa, proveyendo una textura menos dura a la mezcla.

El azúcar es un componente fundamental en la masa de las galletas debido a que la adición de esta reduce la viscosidad y el tiempo de relajación de la masa, al mismo

tiempo controlando la textura de la misma, permitiendo una mejor coercividad y una textura deseada. Un factor reológico importante es el agua debido a que esto hidratará las proteínas de y carbohidratos para dar la formación de la red de gluten y determinará el estado de creación de biopolímeros. (Aponte, 2019)

IV. METODOLOGÍA

4.1) Generalidades

Con el fin de cumplir los objetivos planteados en la presente investigación se definirán 4 partes siendo las siguientes:

1. Se realizó la caracterización fisicoquímica de materia prima (para variedades INTA perla e INTA dorada) y producto final (harina de yuca)
 - Porcentaje de ceniza
 - Porcentaje de humedad
 - pH
 - Porcentaje de grasa
 - Porcentaje de fibra y carbohidratos.
2. Producción de harina de yuca a escala de laboratorio.
3. Elaboración de productos de panadería (pan y galleta)
4. Diseño experimental
 - Diseño factorial 2^3
 - Diseño factorial para esta investigación
 - Modelo matemático e hipótesis
5. Aplicación de encuestas con el fin de conocer el nivel de aceptabilidad

4.2) Localización del estudio

El estudio se realizó en los laboratorios de ingeniería de procesos y operaciones unitarias del área de conocimiento de agricultura, realizando en el laboratorio de procesos las características correspondientes a la materia prima y producto terminado, y la producción de harina a partir de las variedades antes mencionadas en el laboratorio de operaciones unitarias.

Esta caracterización se realizó a materia prima que previamente fue seleccionada por el INTA (dentro del marco de colaboración INTA-FAO-UNI), que no presento pudriciones, ni daños físicos, de las variedades en estudio.

A continuación, se presentará la lista de materiales y equipos utilizados para el cumplimiento de los objetivos del trabajo.

4.3) Materiales

- Materia prima
 - Variedad INTA perla
 - Variedad INTA dorada.
- Materiales

Tabla 7. Tabla de materiales y reactivos para la caracterización fisicoquímica

Materiales para caracterización fisicoquímica	
Nombre del material de laboratorio	Material
Crisoles	Porcelana
Pinzas de crisol	Acero inoxidable
Guantes para horno	Kevlar
Charolas	Aluminio
Espátula	Acero inoxidable
Cuba hidroneumática	Plástico
Dedales	Celulosa
Reactivos	Pureza
Hexano	100%
Agua destilada	-
Agua	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Tabla de materiales para la caracterización fisicoquímica

Materiales para la elaboración de la harina de yuca	
Nombre del material de laboratorio	Material
Tabla de picar	Plástico
Colador	Plástico
Manta de punto	Algodón
Cuchillos	Acero inoxidable
Bolsas de sándwich	Plástico
Reactivos	Pureza
Bicarbonato de sodio	100%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Utensilios y materia prima para productos de panadería

Utensilios y materia prima para productos de panadería	
Utensilios	Material
Charolas para horneado	Acero inoxidable
Rodillo de masa	Madera
Batidor de globo	Acero inoxidable
Tazón de mezclado	Acero inoxidable
Materia prima	Marca
Harina de trigo fuerte	Gemina
Harina de trigo suave	Gemina
Manteca	Clover
Levadura seca	Fleischmann
Azúcar	Monte Rosa
Sal	Sal Atlántida
Leche en polvo	Nestlé
Polvo de hornear (doble acción)	Clabber girl

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Insumos para muestras de productos de panadería

Insumos para muestras de productos de panadería	
Insumos	Material
Papel toalla	Papel
Vasos desechables	Plástico
Platos desechables	Plástico
Servilletas	Papel

Fuente: Elaboración propia

4.4) Equipos

Tabla 11.Tabla de equipos usados con sus especificaciones

Amasadora		Balanza	
Marca	Dynasty	Marca	Sartorius
Velocidades	3	Modelo	MC1 LC 12000
Capacidad	20 l	Peso máximo	2200 gr
Aparato de Soxhlet clásico		Balanza	
Marca	C. Gerhardt	Marca	Kern DS
Tipo	Semiautomático	Peso máximo	65,100 gr
Balanza analítica		Balanza de humedad	
Marca	Mettler	Marca	Sartorius
Modelo	AE200	Modelo	MA150
Peso máximo	205 gr	Temperatura de trabajo	40+ 220 °C
		Peso máximo	205 gr
Horno de convección		Horno turbo compacto (gas)	
Marca	Fisher Scientific	Marca	Gastromaq
Modelo	825 F	Capacidad	5 ft
Temperatura de trabajo	50–325°C	Temperatura máxima	250 °C
Horno de mufla		Juego de tamices	
Marca	Thermolyne Scientific	Marca	Fisher Scientific Company
Modelo	FB1310M	Números de tamices usados	8, 12, 35, 50, 80
Temperatura de trabajo	100 - 1100 °C		140, 230 y Fondo
Molino de discos		Rotavapor con baño térmico	
Potencia requerida del motor eléctrico	3 – 5 HP 1750 RPM	Marca	Büchi
Capacidad mínima	3 libras por batch	Modelo	R-114 y B-480
		Temperatura máxima	100 °C
Tamizador		pHmetro	
Marca	WS TYLER ROTAP	Marca	Thermo Scientific
Capacidad	8 tamices	Modelo	Orión Star A111
Oscilaciones por minuto	278 (taps)	Exactitud (pH)	± 0,01

Fuente: Elaboración propia

4.5) Métodos

4.5.1) Caracterización de las variedades INTA- Perla e INTA- dorada

Con el fin de realizar la caracterización de la materia prima se realizaron los siguientes análisis proximales (porcentajes de: ceniza, humedad, pH, grasa, fibra y carbohidratos), para saber que dicha materia prima cumple con los requerimientos necesarios para la investigación.

Preparación de muestras

Debido a la naturaleza de la materia prima esta inicialmente se lavó con el fin de quitar suciedad e impurezas procedentes del tubérculo y se selección de raíces, se realizó una desinfección con disolución de hipoclorito de sodio.

Se trabajo con la base de 1000 gramos (1 kg) por experimento, el cual fue pesado con cascara posterior al lavado, con el fin lograr medir el peso de la cascara por variedad, se procedió a cortar puntas de la raíz y se desecharon estas, para luego pesar las muestras.

Se procedió a realizar el pelado de manera manual con un cuchillo de cocina para que se despegara la cascara (separar el parénquima cortical del parénquima interior) de la raíz.

Se realizo una reducción de tamaño inicial con el fin de crear medallones, para posteriormente ser molidos con el molino de discos previo a esto se tomaron muestras de ambas variedades (yuca triturada) con el fin de realizar la caracterización de las variedades de yuca.

Porcentaje de Ceniza

Se calcinaron los crisoles a usarse y dejarse enfriar, para proceder a su pesado, pesaron muestras de entre 2.5 a 3 g de la yuca molida y seca, esta se colocó en el crisol y entraron a la mufla a 550^aC por hora y media, para después ser enfriados en un desecador, para

finalmente ser pesados (crisol y la muestra calcinada) y se realizaron los cálculos del porcentaje de ceniza el cual fue dado por la siguiente formula (AOAC, 2007):

Ec. 1) Contenido de ceniza

$$\text{Contenido de ceniza (\%)} = \left(\frac{P_{c-m} - P_{c-c}}{P_m} \right) 100$$

Donde:

P_{c-m} : *Peso del crisol con muestra (g).*

P_{c-c} : *Peso de la muestra (g).*

P_m : *Peso del crisol con ceniza (g).*

Porcentaje de humedad

Se pesaron muestras de entre 5 a 10 g (AOAC, 2007), estas muestras fueron colocadas en charolas para su posterior pesado. Luego se colocaron las muestras dentro de las charolas y entraron al horno de convección a 105 °C por 5 horas.

Para ser sacado y puesto con cuidado en el desecador y ser pesado con cuidado de que este no este expuesto al medio ambiente, para evitar contaminación con humedad.

Para el cálculo del porcentaje de humedad se realizó por la diferencia de peso entre el material seco y húmedo que previamente se secó en un horno de manera artificial: (AOAC, 2007)

Ec. 2) Contenido de humedad

$$\text{Contenido de humedad (\%)} = \left\{ \frac{[(P_{CMH} - P_c) - (P_{CMS} - P_c)]}{(P_{CMH} - P_c)} \right\} 100$$

Donde:

P_c : *Peso de la charola (g).*

P_{CMH} : *Peso de la muestra húmeda y la charola (g).*

P_{CMS} : *Peso de la muestra seca y la charola (g).*

Concentración de iones de hidrogeno (pH)

Una vez acondicionada la muestra y teniendo en cuenta que esta poseía una cierta cantidad de líquido que surgiría en el proceso de rayado, se procedió a sumergir el electrodo de la máquina de pH para la medición de pH, la cual se hizo por triplicado por cada una de las variedades de yuca.

Porcentaje de grasa, fibra y carbohidratos metabolizables

Por medio del método Soxhlet se extrae el porcentaje de grasas o de lípidos crudos en la muestra por medio de lixiviación sólido líquido extrayendo la grasa por medio de un solvente caliente, las muestras de entre 2 a 3 gramos, debido a que por teoría basados en los estudios realizado por Cock en 1989, se conoce que el porcentaje de grasa es inferior al 5% de peso total; por lo tanto, se decidió tomar una muestra más significativa subiendo en una muestra que estaba entre los 18 a 20 gr.

Las muestras fueron acondicionadas con el fin de agilizar el proceso de extracción de grasa de dichas muestras y facilitar este proceso, para luego pesar los dedales de celulosa los cuales, estos se pesaron individualmente y luego con las muestras (estas se harán por triplicado) las cuales se colocaron dentro del centro del sifón del equipo Soxhlet.

Una vez que la muestra sólida se cargó en el equipo se procedió a colocar el matraz con el solvente (hexano puro) el cual se calentó y empezó a vaporizarse y subir al condensador el cual se condensó en solvente caliente que cayó sobre la muestra dentro del dedal (reflujo), para luego volver a caer al balón que contenía el solvente arrastrando la grasa presente en la muestra, con el fin de obtener una mejor eficiencia en el sistema se realizaron 10 reflujos por hora, durando un tiempo de 5 horas el proceso.

Posteriormente se enfrió el equipo y se recuperaron los balones con el solvente y la muestra de grasa con el fin de evaporar el solvente, por medio de un rota evaporador y se obtuvo la grasa resultante de las muestras pegada en las paredes del balón.

Para el cálculo del porcentaje de grasa se dio por la diferencia de peso entre el balón seco y limpio, con el peso del balón con grasa seco. (AOAC, 2007)

Ec. 3) Contenido de grasa

$$\text{Contenido de grasa (\%)} = \left(\frac{P_{b-g} - P_{b-s}}{P_m} \right) 100$$

Donde:

P_{b-s} : *Peso del balon seco y limpio (g)*

P_{b-g} : *Peso del balon con la grasa(g)*

P_m : *Peso de la muestra (g)*

Al mismo tiempo las muestras desengrasadas y húmedas en el solvente que quedaron dentro del sifón, fueron la cantidad de fibra y de carbohidratos metabolizables de las variedades de yuca, los dedales de celulosa con muestra fueron recuperados y secados en horno de convección a 105 °C por 16 horas con el fin eliminar los rastros de solvente y de posible humedad en las muestras y estos fueron retirados del horno cada hora y enfriados hasta que las mediciones de peso fueron constantes, con objeto que las muestras estuvieran libres de humedad y solvente.

Para el cálculo del porcentaje de fibra y carbohidrato se dio por la diferencia de peso entre el dedal de celulosa, con el peso del dedal más la muestra seca, entre el peso de la muestra. (AOAC, 2007)

Ec. 4) Contenido de fibra y carbohidratos

$$\text{Contenido de fibra y carbohidratos (\%)} = \left(\frac{P_{d-fc} - P_d}{P_m} \right) 100$$

Donde:

P_d : *Peso de dedal (g).*

P_{d-fc} : *Peso de dedal con fibra y carbohidrato(g).*

P_m : *Peso de la muestra (g).*

4.5.2) Proceso de producción de la harina de yuca

La harina de yuca es obtenida por el proceso de molienda y tamizado de trozos secos de yuca. Las raíces de yuca son lavadas para retirar las impurezas y la cascarilla y son trozadas en una picadora. Los trozos son secados al sol o artificialmente y una vez secos son molidos y tamizados para obtener la harina. (Aristizabal, 2007)

Según la bibliografía consultada este se puede resumir en el flujograma presentado en el anexo B, pagina 73, teniendo los siguientes procesos: recepción de material, corte de puntas de las raíces, selección, pesado, lavado, pelado, reducción de tamaño (troceado en forma de medallones), triturado (pasta de yuca), filtrado / desalmidonado a presión, secado, molienda fina, tamizado, empaquetado y almacenamiento.

Recepción y corte de puntas de las raíces

Se realizó la recepción de la materia prima, a simple vista no tenía ninguna magulladura y/o pudriciones, por lo que se procedió a revisar más detalladamente, con el fin de apreciar la ausencia de estas en las raíces y se realizó la mejor selección, a su vez se retiraron las puntas de la raíz y se desecharon.

Selección y lavado

Luego de la selección de las raíces que tenían un buen tamaño, que presentaron ausencia de daños por plagas o bacterias internas y externas del parénquima interno, las cuales fueron mejor evaluadas luego del corte de las puntas de las raíces, se dejó en remojo y se procedió a tallar con el fin de remover la cascarilla y suciedad.

Pelado y troceado

Con el fin de obtener un producto inocuo la yuca se pela separando el parénquima cortical de la interior, removiendo cualquier impureza residual de la cascará y usar el producto resultante (yuca pelada) en el proceso.

Remojo en bicarbonato de sodio

Al trabajar con variedades de yuca con niveles de almidón muy altos y con humedad superior al 60 %, fue necesario romper la estructura del almidón externa para que este se pudiese eliminar parcialmente de la yuca y evitar procesos de gelatinización que encapsulan la humedad interna e impiden la creación de la harina de yuca.

Triturado

La yuca sin almidón superficial fue triturada para aumentar la transferencia de calor y favorecer su deshidratación. Este proceso tuvo como objetivo reducir el tamaño de los trozos de yuca y obtener una pasta. Posteriormente, dicha pasta fue hidratada y filtrada, logrando así una forma más adecuada para su secado y permitiendo debido a su consistencia y forma una mejor extracción del almidón interno de la pasta, con objeto de evitar que la pasta se gelatinice.

Filtrado y desalmidonado

Con la yuca triturada o pasta de yuca se obtuvo un líquido el cual es en parte humedad y almidón modificado, esta mezcla se hidrata con el fin de romper parcialmente la red del almidón y posteriormente filtrarla comuna manta de punto de algodón, a presión con el fin de retirar la máxima cantidad almidón presente en la pasta y acortar tiempos de secado en el horno al retirar parcialmente humedad.

Secado

La pasta de yuca fue colocada homogéneamente en bandejas con el fin de que el secado se diese de manera uniforme, procurando que este film de yuca sea lo más delgado con el fin de que el tiempo de secado se reduzca, según Aristizábal se plantea como opción secados de tipo solar, esto podría presentar la desventaja de no tener un correcto control microbiológico, por lo tanto en la presente investigación se realizaron secados artificiales por medio de hornos de convección con el fin de evitar contaminaciones microbiológicas de algún tipo.

Molienda y tamizado

Se realizaron moliendas consecutivas en el molino de dientes con el fin de darle el grado de finura necesario a la harina de yuca, permitiendo tiempos de descanso debido que la fricción de la molienda retiraba más humedad de la pasta de yuca deshidratada. Debido al uso del molino de discos se logró un acabado más uniforme en las muestras de harina finales. Por definición la harina de yuca son trozos deshidratados de yuca molidos, según las clasificaciones del Codex para este alimento la harina fina que deberá de tener un diámetro de partícula mínimo para que el 90% de este pase por un tamiz de 0.60 mm, se obtuvo una harina fina con un diámetro de partícula menor a 0.41 mm.

Producto final y características

La harina de yuca fina que se obtuvo fue inocua, exenta de sabores u olores extraños, sin insectos vivos, sin ninguna impureza de origen animal incluidos insectos muertos, teniendo en cuenta que ninguno de los experimentos obtuvo un valor de humedad de la harina mayor del 13% indicado en el Codex Alimentarius con el fin evitar crecimiento microbiano o algún factor que altere significativamente la inocuidad del producto terminado.

4.5.3) Panificación

Luego de constatar las características de la harina obtenida, y que estos estuvieran dentro de los parámetros (CODEX STAN 176-1989) para su utilización, y realizada su comparación con la harina de trigo. Se establecieron con respecto a la bibliografía consultada (Aristizábal Galvis, 2004) valores para una mezcla homogénea harina trigo-yuca con los siguientes niveles de sustitución: 10, 20 y 30% de harina de yuca, y se procedió a realizar los productos de panificación.

4.5.4) Elaboración del pan

Esta lista de ingredientes o componentes resulto de la adaptación de la fórmula de pan de yuca realizada por Eggleston en 1992 eliminando algunos elementos como huevos y Goma Xanthan (esto debido a que se usaron como estabilizadores para mezclas 100% harina de yuca, y estos servían como estabilizadores para la retención del gas en dicha mezcla) y la formulación realizada por Aristizábal en 2004 con tres tipos diferentes de pan y sustituciones de harina de yuca del 5, 10 y 15 %, adaptando esta metodología al paladar nicaragüense.

Tabla 12.Formula básica de pan de harina de trigo- yuca:

Formulaciones básicas para pan de trigo - yuca			
	Eggleston	Aristizábal	Adaptación
Componentes	Cantidad (%)	Cantidad (%)	Cantidad (%)
Harina de trigo	-	85 -100	70 -100
Harina de yuca	100	5 - 15	10 - 30
Harina de soya tostada	7.0	-	-
Margarina / Manteca	3.5	12.0	18.6
Levadura seca	1.7	4.0	1
Azúcar	2.1	12.0	1.2
Sal	1.7	2.0	0.5

Agua	38.7	50 - 60	23.2
Huevo batido	16.9	-	-
Goma Xanthan	0.3	-	-

Fuente: Eggleston, 1992 y Aristizábal, 2004

Se realizó como primer paso de la elaboración del pan el pesado de todos los componentes del pan por separado, para proceder al mezclado de todos ingredientes en polvo y sólidos, para posteriori agregar el agua caliente directo a la mezcla con el fin de hidratarla y activar a la levadura, se procedió a realizar un amasado inicial de manera manual para la correcta integración de los ingredientes y seguido a esto un amasado de manera automatizada con un amasador (por un periodo aproximado de 10 a 15 minutos), con el fin de obtener homogeneidad en las muestras de pan.

Una vez que la masa poseía suficiente elasticidad demostrando que iniciaba de manera correcta la producción del gluten, se dejó fermentar por un periodo de una hora, hasta que esta doblo su tamaño, se realizó el cortado y boleado de las muestras en forma de bollos redondos, debido al proceso de cortado y boleado las muestras perdieron volumen por lo tanto fue necesario un segundo reposo de media hora con el fin de recuperar volumen y permitir que la miga se airease y asegurar suavidad en el pan.

Para finalmente ser colocados sobre bandejas previamente engrasadas las cuales entraron al horno precalentado a 200 °C (esto con el fin de que el calor de horno fuese uniforme y la cocción se diera de manera correcta en todas las partes de la bandeja). Teniendo un tiempo de cocción de 15 minutos por batch de pan.

Las muestras fueron retiradas del horno en el momento en que se realizó en una punción en uno de los bordes para asegurar que internamente se hubiese cocido la miga, al mismo tiempo se revisó que las muestras tuviesen un cambio de coloración más oscuro en la superficie o corteza del pan tuviese una coloración dorada. Las muestras se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se cortaron una vez frías para la degustación de los participantes.

4.6) Diseño experimental

4.6.1) Diseño factorial de 2^k

Los diseños factoriales completos se dan en casos en que los números de factores a estudiarse varían entre dos y cinco, lo cual permite un tamaño de rango de entre 4 a 32 tratamientos o experimentos, teniendo en cuenta que los factores serían el cambio observado en la variable respuesta debido a una variación o cambio en el nivel del factor, teniendo también el efecto principal de un factor con 2 niveles de diferencia entre la respuesta media observada cuando dicho factor se encuentra en su nivel alto con la diferencia de este mismo factor cuando se encontró en su nivel bajo, teniendo en cuenta que las interacciones de 2 o más factores (k) afectará de manera significativa la variable respuesta.

4.6.2) Diseño factorial de 2^3

En este diseño experimental se tomarán los factores A, B y C como causales directos de nuestra variable respuesta, permitiendo el arreglo de $2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8$ tratamientos u experimentos, lo cual indica que fueron 3 factores con 2 niveles cada uno, obteniendo como resultado la siguiente tabla indicará los factores con sus notación de Yates y sus signos, teniendo en cuenta que (-1) sería el valor del factor correspondiente está en su nivel bajo y (1) cuando el valor de factor correspondiente está en su nivel alto:

Tabla 13. Tabla del diseño de experimentos para 2^3 , con notación de Yates y signos

Prueba	Factor A	Factor B	Factor C	Notación de Yates
1	-1	-1	-1	(-1)
2	1	-1	-1	a
3	-1	1	-1	b
4	1	1	-1	ab

5	-1	-1	1	c
6	1	-1	1	ac
7	-1	1	1	bc
8	1	1	1	abc

Fuente: Montgomery, 2004 y Gutiérrez Pulido, 2008

4.6.3) Diseño factorial para esta investigación

Se realizó un diseño experimental de tipo 2^3 , se determinaron como valores importantes en la producción de harina de yuca como factor A la variedad de yuca, en el caso de la presente fueron 2 variedades siendo las variedades INTA Perla e INTA Dorada, así mismo como factor B la temperatura de trabajo la cual es la temperatura de secado en la cual se realizó el secado de la pasta de yuca o trozos de yuca que salen del molino, se considera también como último factor o factor C el tiempo de secado de la pasta, dichos factores fueron explicados a continuación junto con sus niveles altos y bajos, para la modelación:

Tabla 14.Factor A

Factor A: Variedades	Notación de yates
Dorada	a
Perla	(-1)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 15.Factor B

- Temperatura de secado en intervalo: $60\text{ }^{\circ}\text{C} - 64\text{ }^{\circ}\text{C} \leq k \leq 65\text{ }^{\circ}\text{C} - 70\text{ }^{\circ}\text{C}$

Factor B: Temperatura (°C)				Notación de Yates
Temperatura alta:	65.0 °C	-	70.0 °C	b
Temperatura baja:	60.0 °C	-	64.0 °C	(-1)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 16. Factor C

- Tiempo de secado en intervalo $3 - 7 \text{ hrs} \leq k \leq 8 - 15 \text{ hrs}$

Factor C: Tiempo de secado de la harina de yuca (hrs)				Notación de Yates
Tiempo alto:	8.0	-	15	c
Tiempo bajo:	3	-	7	(-1)

Fuente: Elaboración propia

Variables respuestas:

- Gramos de harina obtenida
- Humedad de la harina $< 13.0 \%$
- Redimiento de producción de harina $> 24.5 \%$

Tomando en cuenta que las variables respuesta fueron: los gramos de harina obtenidos, el nivel de humedad que presento la harina, que debe de tener un valor máximo de 13.0 % esto en razón para reducir el crecimiento microbiano o bacteriano en la harina y su correcta preservación, simultáneamente se debe de medir el rendimiento de producción de ambas variedades a distintos tiempos y temperaturas de secado con el fin de medir condiciones de secado, tiempo del mismo y obtener un rendimiento alto. Siendo la variable respuesta más importante para la modelación los gramos de harina obtenida, y la humedad de harina y rendimiento como parámetros a tomar en cuenta en la selección de los puntos más altos de la obtención de harina.

Dándonos como resultado la siguiente matriz para los 8 experimentos, teniendo en cuenta 2 réplicas por experimento:

Tabla 17. Definición de unidad experimental con los niveles por cada tratamiento

Experimento	Condiciones			Notación de Yates
1	Variedad	Perla		(-1)
	Temperatura (°C)	60 - 64	(Temp. Baja)	
	Tiempo (hrs)	3 - 7	(Tiempo bajo)	
2	Variedad	Dorada		a
	Temperatura (°C)	60 - 64	(Temp. Baja)	
	Tiempo (hrs)	3 - 7	(Tiempo bajo)	
3	Variedad	Perla		b
	Temperatura (°C)	65 - 70	(Temp. Alta)	
	Tiempo (hrs)	3 - 7	(Tiempo bajo)	
4	Variedad	Dorada		ab
	Temperatura (°C)	65 - 70	(Temp. Alta)	
	Tiempo (hrs)	3 - 7	(Tiempo bajo)	
5	Variedad	Perla		c
	Temperatura (°C)	60 - 64	(Temp. Baja)	
	Tiempo (hrs)	8 - 15	(Tiempo alto)	
6	Variedad	Dorada		ac
	Temperatura (°C)	60 - 64	(Temp. Baja)	
	Tiempo (hrs)	8 - 15	(Tiempo alto)	
7	Variedad	Perla		bc
	Temperatura (°C)	65 - 70	(Temp. Alta)	
	Tiempo (hrs)	8 - 15	(Tiempo alto)	
8	Variedad	Dorada		abc
	Temperatura (°C)	65 - 70	(Temp. Alta)	
	Tiempo (hrs)	8 - 15	(Tiempo alto)	

Fuente: Elaboración propia

4.6.4) Modelo matemático e HipótesisModelo estadístico lineal (diseño trifactorial 2³)

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

En donde y es la respuesta μ es el parámetro común a todos los tratamientos denominado media global donde τ es el efecto del primer factor, β es el efecto del segundo factor, γ es el efecto del tercer factor, $(\tau\beta)_{ij}$ efecto del primer factor y segundo

factor, $(\tau\gamma)_{ik}$ efecto del primer factor y tercer factor, $(\beta\gamma)_{jk}$ efecto del segundo factor y tercer factor, $(\tau\beta\gamma)_{ijk}$ efecto de la interacción de los 3 factores y ε_{ijkl} es la componente aleatoria del error

Hipótesis:

Hipótesis nula (H_0) $(\tau\beta\gamma)_{ijk} = 0$ vs. Hipótesis alterna (H_A): $(\tau\beta\gamma)_{ijk} \neq 0$ (No hay efecto de interacción significativo de ninguno de los factores vs si hay efecto de interacción significativo de los factores: variedad de muestra (A), temperatura de secado (B) y tiempo de secado (C), con los gramos de obtención de harina de yuca de ambas variedades.

4.6.5) Aplicación de encuestas para medir el nivel de aceptabilidad del pan compuesto de harina de trigo y yuca

$$n = \frac{N Z_{\alpha/2}^2 p q}{(N - 1)e^2 + Z_{\alpha/2}^2 p q}$$

Donde:

n: el tamaño de la muestra

N: es el tamaño de la población

$Z_{\alpha/2}$: Es el valor obtenido por los niveles de confianza

p: es la proporción proporcional con la característica asociada

q: es la proporción proporcional que no posee la característica asociada

e: es el límite aceptable del error

Se uso como tamaño de la población el tamaño la cantidad de las personas que viven en Managua en el año 2022 (1.061 millones), con un valor de $Z_{\alpha/2}$ de 1.65 (90 % de confianza), cuando los valores de p y q se desconocen se asume un valor de 0.50 (o de 50% de probabilidad) se tomaron dichos valores para ambos, debido a que la suma de ambos debe de ser de 1 o (100%), y con valor de límite de error del 10 % (0.10).

Dando un valor de 68 panelistas (degustadores) no expertos seleccionados aleatoriamente quienes degustaran el pan realizado a partir de 3 mezclas generales que comprende 10, 20 y 30% de harina de yuca 20 para ambas variedades de yuca, teniendo en cuenta la harina que tenga una menor humedad y un mejor rendimiento de producción. Dentro de las propiedades a evaluarse se tomaron en cuenta: color, sabor, textura de la miga, aroma y aceptabilidad, el cuestionario dirigido a los consumidores se encuentra en el Anexo A, pagina 72.

V. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

5.1) Análisis de caracterización de materia prima

Caracterización de variedades INTA- Perla e INTA- Dorada:

En las siguientes tablas se ven reflejados los valores de los análisis que se realizaron por triplicado con el fin de obtener valores más exactos y el promedio para cada análisis, mostrando en la tabla 18 para la variedad INTA perla y 19 para la variedad INTA dorada.

Tabla 18. Tabla de caracterización de análisis de humedad, ceniza, pH, grasa, fibra y carbohidratos para la variedad INTA- Perla:

Variedad de yuca INTA-Perla					
Muestras	Humedad	Ceniza	pH	Grasa	Fibra y carbohidratos
1	65.07%	0.80%	6.51	0.05%	32.65%
2	65.20%	0.80%	6.56	0.04%	33.00%
3	65.00%	0.40%	6.48	0.03%	33.80%
Porcentaje promedio del análisis	65.09%	0.67%	6.52	0.04%	33.15%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Tabla de caracterización de análisis de humedad, ceniza, pH, grasa, fibra y carbohidratos para la variedad INTA- Dorada:

Variedad de yuca INTA-Dorada					
Muestras	Humedad	Ceniza	pH	Grasa	Fibra y carbohidratos
1	60.20%	0.80%	6.50	0.07%	37.50%
2	60.60%	0.80%	6.56	0.05%	38.15%
3	60.80%	0.40%	6.48	0.08%	38.05%

Porcentaje del análisis	promedio	60.53%	0.67%	6.51	0.07%	37.90%
--------------------------------	-----------------	---------------	--------------	-------------	--------------	---------------

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Tabla de consolidado de los promedios de análisis de variedades INTA-Dorada e INTA-Perla:

Tabla de consolidado de caracterización de variedades de yuca		
Análisis realizados	Dorada	Perla
Humedad	60.53%	65.09%
Ceniza	0.67%	0.67%
pH	6.50	6.52
Grasa	0.07%	0.04%
Fibra y carbohidratos	37.90%	33.15%

Fuente: Elaboración propia

Comparando la tabla 20 (consolidados de los análisis realizados) con la tabla 4 (valor nutricional de la yuca), se observaron valores variables en comparación al valor de referencia en cuanto al porcentaje de humedad siendo este un valor de 65.2 % el valor de referencia, siendo que la variedad INTA-Dorada posee un 5 % menos de humedad que el valor de referencia.

Realizando un análisis preliminar entre ambas variedades que indicó que la variedad INTA dorada tiene una menor cantidad de humedad resaltando una idoneidad potencial para el secado, con la capacidad de reducir costos operacionales asociados a los tiempos de secado y lograr a nivel industrial un sistema más eficiente y rentable, lo cual lograría hacer que el producto fuese más accesible

La variedad INTA dorada excede en la cantidad de fibra y carbohidratos a los valores de referencia (Carbohidratos totales 32.8 % y fibra 1.0%) con un 4.1 % de aumento para esta variedad y una disminución de este parámetro en la variedad INTA- Perla del valor

de referencia (33.8 %) de un 0.65 %, infiriendo que para futura industrialización de ambas variedades de yuca en la producción de almidón y harina una ventaja, ya que un mayor contenido de carbohidratos generalmente se traduce en un mayor rendimiento.

En las tablas citadas anteriormente (20 y 4) se puede observar en el porcentaje de grasa tiene una muy marcada disminución en base al valor de referencia de 0.4% con los obtenidos que no superan el 0.1%, lo cual indica que en los clones estudiados (variedades INTA dorada y INTA perla) poseen un menor porcentaje de grasa comparado a la referenciada en la bibliografía.

5.2) Diseño de experimento para la obtención de harina

Los cálculos de análisis de varianza y los diagramas a analizarse, se realizaron por medio del programa de Minitab (Ver en anexo D, graficas en el programa) en base a la siguiente matriz de resultados, extraída de los datos obtenidos del proceso de creación de la harina. Se realizaron 2 réplicas por cada experimento.

5.2.1) Matriz de resultados

Tabla 21. Matriz de resultados

Matriz de resultados							
N.º de experimento	Temperatura (°C)	Tiempo de secado (hrs)	Harina obtenida (g)	Replica 2 (g)	Replica 3 (g)	Humedad Promedio (%)	Rendimiento Promedio (%)
1	64	4	88.10	86.50	85.50	6.05%	10.37%
2	64	7	96.40	94.00	85.40	8.11%	10.54%
3	65	7	115.60	116.00	115.50	7.39%	13.54%
4	70	4	129.70	122.50	124.10	12.79%	14.49%
5	63	12	152.50	154.50	155.50	4.99%	18.32%
6	63	8	104.80	102.00	104.50	6.07%	13.12%
7	70	14	107.00	106.00	107.50	8.04%	13.94%
8	70	14	129.50	128.50	128.50	5.66%	15.85%

Fuente: Elaboración propia

5.2.2) Análisis de Varianza ANOVA

Tabla 22. Análisis de Varianza ANOVA.

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	10065.2	1437.89	208.58	0.000
Lineal	3	2719.0	906.32	131.47	0.000
A	1	67.7	67.67	9.82	0.006
B	1	607.0	607.02	88.05	0.000
C	1	2044.3	2044.26	296.54	0.000
Interacciones de 2 términos	3	5617.4	1872.46	271.62	0.000
A*B	1	2217.6	2217.60	321.68	0.000
A*C	1	705.3	705.25	102.30	0.000
B*C	1	2694.5	2694.52	390.86	0.000
Interacciones de 3 términos	1	1728.9	1728.90	250.79	0.000
A*B*C	1	1728.9	1728.90	250.79	0.000
Error	16	110.3	6.89	-	-
Total	23	10175.5	-	-	-

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Modelo de regresión basado en la tabla ANOVA en unidades no codificadas

Gramos de harina	=	114.171 - 1.679 A + 5.029 B + 9.229 C + 9.613 A*B - 5.421 A*C - 10.596 B*C + 8.487 A*B*C
-------------------------	---	--

Fuente: Elaboración propia

Donde A: Variedad de la muestra, B: Temperatura de secado y C: tiempo de secado.

Tabla 24. Coeficiente de terminación para la ecuación de regresión

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
2.62560	98.92%	98.44%	97.56%

Fuente: Elaboración propia

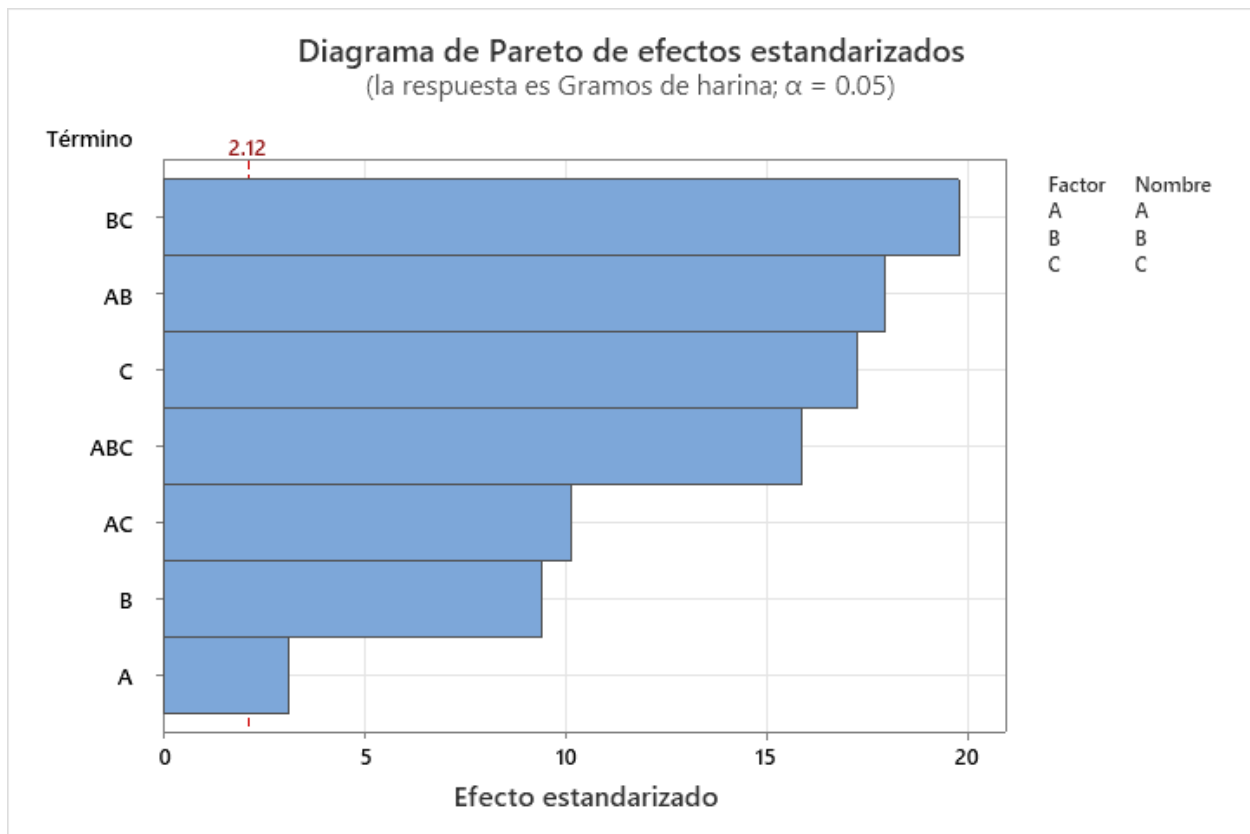
5.2.3) Comprobación de las hipótesis

Se rechaza la hipótesis nula $(\tau\beta\gamma)_{ijk} = 0$ al ser (P-Value) menor que 0.05 para todos los valores si hay efecto de interacción significativo de los factores: variedad de muestra (A), temperatura de secado (B) y tiempo de secado (C), con los gramos de obtención de harina de yuca de ambas variedades.

5.2.4) Análisis del diagrama de Pareto

Se realiza el diagrama de Pareto con el fin medir de manera las precisa los efectos de los factores en la variable respuesta y medir cuales de estos causan interacciones más significativas al sistema.

Figura 2.Diagrama de Pareto



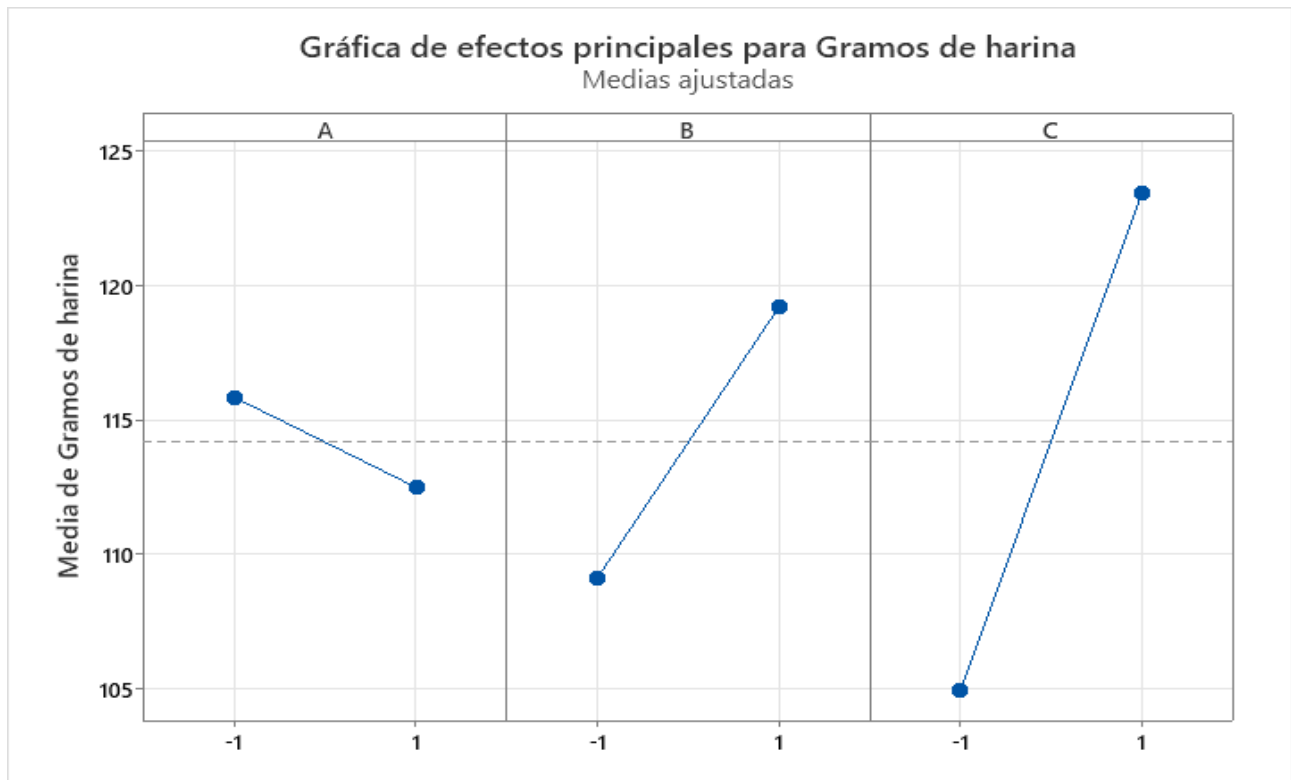
Fuente: Elaboración propia

Se identifica por el diagrama de Pareto que las interacciones entre los factores temperatura y el tiempo de secado son los más significativos en la obtención de harina de yuca en ambas variedades, seguidos por la interacción entre las variables de estudio y las temperaturas de secado, junto con el tiempo de secado y la interacción entre la variedad de la muestra – temperatura de secado – tiempo de secado.

5.2.5) Efectos principales de los factores

Se realiza la gráfica de efectos principales de los factores con el fin de saber si los efectos de dichos factores son positivos o negativos en el sistema, dependiendo de la inclinación de dicho gráfico.

Figura 3. Gráfica de efectos principales de los factores A, B y C



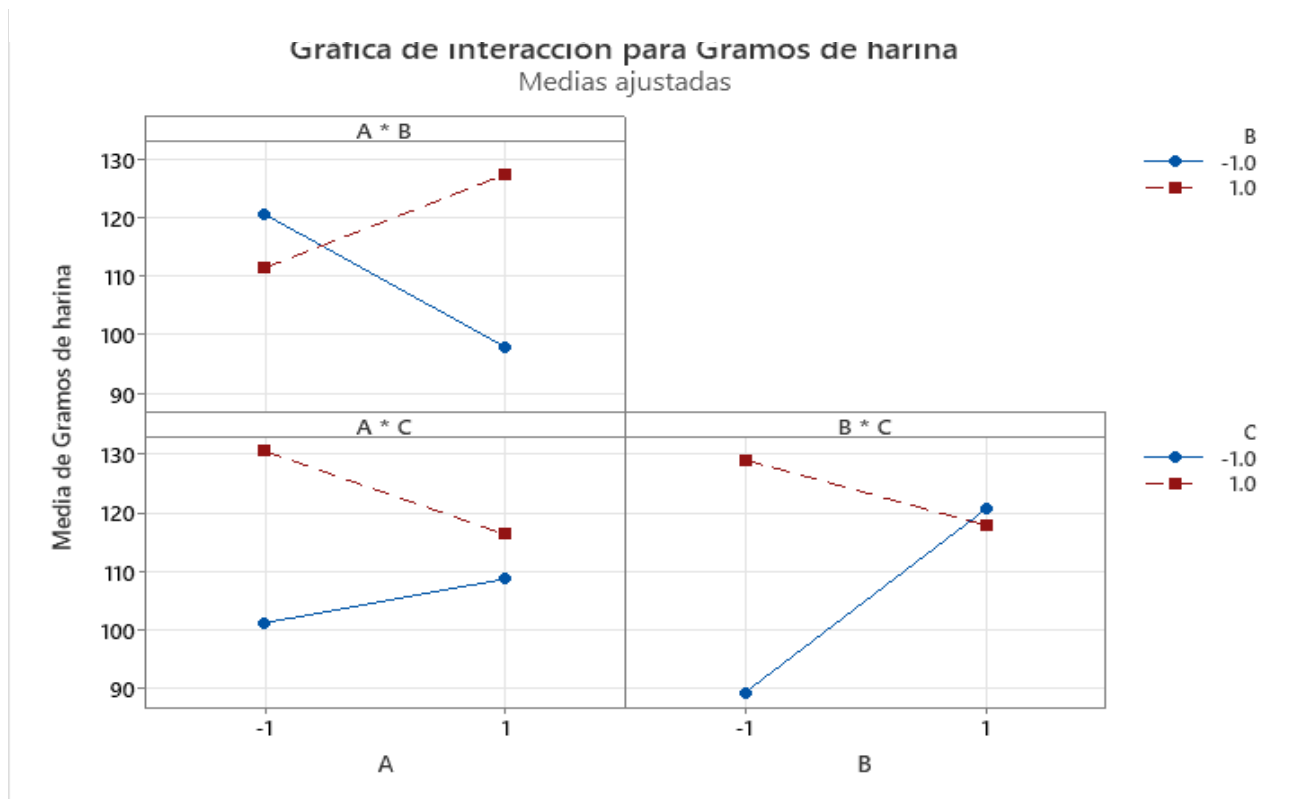
Fuente: Elaboración propia

Para el factor A: Variedades de las muestras se observa un efecto negativo sobre el diseño factorial, teniendo en cuenta esto se puede decir que se obtienen mejores resultados cuando este factor es bajo, por lo tanto, se obtienen más gramos de harina cuando se usa la variedad INTA-Perla (-1). En el caso del factor B: se observa un efecto positivo en la cantidad de gramos de harina obtenidos cuando la temperatura de secado es alta y para el factor C se analiza un efecto positivo mayor en el tiempo de secado alto en cuanto a la obtención de harina de yuca.

5.2.6) Interacción para los gramos de harina obtenidos (medias ajustadas)

Se realiza la gráfica de interacción para los gramos de harina obtenidos de con el fin de saber cuál de las combinaciones de los factores tienen un efecto más significativo en el sistema, dependiendo de la inclinación de dicho gráfico.

Figura 4. Grafica de efectos principales de los factores A, B y C.



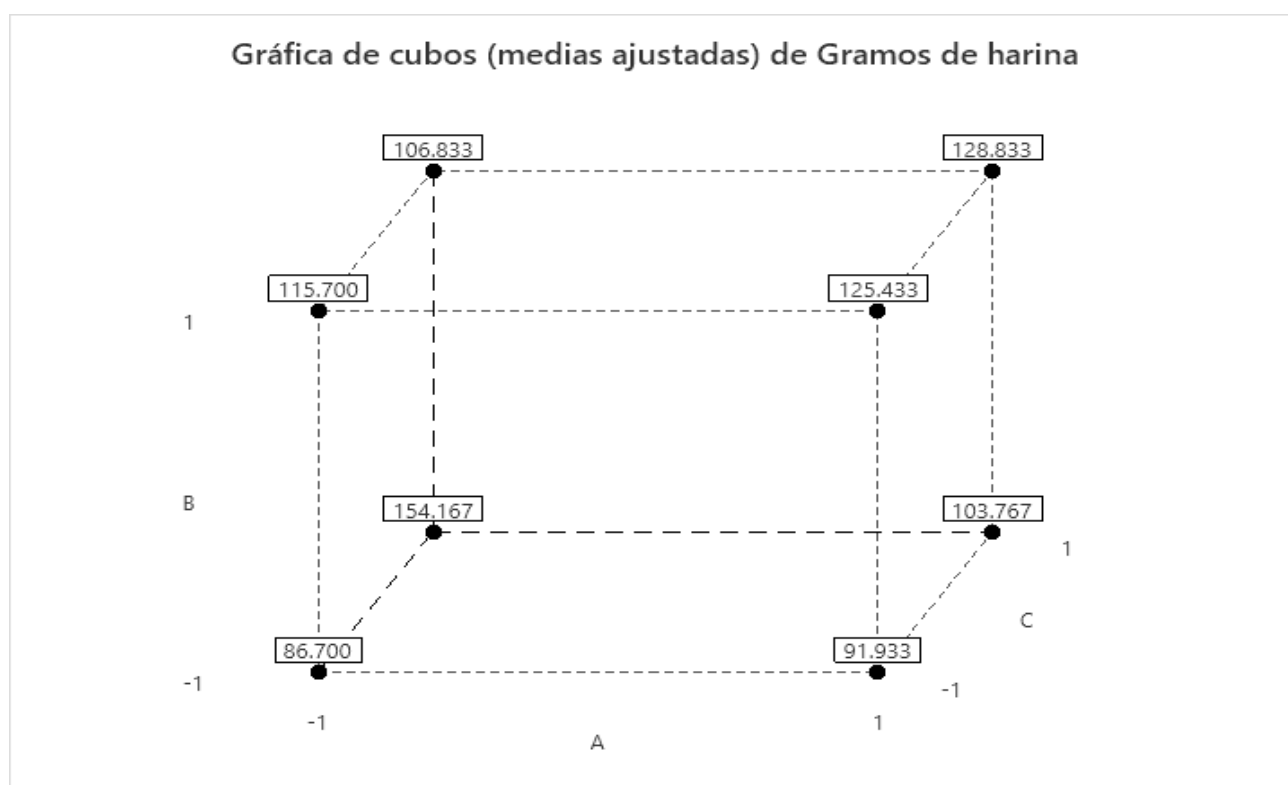
Fuente: Elaboración propia

Se observa que todos los factores A, B y C tienen efectos sobre la obtención de harina de yuca, tomando en cuenta que las interacciones que tienen una mayor influencia son la interacción entre los factores B y C siendo estas la temperatura de secado y tiempo de secado, al mismo tiempo se observa una influencia significativa entre los factores A y B, siendo estos la variedad de las muestras y la temperatura de secado.

5.2.7) Análisis de grafica de cubo de medias ajustadas

Al realizar la gráfica de cubo de medias ajustadas para los gramos de harina obtenidos se verifica cuál de las combinaciones de los tres factores tienen un efecto más significativo en la obtención de harina de yuca, con las combinaciones de altos y bajos por cada factor, representando en cada vértice del cubo la media de los valores y facilitar el análisis de los puntos con mayor obtención de harina.

Figura 5. Grafica de cubo de medias ajustadas.



Fuente: Elaboración propia

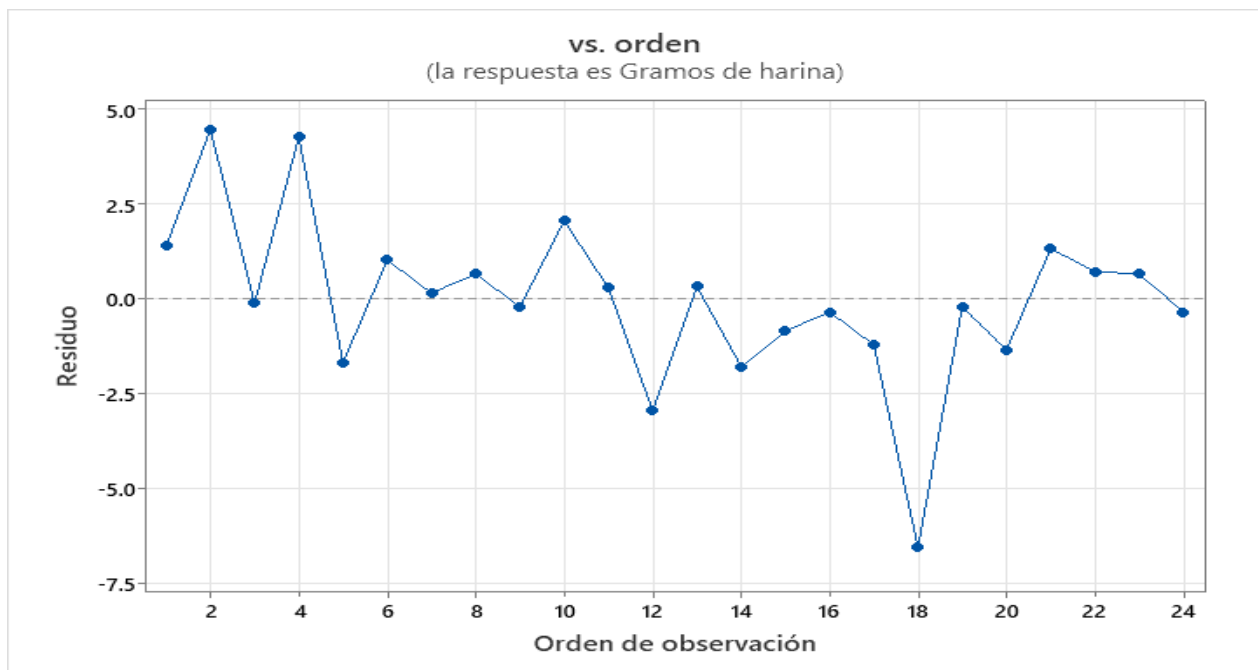
En la gráfica de cubo el valor máximo para la obtención de harina de yuca se obtiene en cuando el factor A es bajo, el factor B bajo, y el factor C alto, siendo entonces la máxima obtención de harina se da cuando se usa la variedad INTA-Perla a una temperatura baja (63 °C) y con tiempo de secado alto (12 horas).

Al mismo tiempo se observa que el segundo punto para mayor obtención de harina será cuando el factor A es alto, el factor B es alto y el factor C es alto, por lo tanto, el segundo punto máximo de obtención de harina se dará con la Variedad INTA-Dorada a una temperatura alta (70°C) y un tiempo de secado alto (14 horas).

5.2.8) Dispersión de datos

Al haberse elaborado la gráfica de residuos versus orden con el objetivo de observar si hay una distribución normal de datos.

Figura 6. Gráfica de residuos versus orden



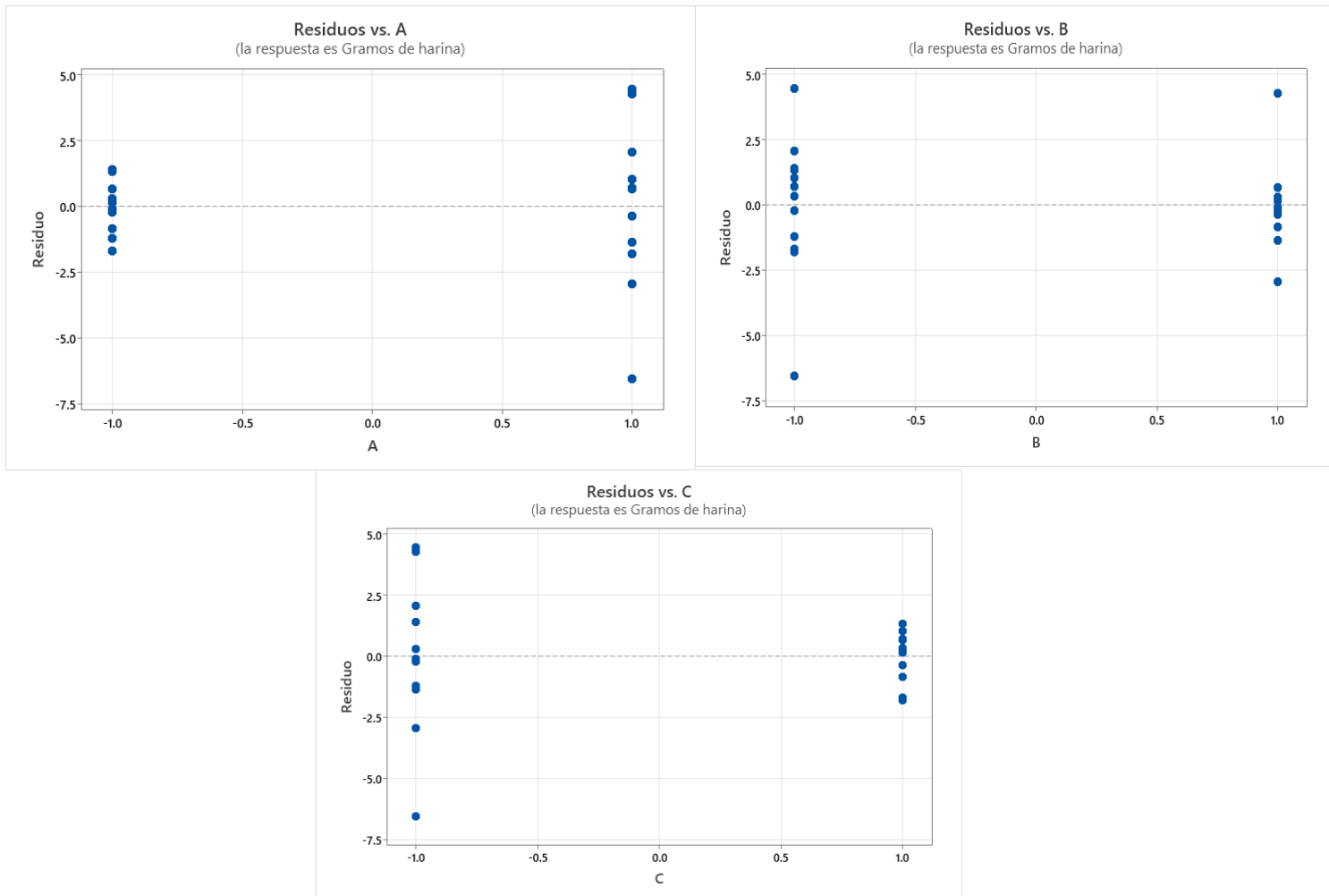
Fuente: Elaboración propia

Se analiza una dispersión normal de los datos por lo tanto se infiere que los residuos son independientes entre sí.

5.2.9) Residuos vs Factores A, B y C

Se realiza la gráfica de residuos versus factores con el objetivo de observar que cada factor tenga una varianza constante.

Figura 7. Gráficas de residuos versus factores A, B y C



Fuente: Elaboración propia

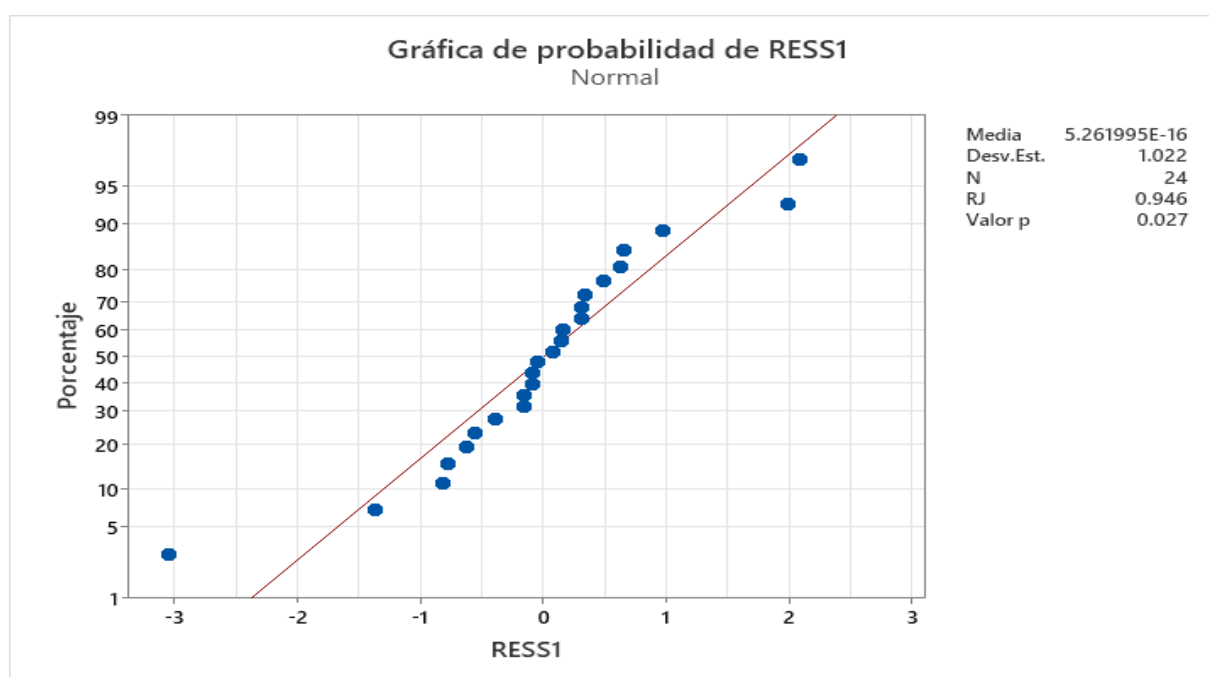
Se observa que para los tres factores A, B y C (Variedad de estudio, temperatura de secado y tiempo de secado) se tiene una varianza homogénea o constante en los tres

factores mencionados, ya que los puntos están alineados y no presentan ningún tipo de dispersión que se comporte de manera atípica.

5.2.10) Prueba Ryan – Jonier para la normalidad de los residuos

Se realiza la gráfica de normalidad de los residuos para constatar que los residuos siguen una distribución normal.

Figura 8. Gráfica de normalidad de los residuos



Fuente: Elaboración propia

Debido a que el valor RJ = 0.95 (Ryan – Jonier) es un valor cercano al valor de 1, se puede deducir que los residuos siguen una distribución normal

5.2.11) Caracterización de la harina de yuca.

Se realizaron análisis de los experimentos 5 y 8, los cuales fueron seleccionados como los más idóneos para la obtención de harinas de las variedades de estudio, debido a su mayor rendimiento, se realizó un muestreo de dichos experimentos con el fin de realizar una caracterización de las harinas elaboradas, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 25. Tabla de consolidado de los promedios de análisis de harinas variedades INTA-Dorada e INTA-Perla:

Tabla de consolidado de caracterización de harinas obtenidas		
Análisis	Variedades de yuca	
	Dorada	Perla
Humedad	5.66%	4.99%
Ceniza	1.11%	0.68%
pH	6.08	6.37
Grasa	0.13%	0.25%
Fibra y carbohidratos	93.10%	92.67%
Granulometría	Dp $\geq$ 0.41 mm	Dp $\geq$ 0.41 mm

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 23 se lleva a cabo un análisis de los valores de humedad en la harina de yuca. Estos valores son inferiores a los permitidos por el Codex, que establece un límite máximo del 13 % de humedad en el peso total del producto. Este cumplimiento no solo es satisfactorio, sino que, además, al presentar niveles de humedad iguales o inferiores al 10 %, se minimiza el riesgo de contaminación por bacterias o mohos, lo que facilita un manejo más seguro del producto.

Asimismo, la harina se encuentra por debajo del límite máximo permitido del 3.0 % de ceniza, y está compuesta principalmente por fibra y carbohidratos. Por último, el diámetro de partícula de la harina es inferior a 0.41 mm, lo que le permite clasificarse como harina fina, siendo este importante debido a que esta harina se usara en mezclas con harina de trigo por lo tanto era importante una correcta homogenización de los componentes solidos (polvo) para la creación de pan con dicha mezcla de harinas (yuca-trigo).

5.3) Elaboración de pan y galletas con sustituciones de harina de yuca

Con el fin de realizar la elaboración de pan de los distintos rubros se realizó el siguiente proceso: recepción de materiales, pesado y revisión de materia prima, mezcla de material en polvo con material sólido, para luego realizar un mezclado con agua tibia, proceder a amasar la muestra, para cortar la masa, bolearla de manera circular, para luego dejarla reposar en bandejas previamente engrasadas y enharinadas, para ser horneadas y enfriadas, para luego ser muestreadas y almacenadas. Se pesa cada una de las muestras siguiendo las siguientes proporciones:

Tabla 26. Componentes de las muestras de pan:

Componentes	Peso
<i>Harina de trigo</i>	317.8.- 408.4 g
<i>Harina de yuca</i>	45.4 -136.2 g
<i>Sal</i>	5 g
<i>Azúcar</i>	10 g
<i>Levadura</i>	8 g
<i>Manteca</i>	156 g
<i>Agua</i>	195 ml – 210 ml

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Componentes de las muestras de galletas

Componentes	Peso
<i>Harina de trigo</i>	317.8.- 408.4 g
<i>Harina de yuca</i>	45.4 -136.2 g
<i>Sal</i>	5 g
<i>Azúcar</i>	200 g
<i>Polvo de hornear</i>	5 g
<i>Manteca</i>	172 g
<i>Leche en polvo</i>	44 g
<i>Agua</i>	200 ml

Fuente: Elaboración propia

Para las muestras se dieron las siguientes proporciones de sustitución de harina de trigo con harina de yuca:

Tabla 28. Sustituciones de las muestras de pan y galleta

Numero de Muestra	Porcentaje de sustitución de harina de yuca y valor en gramos por muestra	
	Pan	Galletas
1	30 % (136.2 g)	30 % (136.2 g)
2	20 % (90.8 g)	20 % (90.8 g)
3	10 % (45.4 g)	10 % (45.4 g)

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el mezclado por muestra en distintos recipientes se inició mezclando de material en polvo con material sólido, esto incluyó las harinas, con el azúcar, la manteca, levadura/ polvo de hornear, sal, para luego calentar agua (esto con el fin de activar la levadura seca) e incorporarla a la mezcla de 50 ml en 50 ml agregando la siguiente cantidad de agua por cada muestra.

Tabla 29. Cantidad de mililitros incorporados en la mezcla de pan

Numero de muestra	Cantidad de agua tibia incorporada (ml)
1	195.0
2	200.0
3	210.0

Fuente: Elaboración propia

El mezclado inicialmente se hizo con cucharas con el fin de que la mezcla fuera homogénea, para luego proceder a realizarlo de manera manual. Este se dio sin problemas en las muestras. Luego se realizó un amasado manual sobre todas las muestras para luego realizar un cortado y boleado de las mismas

Figura 9. Cortado y boleado de muestras



Fuente: Elaboración propia

Luego de esta operación las muestras fueron depositadas en bandejas previamente engrasada con el fin de realizar un reposo con el fin de dejar leudar el pan y hacer la fermentación de manera correcta.

Figura 10. Muestras en reposo



Fuente: Elaboración propia

Las muestras de pan después de un reposo de 120 minutos entraron a un horno precalentado a 150 °C por 15 minutos tiempo en el que presentaron estar completamente cocidos, mientras que las muestras de galletas después del cortado entraron directamente al horno, este tiempo se dio debido a que las muestras fueron pequeñas eso ayudó a que el calor se distribuyera de manera más uniforme.

Figura 11. Muestras salidas del horno enfriándose a temperatura ambiente (panes a la izquierda y galletas a la derecha):



Fuente: Elaboración propia

Con el fin diferenciar primariamente las muestras luego del enfriado se observó de la siguiente manera:

Figura 12. las muestras de pan cortadas para apreciar la miga



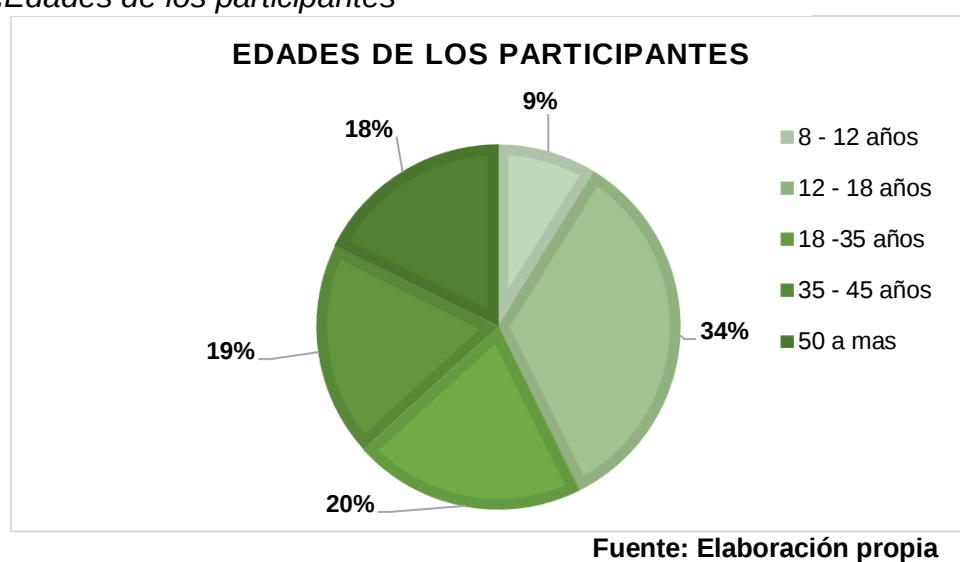
Fuente: Elaboración propia

5.4) Resultados de los niveles de aceptabilidad organoléptica

Edad de los participantes:

Se realizó una encuesta a 68 participantes de un grupo de no expertos cuyas edades habían oscilado entre los 8 años y 75 años con el fin de medir el nivel de aceptabilidad del pan presentado. Entre las principales edades se tenían las siguientes:

Figura 13.Edades de los participantes



Dentro de las encuestas (Anexo A, página 72) se midieron las siguientes propiedades organolépticas de las primeras 4 muestras: color, olor, sabor, textura de la miga y aceptabilidad, para las 6 muestras (3 de pan y 3 de galleta), junto con saber cuáles fueron las submuestras más gustadas y sugerencias para las submuestras.

Color de las muestras:

Como primer paso de las propiedades se les pidió a los participantes que calificaran las muestras, en que tan agradables les resultaban estas visualmente siendo la muestras 1 las 3 submuestras de pan, y la muestra 2 las 3 submuestras de galletas obteniendo los siguientes resultados:

Figura 14.Nivel de aceptación de color por muestras de pan

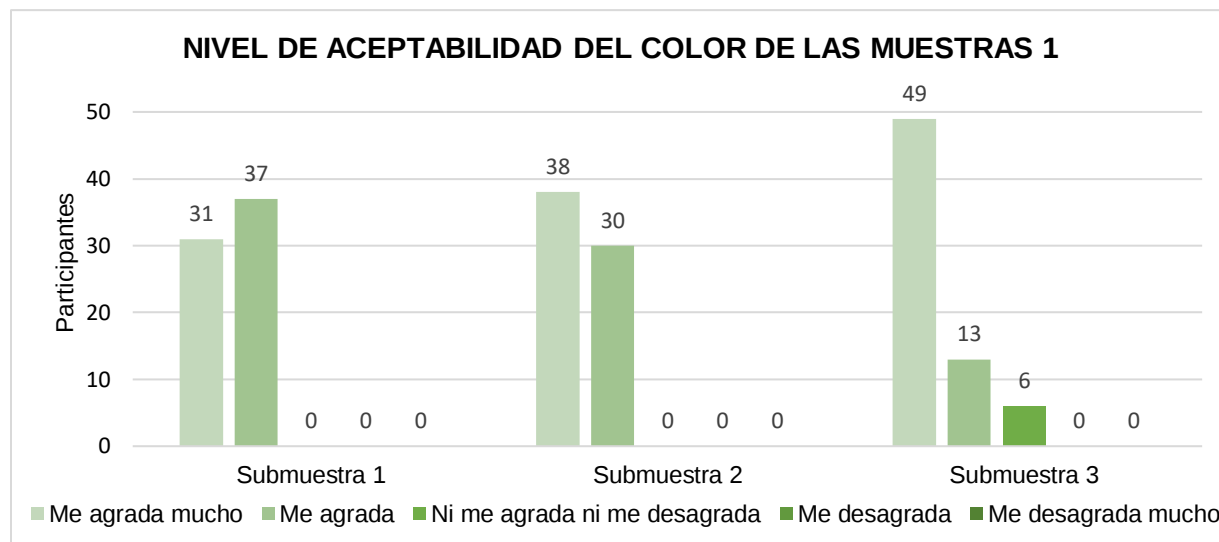
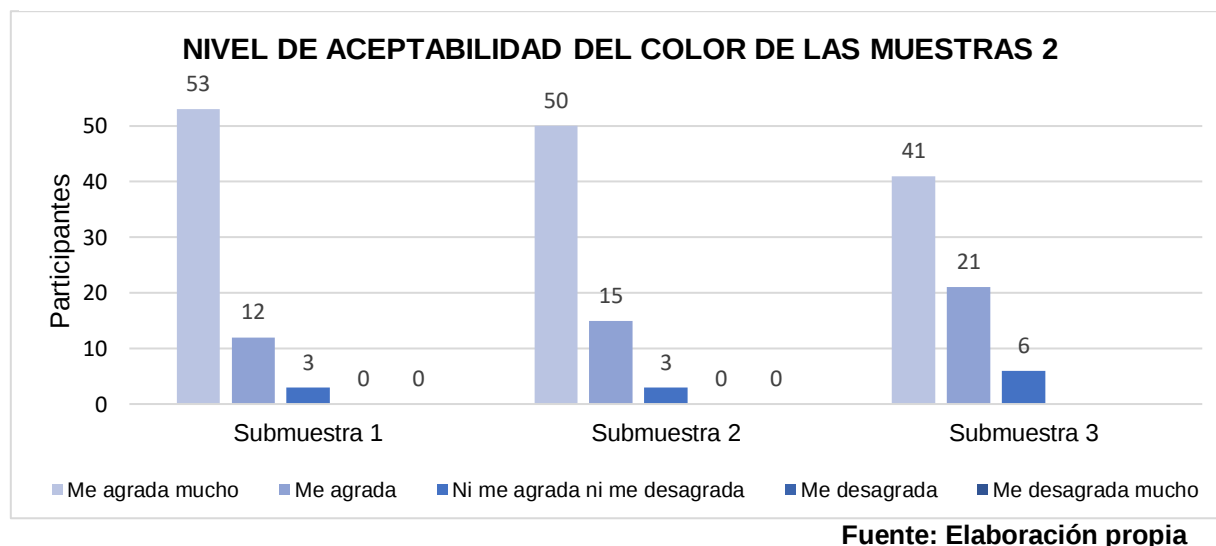


Figura 15.Nivel de aceptación de color por muestras de galleta



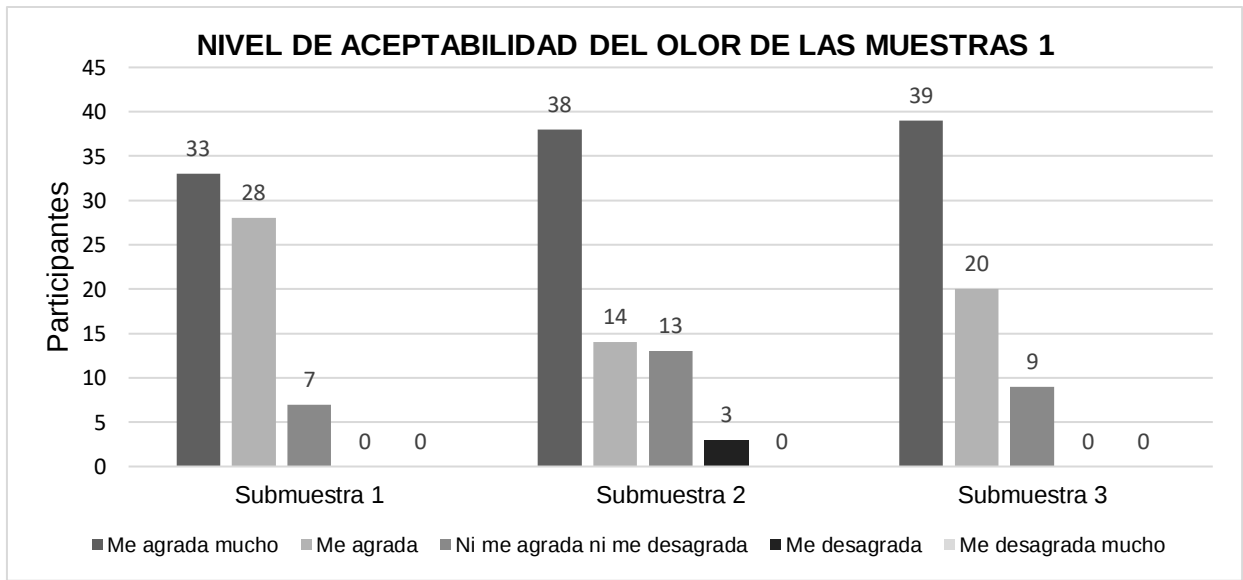
Las muestras no presentaban colores significativos simples a la vista debido a que las sustituciones en los niveles de harina eran bajos (10 – 30%) en el caso de las muestras 1, la submuestra 3 (10% de sustitución) fue la única que genero un ligero desagrado entre los participantes, siendo esta misma submuestra la más agradable visualmente para los participantes, los participantes indicaron no ver cambios significativos en el color de las muestras con el pan de mesa normal (100% de trigo).

Las muestras 2, son las submuestras de galletas y tuvieron niveles de aceptación óptimos en las 3 submuestras, siendo la submuestra 1 la que obtuvo mayor aceptabilidad en cuanto a su color, las muestras no presentaban cambio de color significativo, teniendo las 3 submuestras colores blanquecinos, con diferencias no relevantes en contraste de las galletas con 100% harina de trigo.

Olor presentado por las muestras

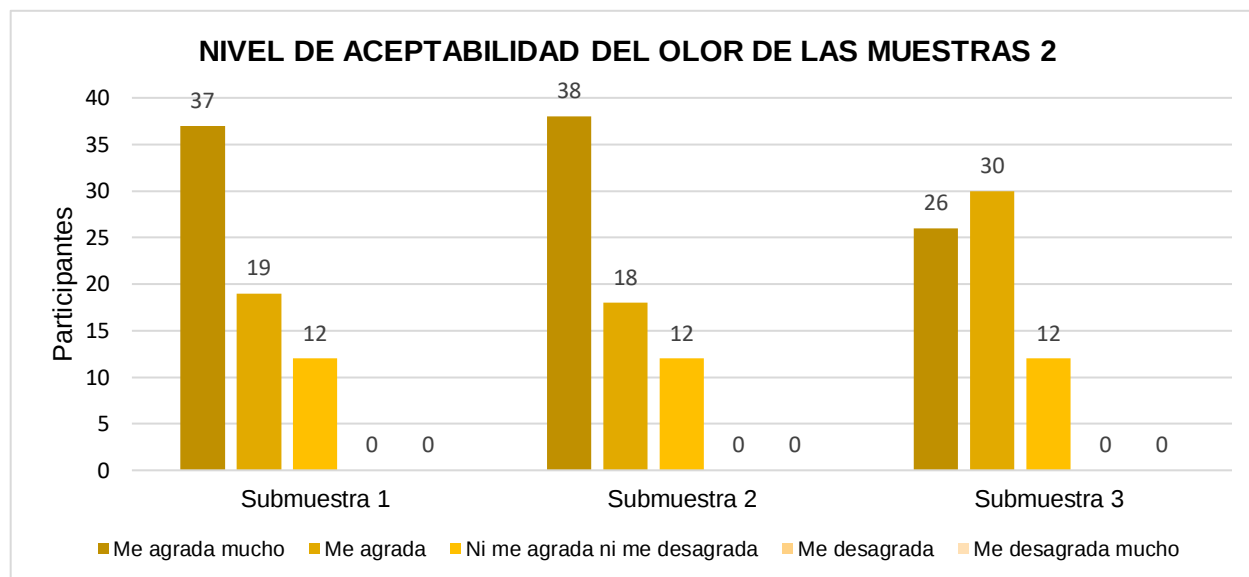
Debido a su intrínseca relación con el sabor de un alimento el olor es una de las características más importantes de cualquier alimento que sea para consumo humano, al mismo tiempo el aroma puede ser capaz de acentuar de manera significativa el sabor de un alimento y tener un antecedente a los sabores que fueron probados. A continuación, se podrá apreciar los valores de aceptación de olor de las muestras presentadas 1 y 2 (con sus 3 submuestras).

Figura 16.Nivel de aceptación de olor por muestras de pan



Fuente: Elaboración propia

Figura 17.Nivel de aceptación de olor por muestra de galleta



Fuente: Elaboración propia

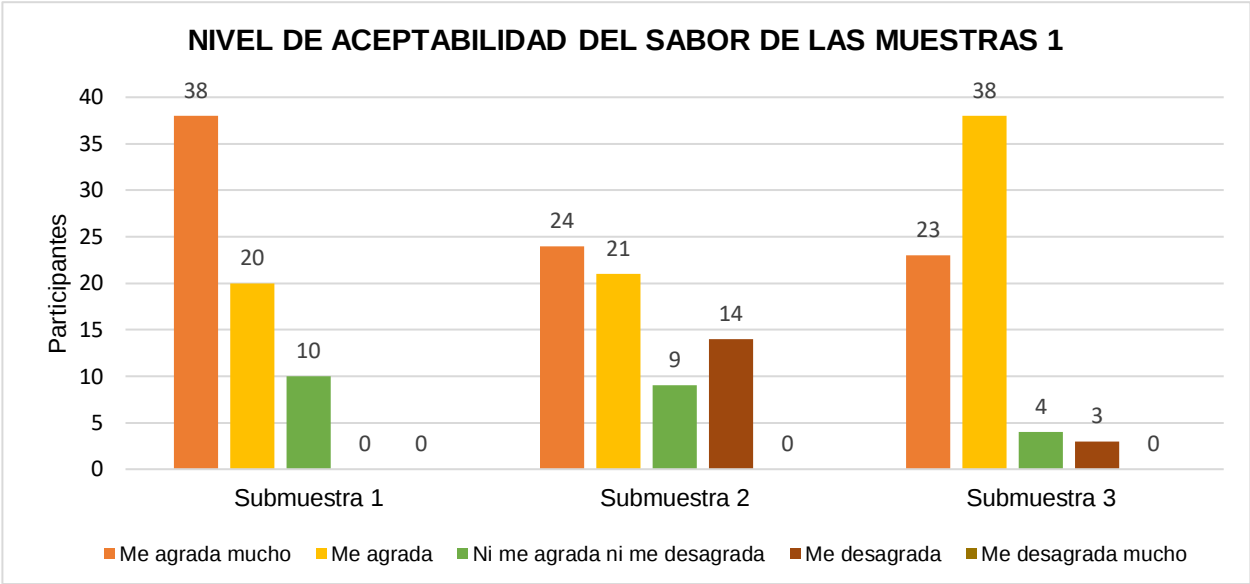
Para las muestras 1 (muestras de pan) se observa una mejor aceptación del olor en las submuestras 2 y 3 (10 y 20 % de sustitución), al mismo tiempo en la submuestra 3 (10%) los participantes indicaron que tenía un olor particular y preguntaron sobre la composición del pan.

En el caso de las muestras de galletas a la vez que las muestras pan tuvieron mejor aceptación del olor las submuestras 1 y 2, sustituciones de 30 y 20% respectivamente, indicando que las muestras contenían un olor dulce bastante agradable, resaltando la fragancia de las muestras como un factor bastante atractivo.

Sabor presentado por las muestras

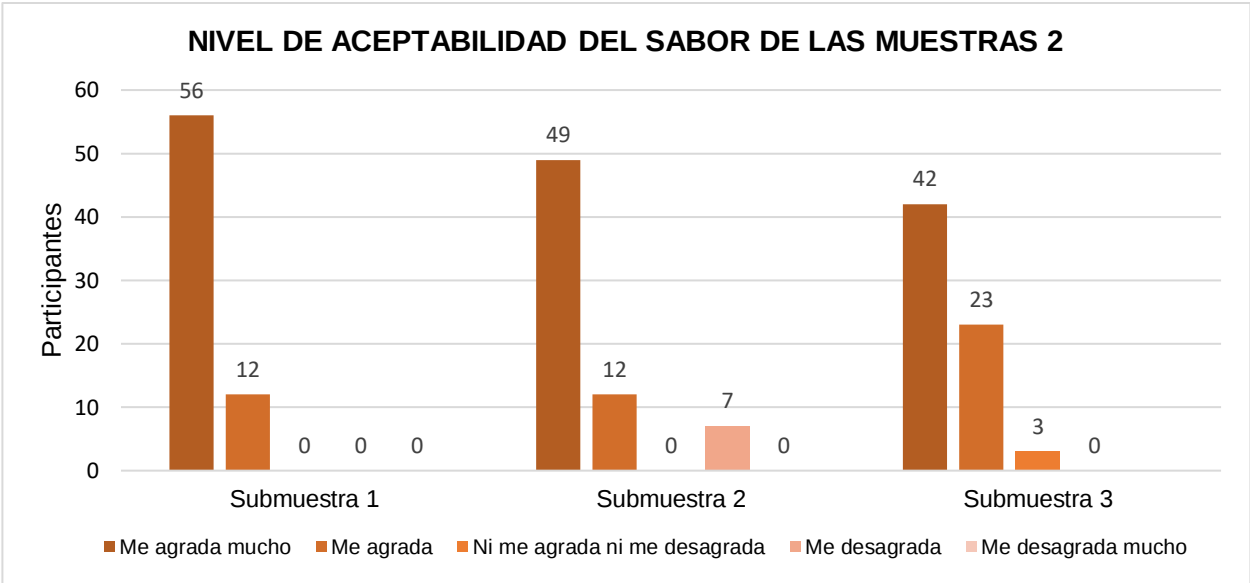
El sabor es el principal y más importante análisis sensorial debido a que este rige el consumo o desecho de ciertos alimentos, indicándonos la calidad de los mismos, proporcionándonos datos sobre su acidez, salinidad, dulzor, amargo o umami, permitiéndonos saber que sabores o ingredientes disminuir o aumentar con el fin de obtener una mejor aceptabilidad y consumo del producto.

Figura 18.Nivel de aceptabilidad de sabor por muestra de pan



Fuente: Elaboración propia

Figura 19.Nivel de aceptabilidad de sabor por muestra de galleta



Fuente: Elaboración propia

En las encuestas realizadas a los participantes sobre las muestras 1, se denota que la submuestra 1 fue la muestra que obtuvo una mayor aceptación en cuanto a su sabor,

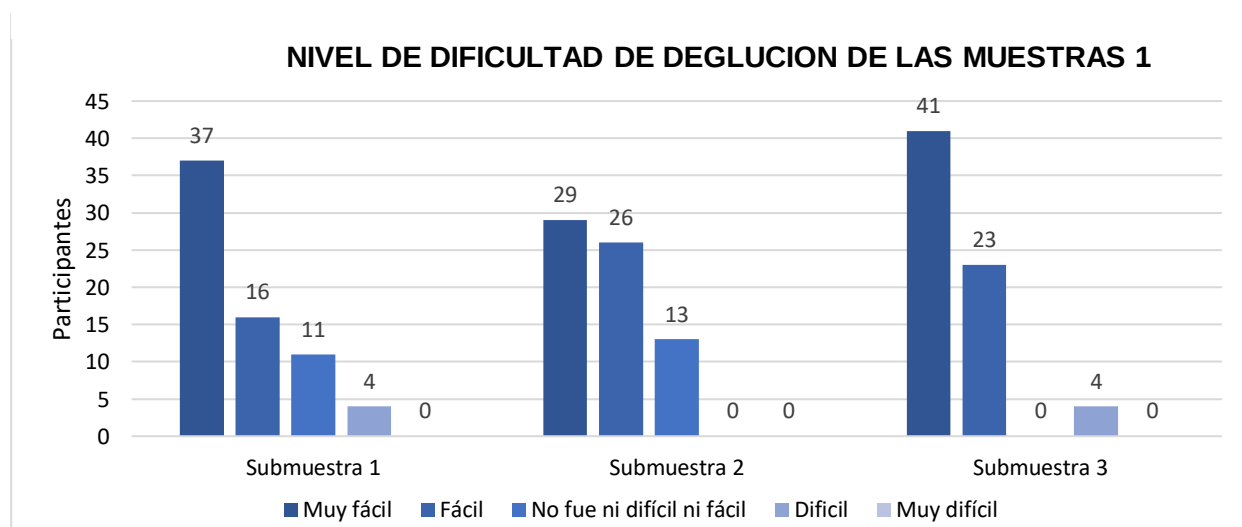
siendo la submuestra 2 la que obtuvo mayores críticas en cuanto al sabor, debido a que se indicó que se podía percibir un sabor distinto al de las otras submuestras.

En los datos recopilados en el estudio se puede inferir que en las muestras 2, la submuestras 1 fue la muestras que presento un mejor sabor para los participantes, siendo esta la muestra que contenía un 30 % de harina de yuca, no se indicó presencia de sabores indeseables, se indicó para esta submuestra una mayor cantidad de dulzura esto puede deberse a que al ser la submuestra con mayor cantidad de harina de yuca podía presentar mayor cantidad de almidón provocando una sensación de dulzura que sobresalía con respecto a las submuestras 2 y 3.

Textura de la miga

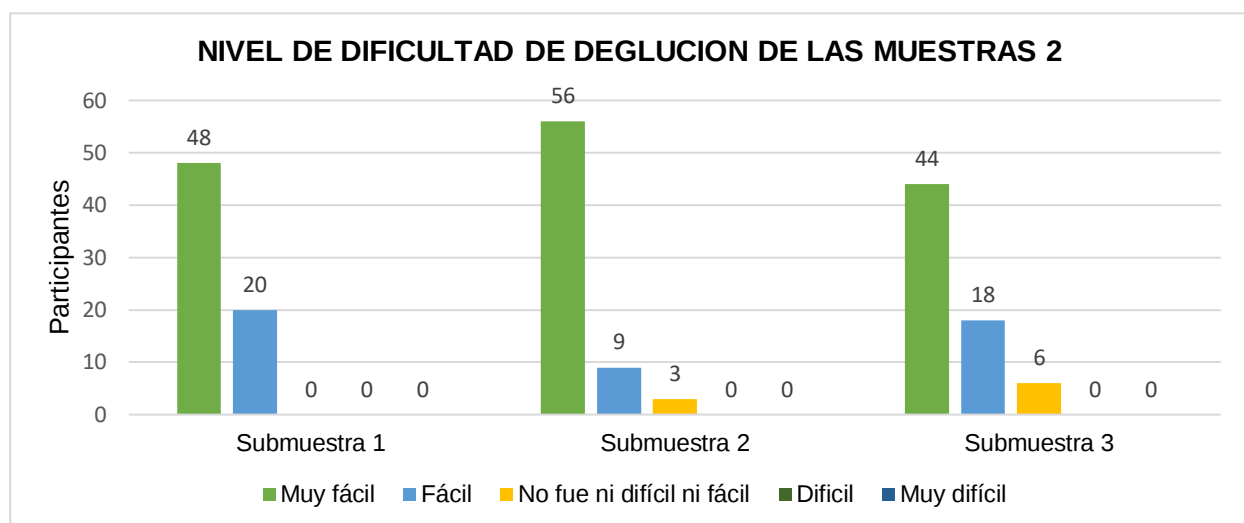
Esta característica sensorial es una de las más importantes para alimentos como el pan debido a que indican la dificultad o facilidad de masticar y tragar la muestra, la dificultad en la deglución no solo aumenta la posibilidad de que el consumidor tenga riesgo de asfixia y atragantamiento, añadiéndole una dificultad a la ingesta nutricional de los alimentos por medio de la digestión.

Figura 20.Dificultad para deglutir las muestras de pan



Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Dificultad para deglutir las muestras de galleta



Fuente: Elaboración propia

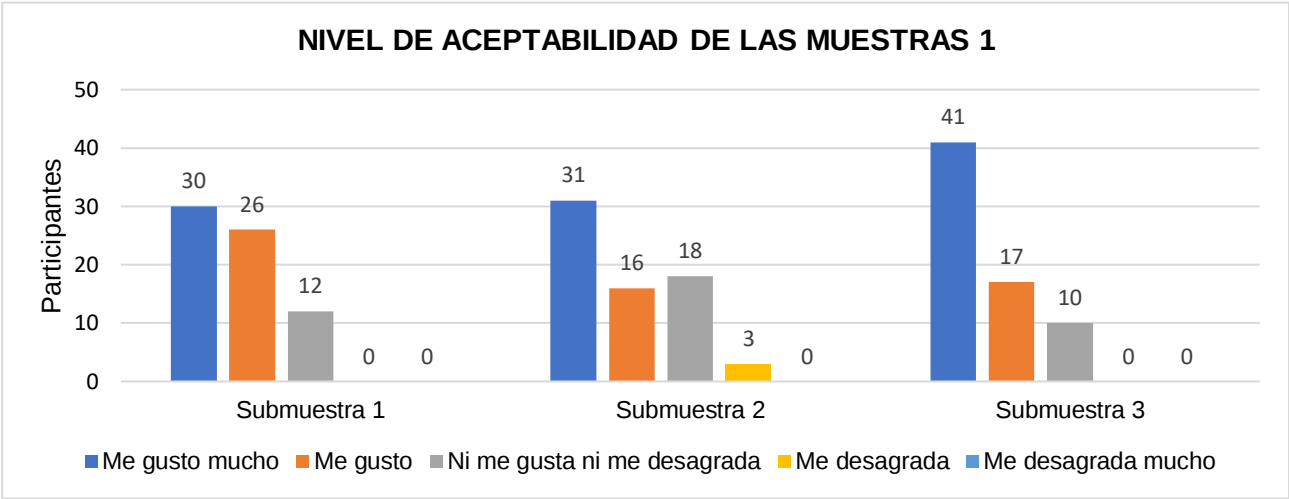
Los participantes indicaron para las muestras 1, que la submuestra 2 se presentó una dificultad más grande en el momento de deglutir lo cual dificulta la capacidad de tragar, esto debido que se indicó que la submuestra no conservo la cantidad de humedad necesaria para crear una miga suave, también se observó dureza en la submuestra, al mismo tiempo marcando una facilidad de masticación en las submuestras 1 y 3.

Para las muestras de galletas se observó una facilidad para deglutir la submuestra 2, la cual es la muestra con 20% de sustitución se indicó una mejor sensación en la boca, mientras que se indicó que la submuestra 3 presentaba más dureza, indicando que por su textura sería ideales para el primer tiempo (desayuno o merienda) de comida acompañado de bebidas calientes.

Aceptabilidad de las muestras

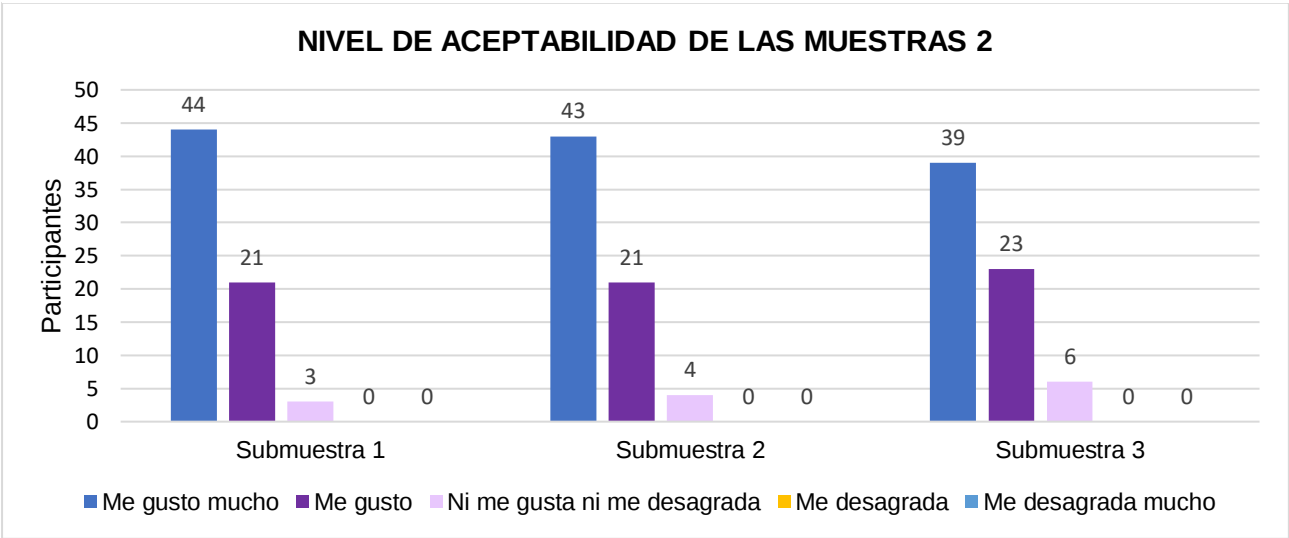
Es importante poder medir la capacidad aceptación de un producto teniendo en cuenta su posible inclusión en el mercado. Se les pidió a todos los intervinientes que indicaran el nivel de agrado o desagrado que sintieron hacia las muestras

Figura 22. Calificación de las muestras de pan



Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Calificación de las muestras de galleta



Fuente: Elaboración propia

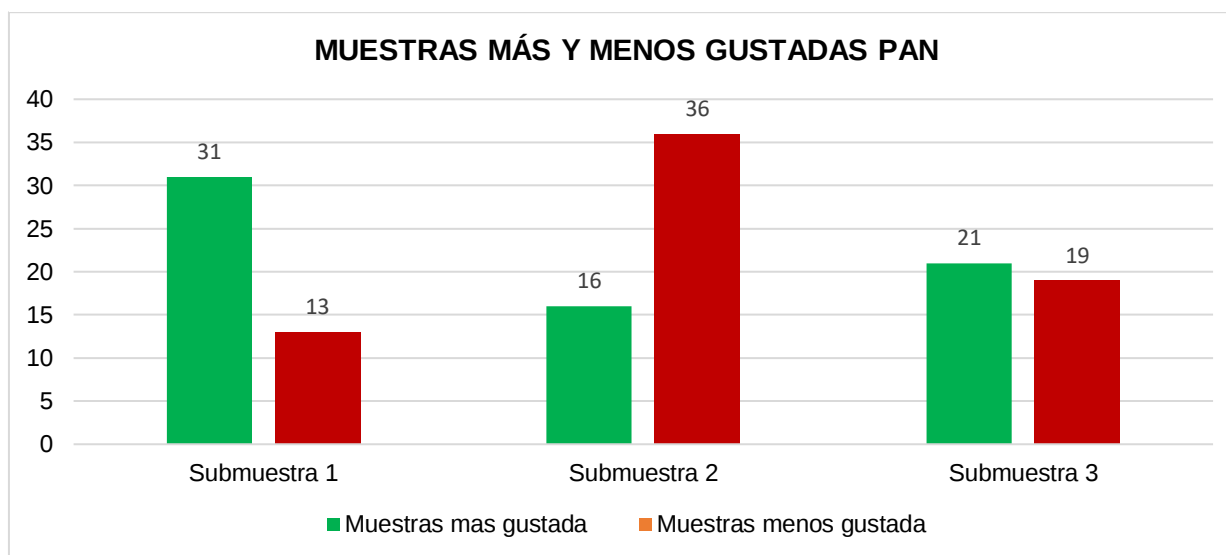
Para las muestras 1 la sub muestra 3 fue mejor recibida en las encuestas siendo esta la muestra del 10% de sustitución, seguida por la submuestra 2 (20%), la cual no fue tan atractiva para los consumidores, mientras siendo esta submuestra 2 la menos llamativa debido que se indicó que la masa era demasiado seca porque esta conservo menos la humedad que las otras muestras sub muestras.

Para las muestras de galletas las submuestras 1 y 2 fueron las que resultaron más agradables a los participantes, siendo la submuestra 3 la que presento un resultado menor al esperado según la bibliografía consultada, esto debido a que en esta submuestra se indicó que la galleta era más dura que las otras.

Muestras más y menos gustadas:

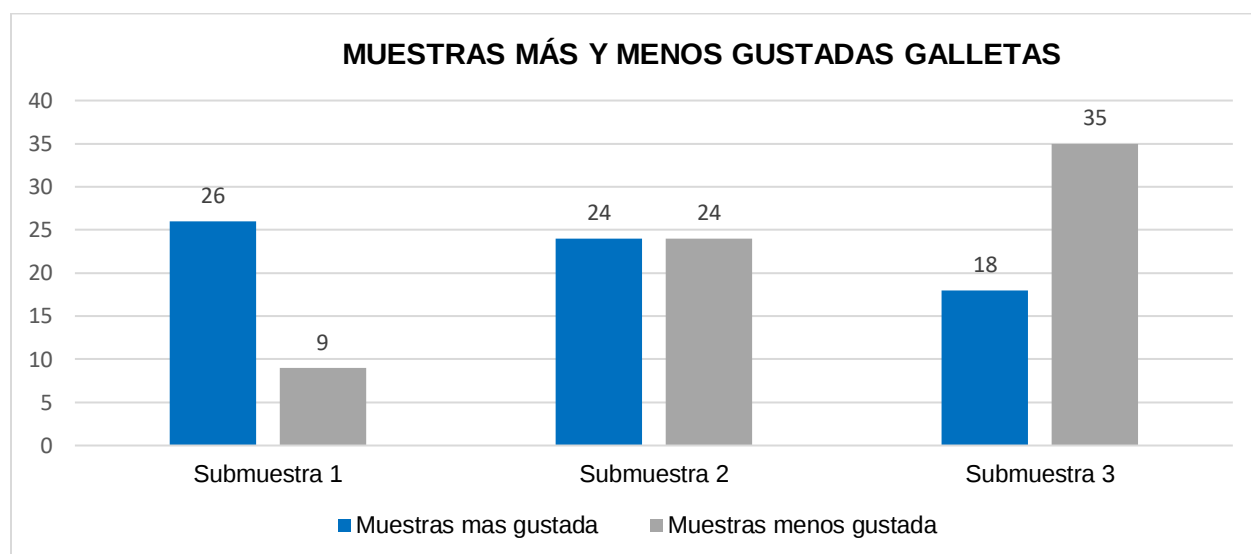
Se realizo un análisis a los participantes con el fin de comprar las muestras entre sí y saber las muestras que fueron mejores a nivel integral (habiendo realizado el análisis por propiedad organoléptica), para medir los niveles óptimos de sustitución de harina de yuca, en las mezclas de pan de trigo-yuca.

Figura 24.Muestras más y menos gustada de pan



Fuente: Elaboración propia

Figura 25.Muestras más y menos gustada de galletas



Fuente: Elaboración propia

Se observa que entre los consumidores de las muestras 1, la submuestra 1 fue la muestra más gustada (submuestra de 30 % harina de yuca), en cambio la submuestra 2 fue la que menos agrado a los participantes (20 % de sustitución) debido a que presentaba una corteza más dura y también falta de humedad en la miga y la submuestra 3 obtuvo valores muy cercanos a la igualdad en personas que gustaron y no gustaron de esta.

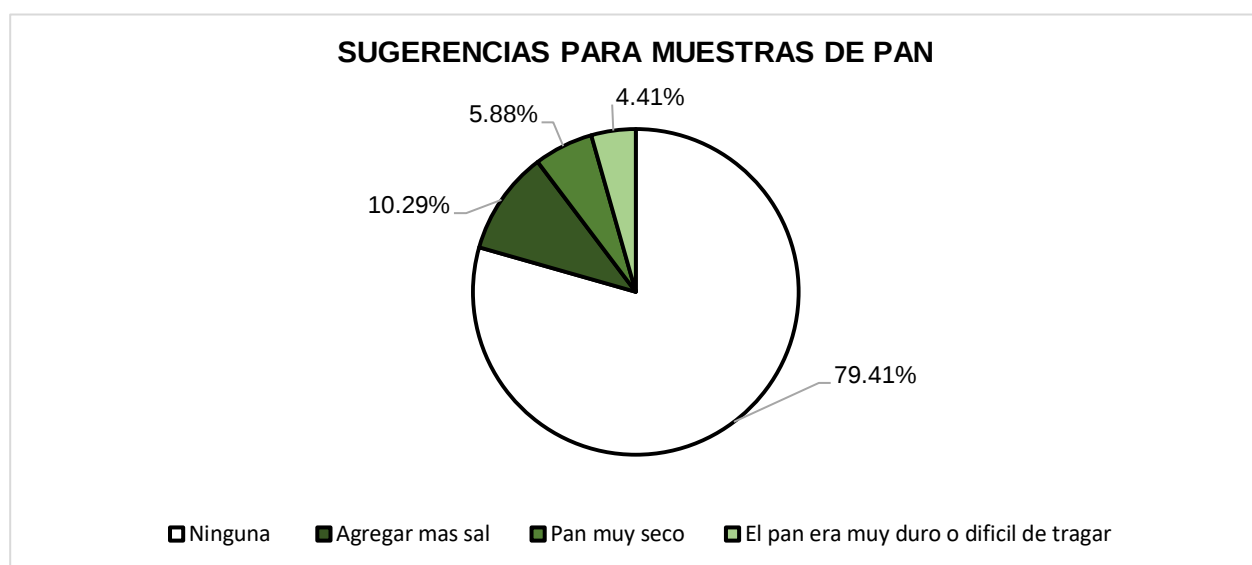
En las muestras de galletas se analiza que las submuestras 1 y 2 fueron las muestra que más agradaron a los participantes, en cambio la submuestra 3 no fue del agrado del paladar de los panelistas, se infiere por la gráfica que la submuestra 3 fue la que más gusto a los participantes, siendo seguida por la submuestra 2

Según los niveles de aceptabilidad testeados entre el panel de participantes de un grupo de no expertos, se concluye que para las muestras de pan la sustitución que más fue de su agrado fue la submuestra 1 cuya sustitución fue del 30% de harina de yuca en la mezcla trigo-yuca, al mismo tiempo se aprecia según los datos que la sustitución más adecuada para las galletas coincidió con el valor de 30% de sustitución

Sugerencias realizadas por los participantes

Con el fin de mejorar las muestras con sustitución de harina de yuca se les permitió a los participantes indicar quejas o sugerencias de las muestras entre las cuales se indicaron las siguientes:

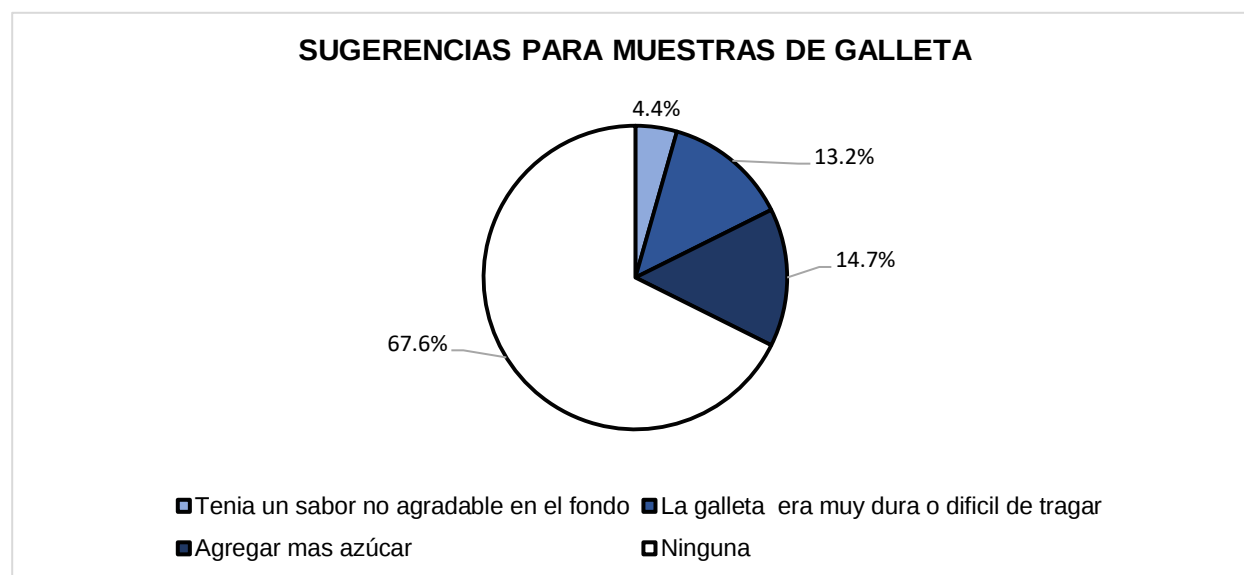
Figura 26. Sugerencias para las muestras de pan



Fuente: Elaboración propia

Dentro de las sugerencias hechas a las muestras de pan se analizaron tres sugerencias, la primera que el pan necesitaba más sal porque se sentía sin sabor, la segunda que el pan estaba muy seco esto en el caso de la submuestra 3, siendo en esta misma muestra que se indicó que el pan era muy duro y difícil de tragar y el 79.41 % de los participantes no dejó ninguna sugerencia.

Figura 27.Sugerencias para las muestras de galletas



Fuente: Elaboración propia

Dentro de las sugerencias realizadas a las muestras de galletas se presentan los siguientes comentarios: que las muestras deben de contener más azúcar, esto debido que ayudara a enmascarar el sabor de la harina de yuca con más sutileza, y tener cuidado en los tiempos de cocción de las galletas con el fin evitar que estas se sobrecosan y se endurezcan, agregando al mismo tiempo más humedad a la mezcla (agregar más agua en el mezclador), simultáneamente a estas sugerencias el 68 % de los participantes no dejo ninguna sugerencia relevante.

VI. CONCLUSIONES

La investigación llevada a cabo ha permitido alcanzar los objetivos planteados en el establecimiento de un sistema innovador para la producción de harina de yuca, concretamente de las variedades INTA dorada e INTA perla. A través de la caracterización fisicoquímica de estas materias primas, se obtuvieron datos relevantes que describen su composición, tales como un contenido de humedad de 65.09% para INTA dorada y 60.53% para INTA perla, así como un pH favorable de 6.5, para ambas variedades. Los porcentajes de grasa cruda de 0.04% para la variedad INTA perla y 0.07% para la variedad INTA dorada, proponiendo que la harina resultante podría ser una opción saludable para el consumidor. Teniendo a su vez un contenido de fibra y carbohidratos (determinado por métodos indirectos) superior al 33 % para ambas variedades indicando una opción más viable a nivel nutricional.

Debido a las características de la materia prima, y a las diferencias entre variedades mediante el diseño experimental 2³, se determinó que la producción de harina se optimiza utilizando la variedad INTA-Perla a baja temperatura (63 °C) y prolongado tiempo de secado (12 h), logrando así un rendimiento de 18.35%. Alternativamente, la INTA-Dorada también mostró un buen rendimiento bajo las siguientes condiciones: temperatura alta (70 °C) y tiempo de secado prolongado (14 h), obteniendo un rendimiento de 15.85%. Como subproductos obtenidos del proceso se obtuvieron harina con una granulometría mayor al Dp <0.417 mm llamado Bora y almidón de yuca modificado.

Las harinas producidas presentaron características deseables, con humedades promedio que cumplen con los estándares de conservación, y bajo contenido de grasa, al mismo tiempo indicando un porcentaje superior para ambas harinas del 90% de fibra y carbohidratos, lo que las convierte en un ingrediente viable para la elaboración de productos de panadería, teniendo una granulometría indicada por el Codex para este producto como harina fina, lo cual permite una mezcla homogénea con la harina de trigo.

En la evaluación organoléptica (sensorial) se reveló que el mejor nivel de sustitución para pan y galletas, fue un 30 % de harina de yuca, demostrando un potencial no explotado en el área de la industria alimenticia, generando evaluaciones positivas para ambos productos.

VII. RECOMENDACIONES

Con el enfoque de establecer mejor un sistema de innovación productiva para la elaboración de harina de yuca a escala de laboratorio de las referidas variedades fortificadas de yuca, es preciso realizar un análisis bromatológico de dichas variedades, para comprender mejor los valores nutricionales de dicha raíz y poder establecer con mayor facilidad rangos de secado dichas variedades.

Se recomienda para la creación de harina el uso de molinos, con el fin de obtener unas muestras homogéneas en el diámetro de partícula (triturado fino) y acortar tiempos de secado de estas, al mismo tiempo debido a que las variedades de estudio son variedades de yuca dulces, se deberá de medir la cantidad de almidón presente en las variedades, y retirar (de manera parcial o total) por medio de un extrusor con el fin de evitar que las muestras se gelatinicen.

Se recomienda en los productos de panadería una reestructuración a la receta usada, agregando en el caso del pan un aumento del 0.5 % inicial de sal subir al 1% de peso total (en el caso de una libra de harina agregar 8.35 gr de sal), usar máquinas de mezclado con el fin de asegurar un mezclado constante y al mismo tiempo realizar el mezclado de un tiempo de entre 15 al 20% extra del tiempo normal de mezclado para masas de harina de trigo, esto con el fin de obtener una miga estable, en caso contrario se deberá de agregar huevo batido a la mezcla con el fin de airear la mezcla y ofrecer un efecto de estabilización siendo de ayuda para la correcta fermentación de dicha mezcla, y un mejor desarrollo del gluten.

En el caso de las galletas se recomienda una reestructuración de la receta realizada aumentando de un 18.5% de peso de azúcar en mezcla a un 23.51% (aumento del 5%) con el fin de enmascarar el uso de harina de yuca, siendo el producto de galletas recomendado según el panel de no expertos consumirse con bebidas calientes e indicándose como idóneo para ser consumido en la primera comida del día o meriendas.

Realizar un estudio técnico, económico y de mercado con estrategias que permitan introducir el producto de harina de yuca como producto de consumo, al mismo tiempo realizar un análisis con el fin de observar el impacto económico de la sustitución de harina de yuca en las mezclas de pan, teniendo en cuenta este producto que podría aportar fibra y hacer el producto a un más rentable.

De este modo, se abre un camino hacia la diversificación y mejora de la oferta alimentaria, contribuyendo a la seguridad alimentaria y al desarrollo socioeconómico de la región. La investigación sugiere la necesidad de exploraciones futuras que evalúen la viabilidad comercial de la harina de yuca en otros productos alimenticios.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, M. F. (1998). *Almidon Agrio de yuca en Colombia*. Cali, Colombia: Publicación CIAT.
- Alvarez, M. L. (2000). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO REPOSITORIO* . Obtenido de MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD NUTRICIONAL Y PANADERA DEL TRIGO POR INGENIERIA GENETICA :
https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/51554/tesis_doctoral_maria_lucrecia_alvarez.pdf?sequence=1
- AOAC. (2007). *Association of Official Analytical Chemists*. Washington DC.
- Aristizábal Galvis, J. A. (Noviembre de 2004). *Adaptacion y validacion de tecnología para la utlizacion de harina de yuca en panificacion*. Obtenido de Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Library catalog: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/Digital/SB211.C3_A7578_Adaptaci%C3%B3n_y_validaci%C3%B3n_de_tecnolog%C3%ADa_para_la_utilizaci%C3%B3n_de_harina_de_yuca.pdf
- Aristizabal, J. (2007). *Guia tecnica para la produccion y analisis de almidon de yuca*. Obtenido de BOLETIN DE SERVICIOS AGRICOLAS DE LA FAO 163:
<https://www.fao.org/3/a1028s/a1028s.pdf>
- Arteaga, P. (2015). *Repositotio de la Universidad Nacional del Santa*. Obtenido de SUSTITUCIÓN PARCIAL DE LA HARINA DE TRIGO (*TriticumAestivum*) POR HARINA DE TARWI (*Lupinus Mutabillis sweet*) Y HARINA DE CASCARA DE MARACUYA (*Passiflora Edulis*) EN LAS CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS Y SENSORIALES DE CUPCAKES": <http://core.ac.uk/download/pdf/225484928.pdf>
- Axayacatl, O. (07 de Octubre de 2021). *Blog de agricultura*. Obtenido de Estadísticas mundiales de yuca: <https://blogagricultura.com/estadisticas-yuca-produccion/>
- Axayacatl, O. (14 de Juilo de 2021). *Blog de agricultura*. Obtenido de Países productores de yuca en 2019: <https://blogagricultura.com/paises-productores-yuca-2019/>
- Calvel, R. (2001). *The Taste Of Bread*. Springer .
- CIAT. (1977). *Descripcion de las enfermedades de la yuca* . Obtenido de Biblioteca del CIAT-CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/articulos_ciat/2015/11714.pdf
- Cock H., J. (1989). *La yuca, Nuevo Potencial para un cultivo tradicional*. Obtenido de Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT):
https://books.google.com.co/books?id=CCHrPDm_pjC&printsec=frontcover&source=gb_s_atb#v=onepage&q&f=false
- Codex, F. (1985). *CODEX STAN 152- 1985*. Obtenido de Norma del codex para la harina de trigo : https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B152-1985%252FCXS_152s.pdf
- Codex, F. (1989). *CODEX STAN 176-1989*. Obtenido de Norma del codex para la harina de yuca comestible: https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXS%2B176-1989%252FCXS_176s.pdf

- Eggleston, G. (Abril de 1992). *Development an evaluation of products from cassava flour as new alternatives to wheaten breads*. Obtenido de Revista: The Journal of the Science of Food and Agriculture :
<https://biblio.iita.org/documents/S92ArtEgglestonDevelopmentInthomNodev.pdf>-
- Guillermo y Lopez, E. y. (2016). *Repositorio Universidad Nacional "Hermillo Valdizan" Huanuco*. Obtenido de Influencia de la sustitucion de harina de trigo por harina de yuca en la elaboracion:
https://repositorio.unheval.edu.pe/bitstream/handle/20.500.13080/2041/TAG_Guillermo_Santillan_Esther.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- IICA. (1983). *La yuca* . Obtenido de Respositorio IICA - Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura :
<https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/15961/CDNI21041867e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- IICA. (2004). *Análisis de estudio de cadena de la yuca de Nicaragua*. Obtenido de Repositorio del IICA - Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura:
<http://repositorio.iica.int/handle/11324/6559>
- INATEC, T. N. (2018). *Manual del Protagonista sobre Raíces y Tubérculos*. Obtenido de Biblioteca digital INATEC Tecnológico Nacional:
https://www.tecnacional.edu.ni/media/Raices_y_Tuberculos.pdf
- INTA. (2004). *El Centro Nacional de Información y Documentación Agropecuaria (CENIDA)*. Obtenido de El Centro Nacional de Información y Documentación Agropecuaria (CENIDA): <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENH10N583.pdf>
- INTA. (2015). *Variedad de yuca INTA- perla* . Obtenido de
<https://es.scribd.com/document/621477848/Yuca-INTA-Perla#>
- INTA. (2016). *Variedad de Yuca INTA-Dorada*. Obtenido de Respositorio IICA - Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura:
<https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/14313/BVE21021278e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mubanga, S. (2019). *Progress in research and applications of cassava flour and starch: a review*. Obtenido de Revista: The Journal of Food Science and Technology:
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6542882/>
- Segreda Rodríguez, A. (2016). *Cultivo de yuca Manihot esculenta crantz*. Obtenido de Respositorio IICA - Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura :
<http://repositorio.iica.int/handle/11324/2999>

IX. ANEXOS

9.1) ANEXO A

Cuestionario para participantes:

Fecha: _____

Nombre: _____.

Edad: __ años.

Producto: Pan común/ Galleta

Estimado participante podría darnos su opinión sobre los siguientes tipos de pan o galleta, marcando en los siguientes parámetros indicados para las 3 muestras presentadas, marque con una x en la escala que se muestra a continuación:

1) Color

Muestras	Me agrada mucho	Me agrada	Ni me agrada ni me desagrada	Me desagrada	Me desagrada mucho
1					
2					
3					

2) Sabor

Muestras	Me agrada mucho	Me agrada	Ni me agrada ni me desagrada	Me desagrada	Me desagrada mucho
1					
2					
3					

3) Textura de la miga

Muestras	Me agrada mucho	Me agrada	Ni me agrada ni me desagrada	Me desagrada	Me desagrada mucho
1					
2					
3					

4) Olor del pan

Muestras	Me agrada mucho	Me agrada	Ni me agrada ni me desagrada	Me desagrada	Me desagrada mucho
1					
2					
3					

5) Aceptabilidad

Muestras	Me agrada mucho	Me agrada	Ni me agrada ni me desagrada	Me desagrada	Me desagrada mucho
1					
2					
3					

Algún comentario o sugerencia del pan o galleta que degusto:

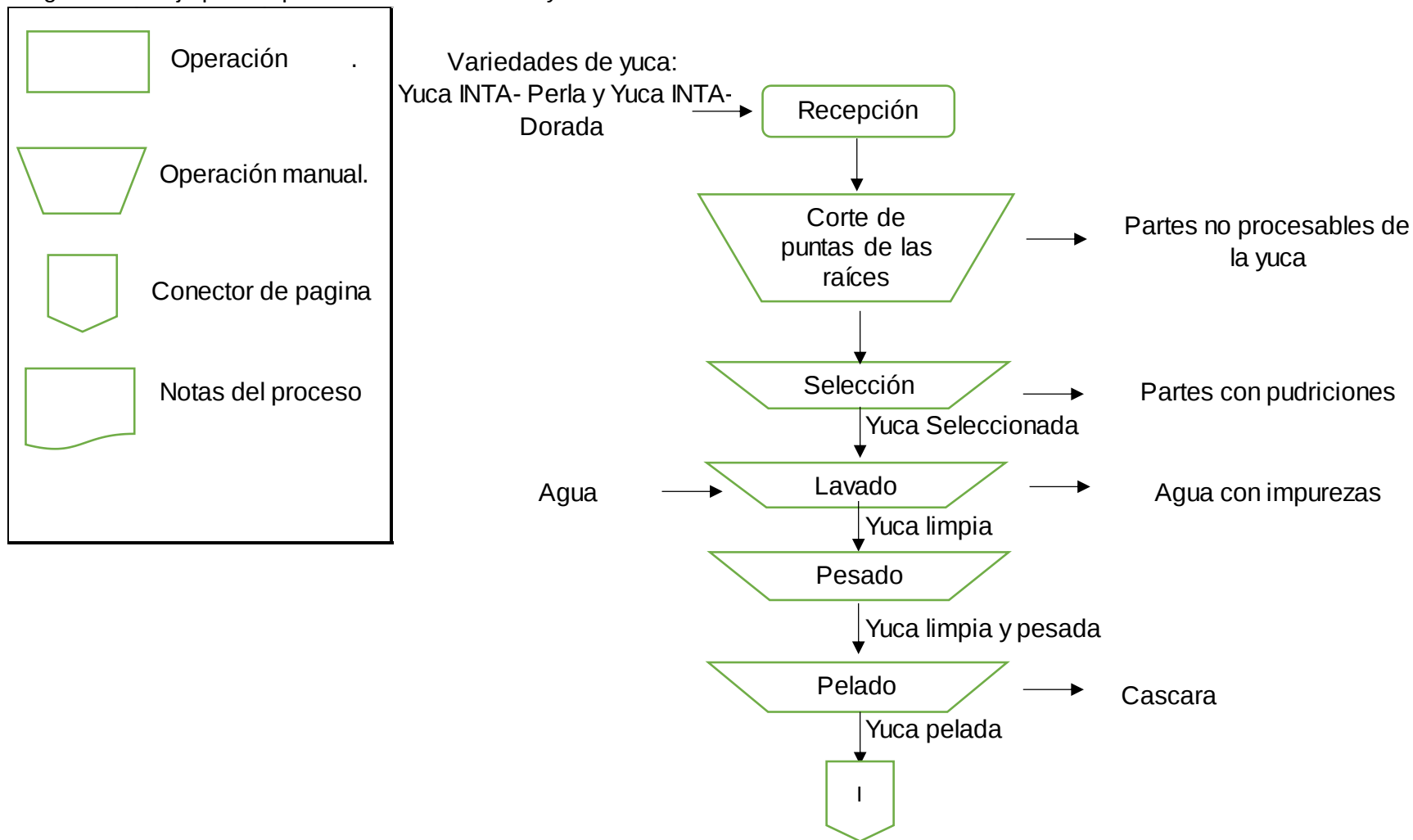
Ahora que ha probado las todas las muestras, podría indicarnos:

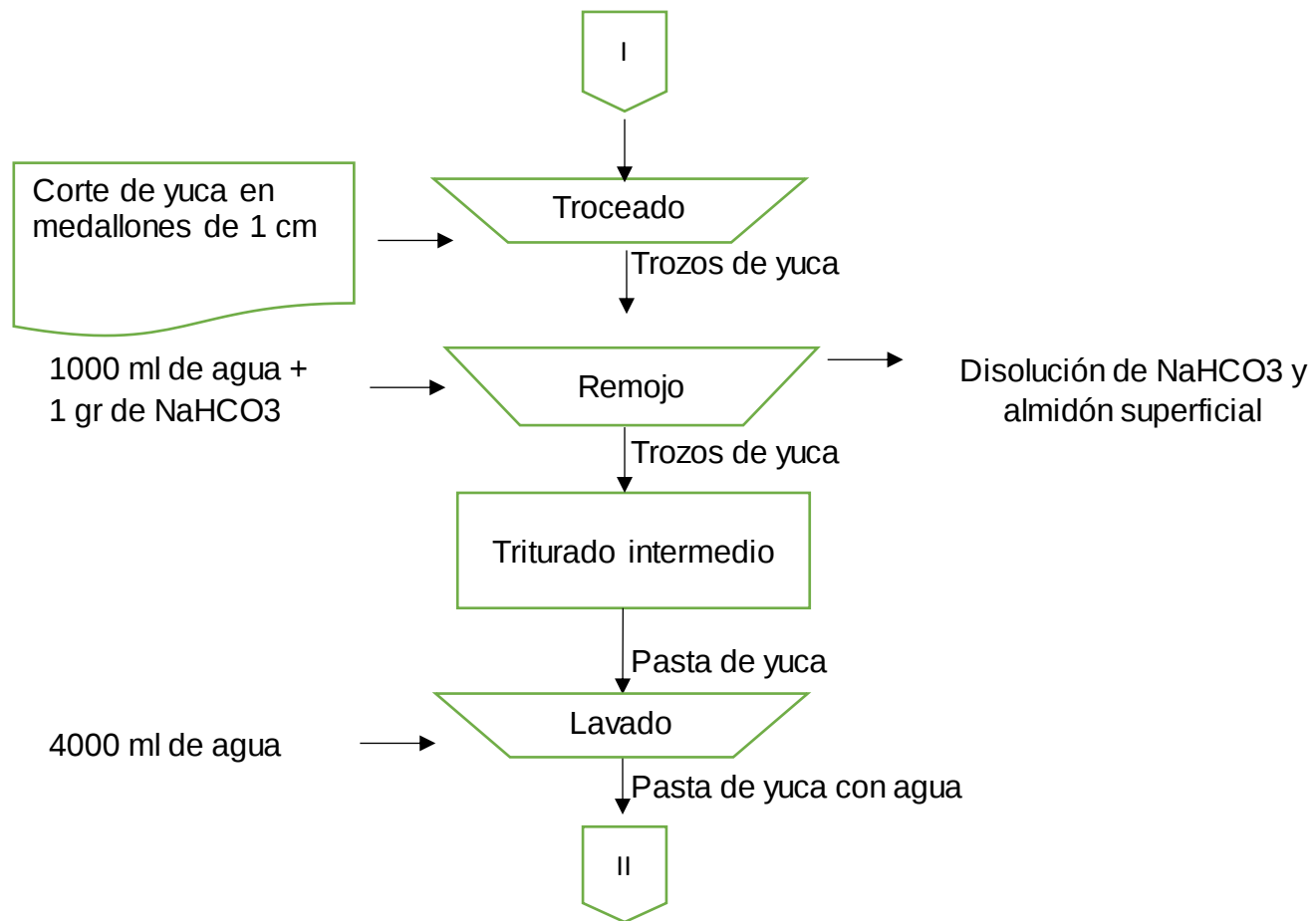
¿Cuál fue la muestra que más fue de su agrado? Muestra ____.

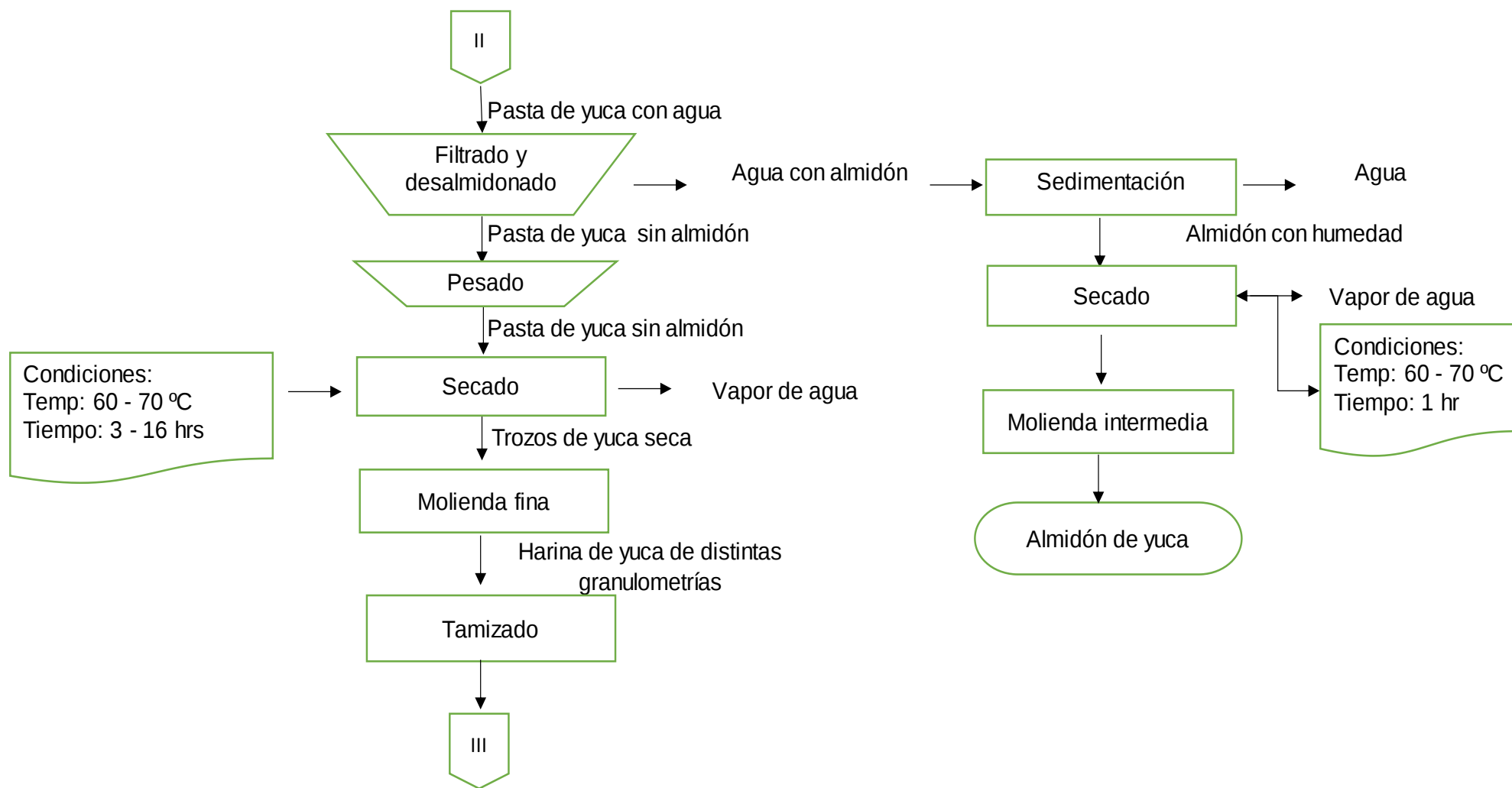
¿Cuál fue la muestra que fue menos de su agrado? Muestra ____.

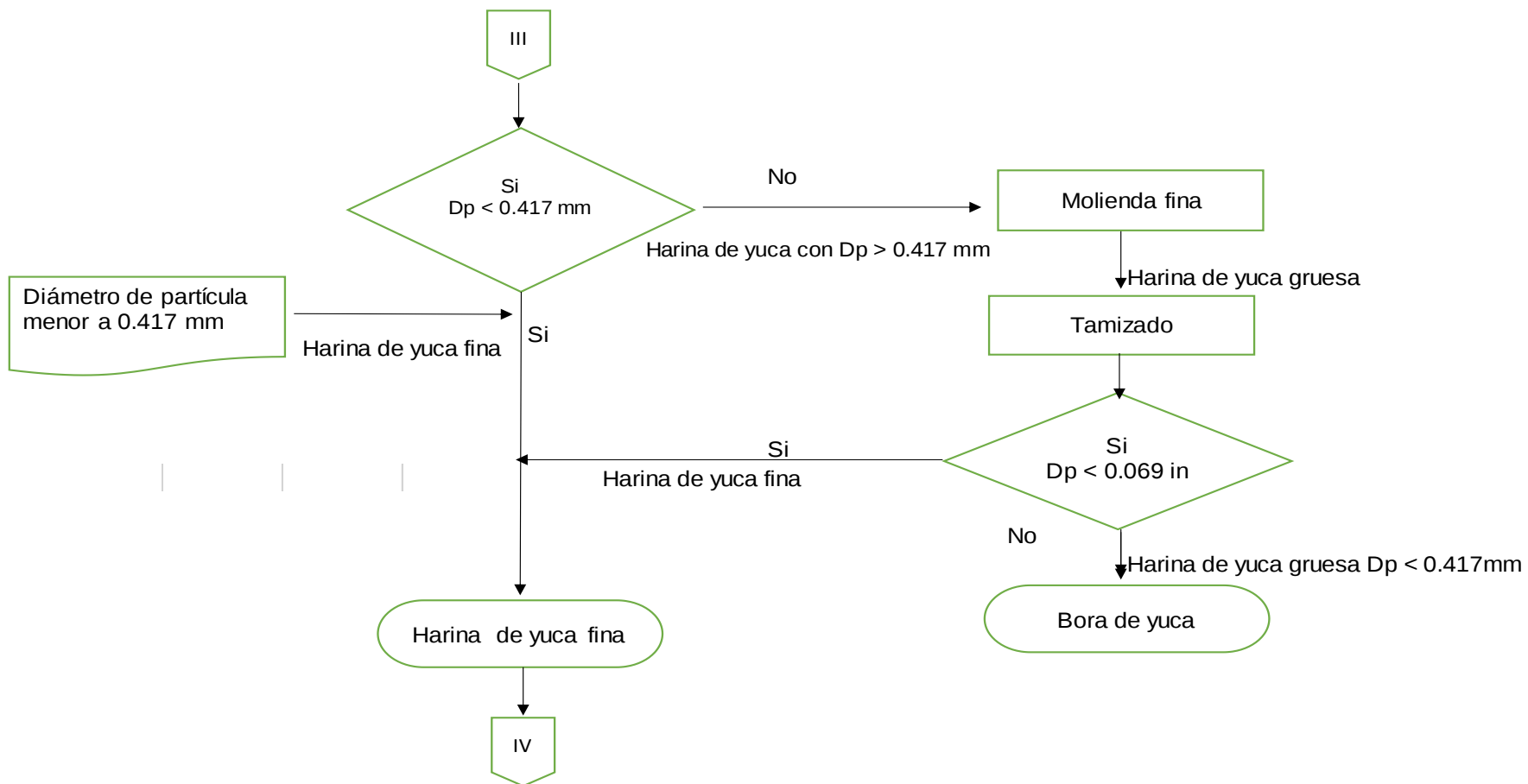
9.2) ANEXO B

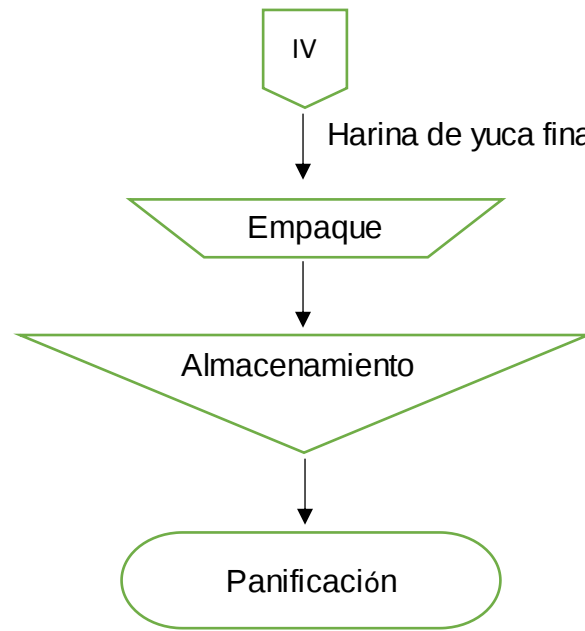
Diagrama de flujo para la producción de harina de yuca





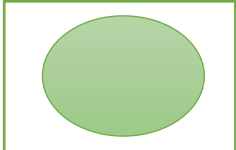
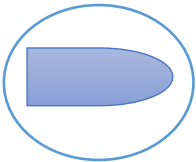
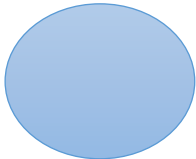


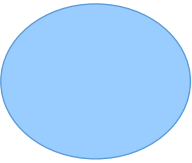
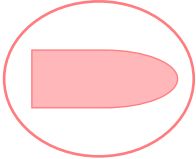
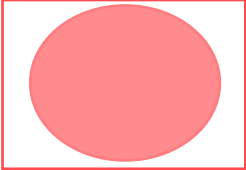


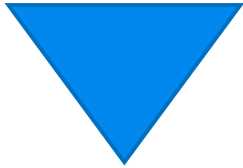


9.3) ANEXO C

Diagrama de flujo ASMER, para la elaboración de pan:

Actividad	Descripción y tiempo	Ilustración
	Recepción de materiales 15 minutos	-
	Pesado y revisión de materia prima 50 minutos	
	Mezcla de material en polvo con material solido 15 minutos	
	Mezcla de material solido con agua tibia 20 minutos	

	Amasado 25 minutos	
	Cortado 10 minutos	
	Boleado 30 minutos	
	Reposo 35 minutos	
	Horneado 20 minutos	

	Enfriado 60 minutos	
	Almacenamiento	

9.4) ANEXO D

Capturas del programa de Minitab de los gráficos y cálculos estadísticos

Minitab - DATOS DE TESIS AJUSTADOS Minitab.mpx

Archivo Editar Datos Calc Estadísticas Gráfica Vista Ayuda Asistente Módulo de Analítica predictiva Herramientas adicionales

Navegador

- Diseño factorial completo
- Regresión factorial: Gramos de ha...
- Gráficas factoriales para Gramos ...
- Gráfica de cubos (medias ajustad...
- Regresión factorial: Gramos de ha...
- Regresión factorial: Gramos de ha...
- Gráfica de probabilidad de RES1
- Gráfica de probabilidad de RES1

Regresión factorial: Gramo... x

HOJA DE TRABAJO 1

Regresión factorial: Gramos de harina vs. A; B; C

Coefficientes codificados

Término	Efecto	Coef	EE del coef.	Valor T	Valor p	FIV
Constante		114.171	0.536	213.03	0.000	
A	-3.358	-1.679	0.536	-3.13	0.006	1.00
B	10.058	5.029	0.536	9.38	0.000	1.00
C	18.458	9.229	0.536	17.22	0.000	1.00
A*B	19.225	9.613	0.536	17.94	0.000	1.00
A*C	-10.842	-5.421	0.536	-10.11	0.000	1.00
B*C	-21.192	-10.596	0.536	-19.77	0.000	1.00
A*B*C	16.975	8.487	0.536	15.84	0.000	1.00

Resumen del modelo

S	R-cuadrado	R-cuadrado(ajustado)	R-cuadrado (pred)
2.62560	98.92%	98.44%	97.56%

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	10065.2	1437.89	208.58	0.000
Lineal	3	2719.0	906.32	131.47	0.000
A	1	67.7	67.67	9.82	0.006

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
	OrdenEst	OrdenCorrida	PuntoCentral	Bloques	A	B	C	Gramos de harina	RESS1	RESS2	EFFE1	RESS3	EFFE2	RESS4	EFFE3			
16	16	16	1	1	1	1	1	128.50	-0.15549	-0.15549		-0.15549		-0.15549				
17	17	17	1	1	-1	-1	-1	85.50	-0.55976	-0.55976		-0.55976		-0.55976				
18	18	18	1	1	1	-1	-1	85.40	-3.04756	-3.04756		-3.04756		-3.04756				

Hoja de trabajo 1

Minitab - DATOS DE TESIS AJUSTADOS Minitab.mpx
Archivo
Editar
Datos
Calc
Estadísticas
Gráfica
Vista
Ayuda
Asistente
Módulo de Analítica predictiva
Herramientas adicionales

Navegador

Diseño factorial completo
Regresión factorial: Gramos de ha...
Gráficas factoriales para Gramos ...
Gráfica de cubos (medias ajustad...
Regresión factorial: Gramos de ha...
Regresión factorial: Gramos de ha...
Gráfica de probabilidad de RESS1
Gráfica de probabilidad de RESS1

Regresión factorial: Gramo...

HOJA DE TRABAJO 1

Regresión factorial: Gramos de harina vs. A; B; C

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	7	10065.2	1437.89	208.58	0.000
Lineal	3	2719.0	906.32	131.47	0.000
A	1	67.7	67.67	9.82	0.006
B	1	607.0	607.02	88.05	0.000
C	1	2044.3	2044.26	296.54	0.000
Interacciones de 2 términos	3	5617.4	1872.46	271.62	0.000
A*B	1	2217.6	2217.60	321.68	0.000
A*C	1	705.3	705.25	102.30	0.000
B*C	1	2694.5	2694.52	390.86	0.000
Interacciones de 3 términos	1	1728.9	1728.90	250.79	0.000
A*B*C	1	1728.9	1728.90	250.79	0.000
Error	16	110.3	6.89		
Total	23	10175.5			

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

Gramos de harina = 114.171 - 1.679 A + 5.029 B + 9.229 C + 9.613 A*B - 5.421 A*C - 10.596 B*C + 8.487 A*B*C

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
	OrdenEst	OrdenCorrida	PuntoCentral	Bloques	A	B	C	Gramos de harina	RESS1	RESS2	EFFE1	RESS3	EFFE2	RESS4	EFFE3			
16	16	16	1	1	1	1	1	128.50	-0.15549	-0.15549		-0.15549		-0.15549				
17	17	17	1	1	-1	-1	-1	85.50	-0.55976	-0.55976		-0.55976		-0.55976				
18	18	18	1	1	1	-1	-1	85.40	-3.04756	-3.04756		-3.04756		-3.04756				

87

Minitab - DATOS DE TESIS AJUSTADOS Minitab.mpx

Archivo Editar Datos Calc Estadísticas Gráfica Vista Ayuda Asistente Módulo de Analítica predictiva Herramientas adicionales

Navegador

- Diseño factorial completo
- Regresión factorial: Gramos de ha...
- Gráficas factoriales para Gramos ...
- Gráfica de cubos (medias ajustad...
- Regresión factorial: Gramos de ha...
- Regresión factorial: Gramos de ha...
- Gráfica de probabilidad de RESS1
- Gráfica de probabilidad de RESS1

Regresión factorial: Gramo... x

HOJA DE TRABAJO 1

Regresión factorial: Gramos de harina vs. A; B; C

Ajustes y diagnósticos para observaciones poco comunes

Obs	Gramos de harina	Ajuste	Resid	Resid est.
2	96.40	91.93	4.47	2.08 R
18	85.40	91.93	-6.53	-3.05 R

Residuo grande R

Estructura de alias

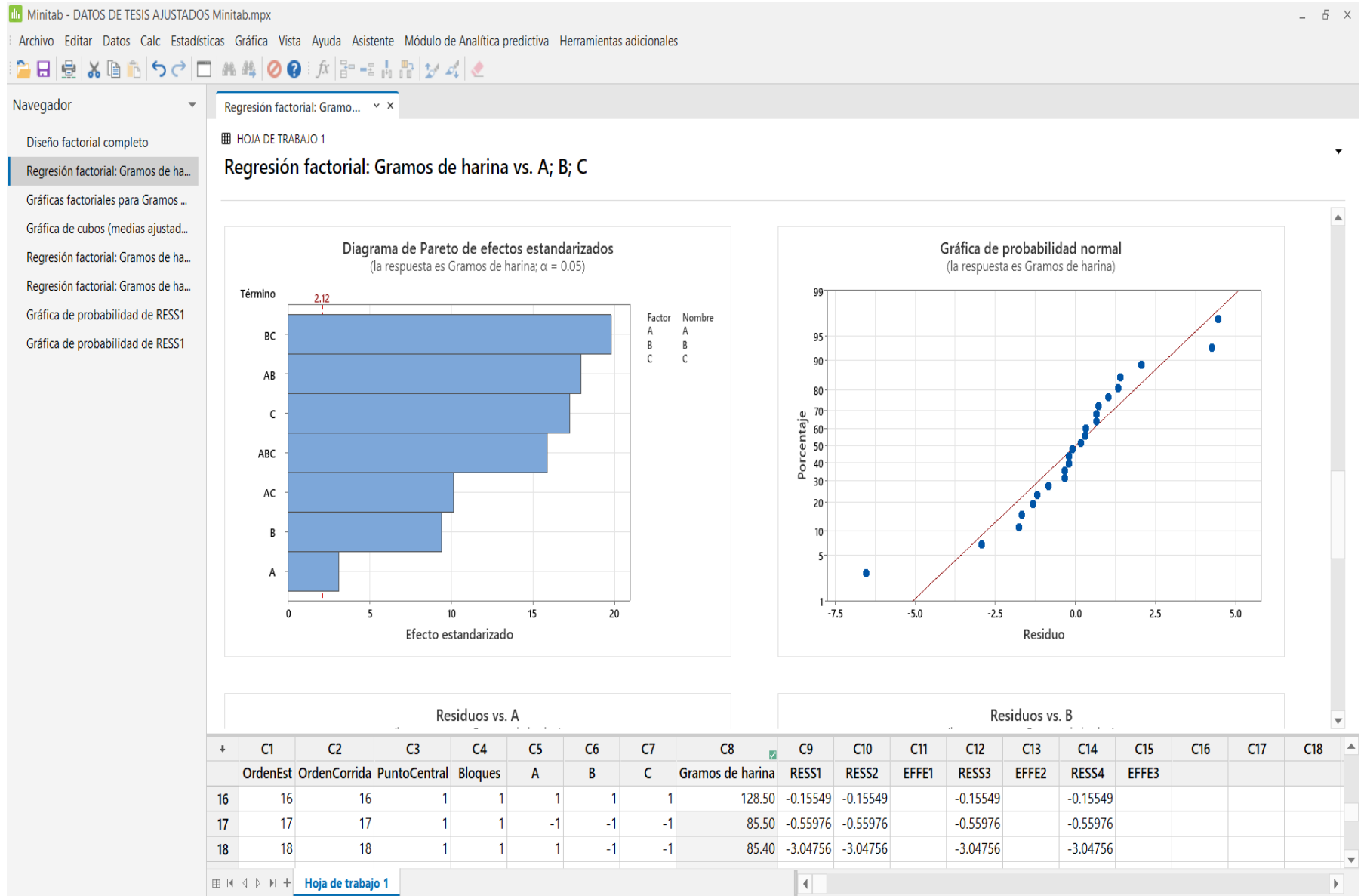
Factor	Nombre
A	A
B	B
C	C

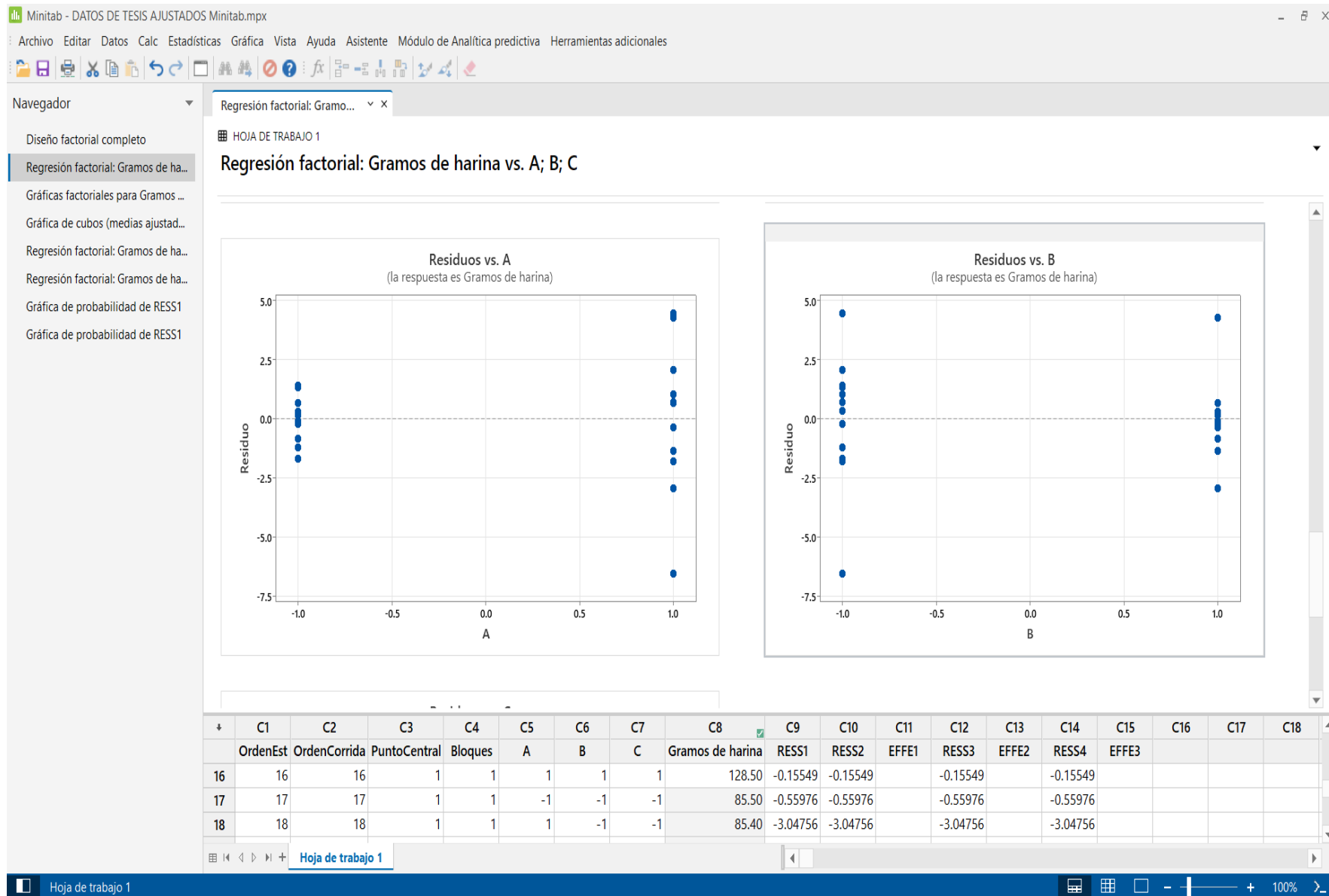
Alias
I
A
B
C
AB
AC
BC
ABC

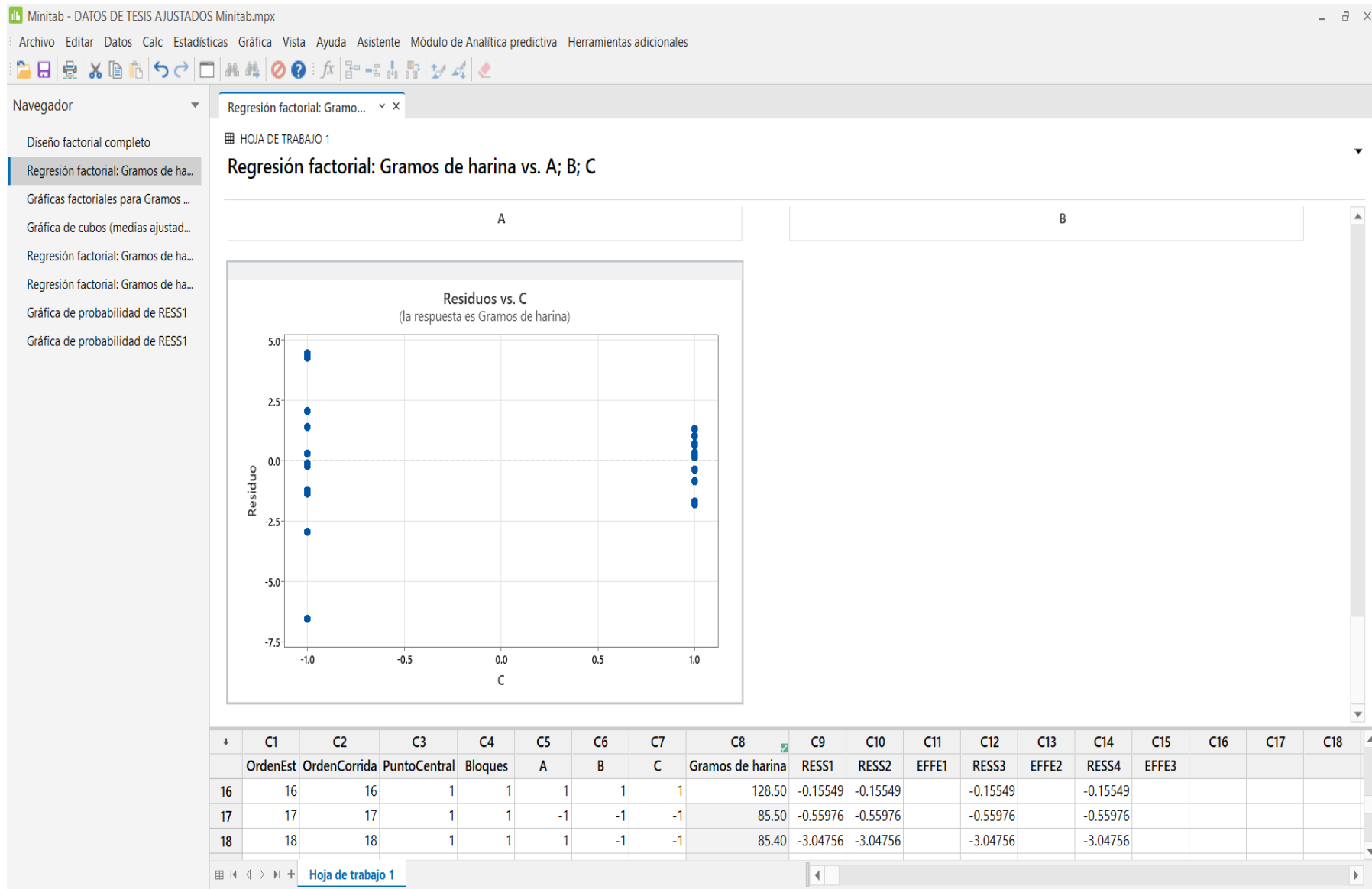
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18
	OrdenEst	OrdenCorrida	PuntoCentral	Bloques	A	B	C	Gramos de harina	RESS1	RESS2	EFFE1	RESS3	EFFE2	RESS4	EFFE3			
16	16	16	1	1	1	1	1	128.50	-0.15549	-0.15549		-0.15549		-0.15549				
17	17	17	1	1	-1	-1	-1	85.50	-0.55976	-0.55976		-0.55976		-0.55976				
18	18	18	1	1	1	-1	-1	85.40	-3.04756	-3.04756		-3.04756		-3.04756				

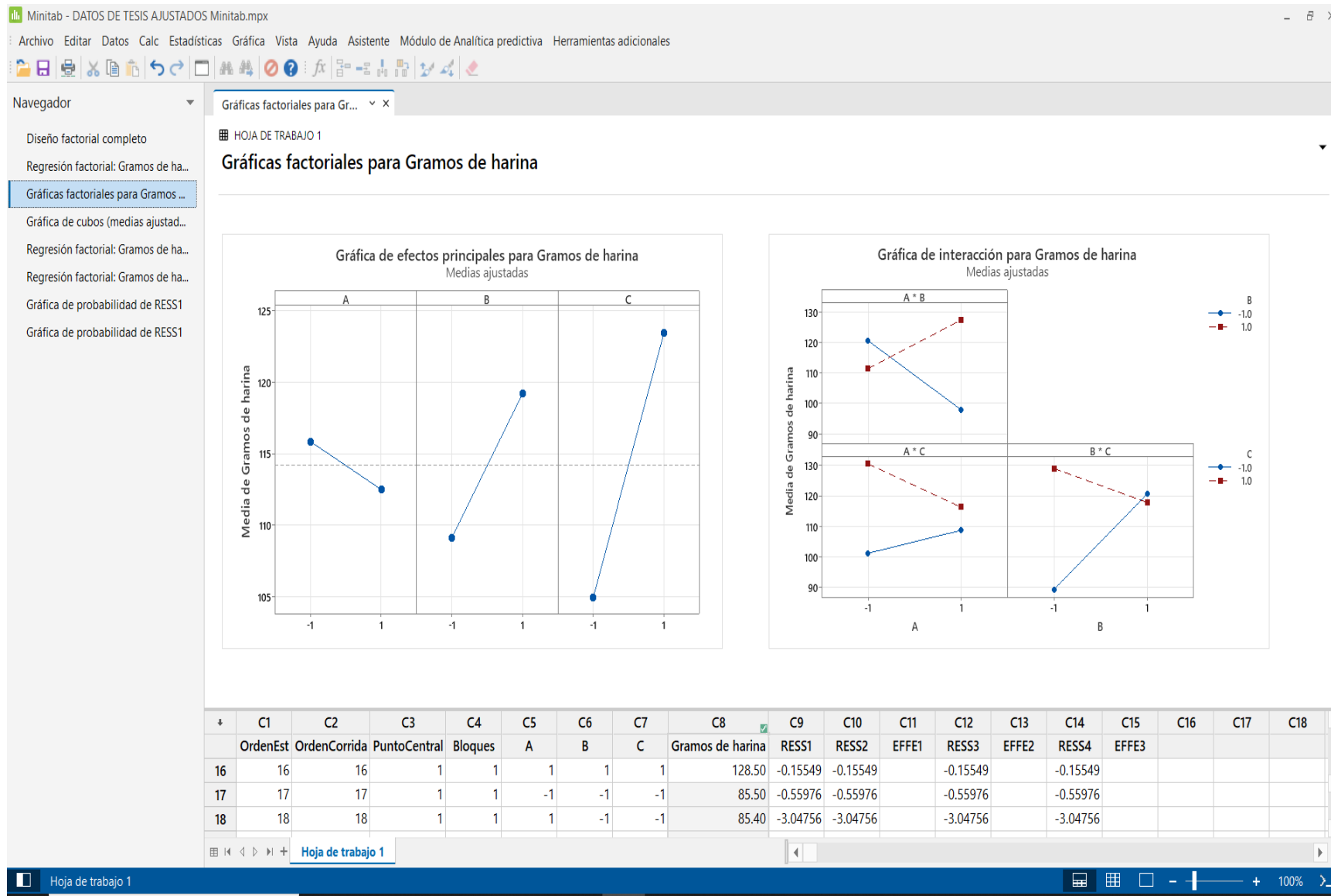
Hoja de trabajo 1

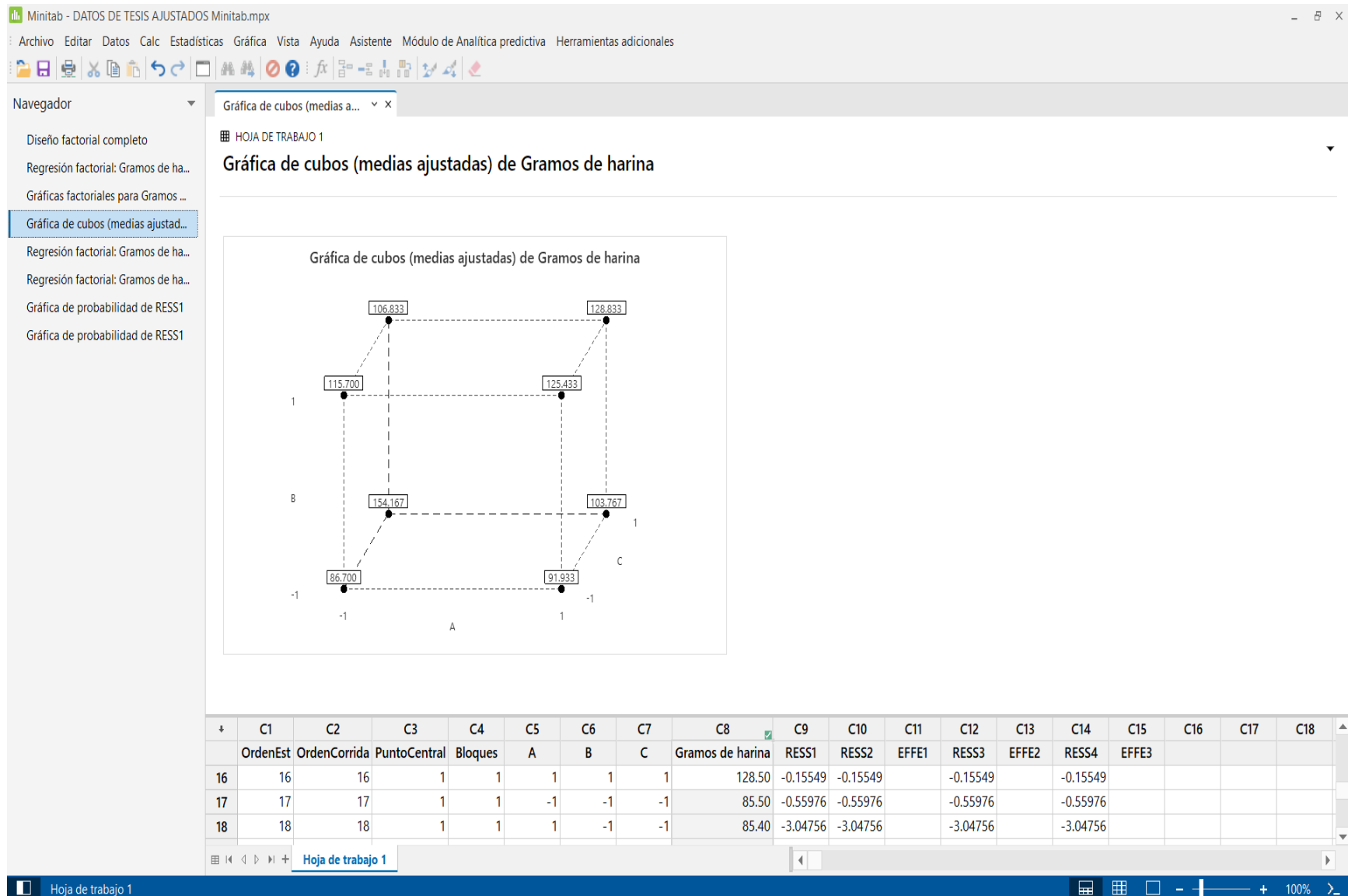
Hoja de trabajo 1

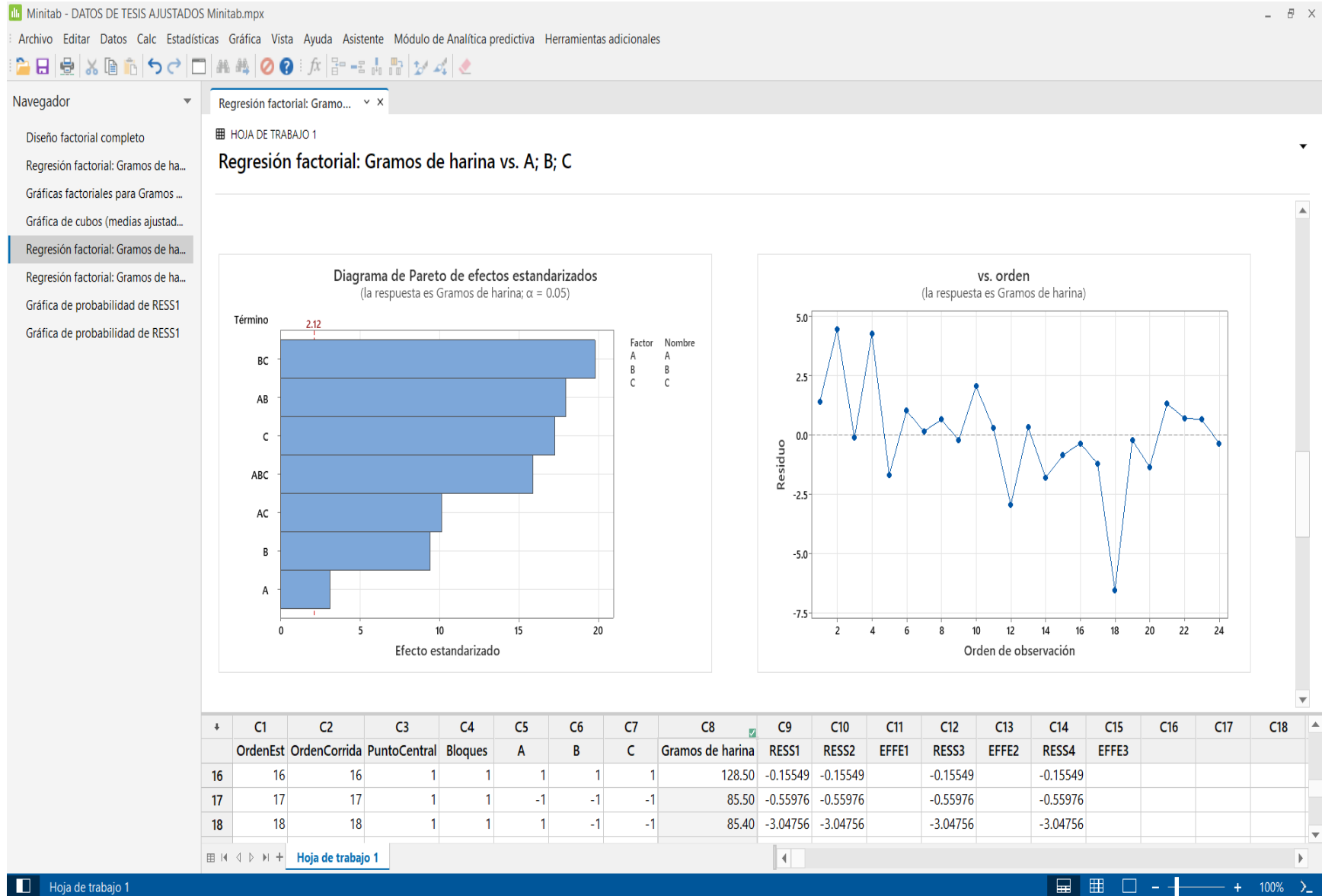


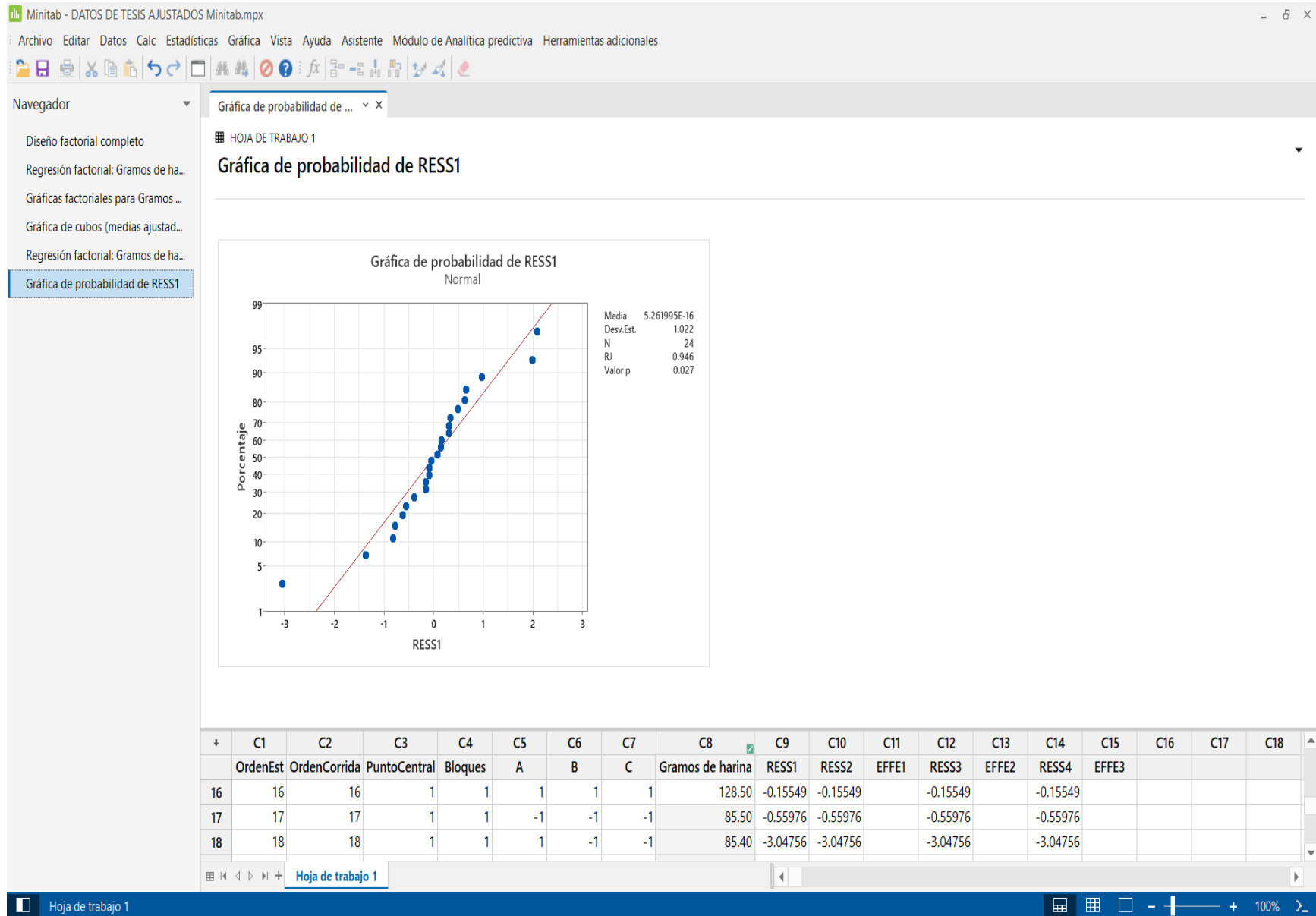












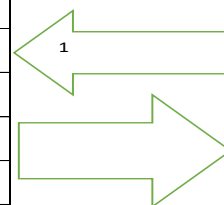
9.5) ANEXO E

Matriz de datos expandida

Experimento	Fecha de realizacion	Condiciones		Resultados (g)		Rep 2.	Rep 3.	Promedio de Harina por experimento	Promedio de Bora por experimento	Promedio de Almidon por experimento	Promedio de Rendieminto por experimento	Promedio de Humedad por experimento
1	16/11/23	Variedad	Perla	HYP exp 1:	88.10	86.50	85.50	86.70	15.17	163.50	10.37%	6.05%
		Temperatura (°C)	64 (Temp. Baja)	BYP exp 1:	14.00	21.00	10.50					
				AYP exp 1:	212.00	134.00	144.50					
		Tiempo (hrs)	4 (Tiempo bajo)	Rendimiento:	10.23%	10.57%	10.30%					
				Humedad :	7.16%	4.94%	6.03%					
2	16/11/23	Variedad	Dorada	HYD exp 2:	96.40	94.00	85.40	91.93	21.77	108.27	10.54%	8.11%
		Temperatura (°C)	64 (Temp. Baja)	BYD exp 2:	3.20	30.10	32.00					
				AYD exp 2:	147.40	84.80	92.60					
		Tiempo (hrs)	7 (Tiempo bajo)	Rendimiento:	10.96%	10.8%	9.9%					
				Humedad :	5.95%	7.96%	10.43%					
3	15/11/23	Variedad	Perla	HYP exp 3:	115.60	116.00	115.50	115.70	64.23	176.23	13.54%	7.39%
		Temperatura (°C)	65 (Temp. Alta)	BYP exp 3:	66.70	2.00	124.00					
				AYP exp 3:	216.60	122.00	190.10					
		Tiempo (hrs)	7 (Tiempo bajo)	Rendimiento:	13.48%	12.98%	14.15%					
				Humedad :	6.14%	9.19%	6.85%					
4	17/11/23	Variedad	Dorada	HYD exp 4:	129.70	122.40	124.10	125.40	30.77	166.60	14.49%	12.79%
		Temperatura (°C)	70 (Temp. Alta)	BYD exp 4:	8.60	76.30	7.40					
				AYD exp 4:	216.10	164.70	119.00					
		Tiempo (hrs)	4 (Tiempo bajo)	Rendimiento:	14.8%	14.0%	14.7%					
				Humedad :	14.71%	12.97%	10.70%					
5	16 - 17/11/23	Variedad	Perla	HYP exp 5:	152.50	154.50	155.50	154.17	7.77	125.33	18.32%	4.99%
		Temperatura (°C)	63 (Temp. Baja)	BYP exp 5:	6.50	8.80	8.00					
				AYP exp 5:	129.50	127.00	119.50					
		Tiempo (hrs)	12 (Tiempo alto)	Rendimiento:	18.40%	17.86%	18.68%					
				Humedad :	3.43%	3.85%	7.68%					
6	22/11/23	Variedad	Dorada	HYD exp 6:	104.80	102.00	104.50	103.77	36.33	139.17	13.12%	6.07%
		Temperatura (°C)	63 (Temp. Baja)	BYD exp 6:	68.00	18.00	23.00					
				AYD exp 6:	171.00	58.00	188.50					
		Tiempo (hrs)	8 (Tiempo alto)	Rendimiento:	11.74%	12.20%	15.42%					
				Humedad :	6.17%	7.10%	4.96%					
7	15-16/11/23	Variedad	Perla	HYP exp 7:	107.00	106.00	107.50	106.83	5.23	152.70	13.94%	8.04%
		Temperatura (°C)	70 (Temp. Alta)	BYP exp 7:	5.20	4.00	6.50					
				AYP exp 7:	150.50	192.60	115.00					
		Tiempo (hrs)	14 (Tiempo alto)	Rendimiento:	12.42%	12.60%	16.79%					
				Humedad :	5.04%	9.26%	9.83%					
8	22-23/11/23	Variedad	Dorada	HYD exp 8:	129.50	128.50	128.50	128.83	22.57	132.30	15.85%	10.64%
		Temperatura (°C)	70 (Temp. Alta)	BYD exp 8:	2.20	53.00	12.50					
				AYD exp 8:	172.40	158.50	66.00					
		Tiempo (hrs)	14 (Tiempo alto)	Rendimiento:	16.83%	14.69%	16.04%					
				Humedad :	5.08%	7.30%	19.55%					

Cálculos de matriz de cálculo para obtención de harina de yuca

Nombre de la materia que entra al flujo	Peso en gramos de la materia prima	Operacion unitaria	Perdidas por operacion unitaria en gramos	Nombre del desecho	Salida de la operacion unitaria en gramos
Yuca Perla (g)	1,095.90	Recepcion	0.00	-	1,095.90
Yuca Perla (g)	1,095.90	Corte de puntas de las raices	67.50	Puntas de raices	1,028.40
Yuca Perla sin puntas (g)	1,028.40		Seleccion	0.00	-
Yuca Perla Seleccionada (g)	1,028.40	Lavado	2,007.10	Agua con impurezas	1,021.30
Agua (g)	2,000.00				
Yuca limpia (g)	1,021.30	Pesado	0.00	-	1,021.30
Yuca limpia y pesada (g)	1,021.30	Pelado	160.00	Cascara	861.30
Yuca sin cascara (g)	861.30				
Yuca Cortada (g)	851.97	Troceado	9.33	Perdida por corte	851.97
Yuca Cortada (medallones 1 cm)	851.97				
Agua (g)	1,000.00	Remojo	962.60	Agua con bicarbonato y almidon superficial	890.37
Bicarbonato de sodio (NaHCO3) (g)	1.00				
Yuca Cortada con sodio (g)	890.37	Triturado	50.80	Perdida por triturado	1,499.57
Agua (g)	660.00				
Yuca triturada con agua (g)	1,499.57	Primer Lavado	0.00	-	3,499.57
Agua (g)	2,000.00				
Yuca triturada con agua (g)	3,499.57	Primer Filtrado	3,072.67	Agua con almidon	426.90
Yuca triturada con almidon (g)	426.90	Segundo Lavado	0.00	-	2,426.90
Agua (g)	2,000.00				
Yuca triturada con almidon (g)	2,426.90	Segundo Filtrado	2,166.50	Agua con almidon	260.40
Yuca sin almidon y semi seca (g)	260.40	Pesado	0.00	-	260.40
Yuca sin almidon y semi seca (g)	260.40	Secado	152.90	Humedad en forma de vapor de agua	107.50
Yuca seca (g)	107.50	Molienda Intermedia 1	2.50	Perdida por molienda	105.00
Yuca seca con distinta granulometria (g)	105.00	Tamizado 1	20.40	Harina de yuca	82.70
			82.70	Yuca seca a resposesar	
Yuca seca a resposesar	82.70	Molienda Fina 1	2.50	Perdida por molienda	80.20
Yuca seca con distinta granulometria (g)	80.20	Tamizado 3	67.70	Harina de yuca	14.00
			14.00	Yuca seca a resposesar	
Total de harina de yuca =			88.10		
Total de Bora de yuca (subproducto) =			14.00		



Tratamiento de subproducto

Condiciones de secado: Temp 64°C
y tiempo de 4 horas

Tratamiento de subproducto (Almidón)

Nombre de la materia que entra al flujo	Peso en gramos de la materia prima	Operacion unitaria	Perdidas por operacion unitaria en gramos	Nombre del desecho	Salida de la operacion unitaria en gramos
Yuca triturada con almidon (g)	2,426.90	Segundo Filtrado	2,108.90	Agua con almidon	2,108.90
Almidon humedo	5,181.57	Sedimentado	4875	Agua con poco almidon	306.57
Almidon humedo	306.57	Pesado	0.00	-	306.57
Almidon humedo	306.57	Secado	93.97	Humedad en forma de vapor de agua	212.60
Almidon seco	212.60	Molienda Intermedia	0.60	Perdida por molienda	212.00

Tabla de Tamizado

Numero de Tamiz	Molienda Intermadia 1 (g)	Molienda Intermadia 2 (g)
Tamiz 8	-	-
Tamiz12	-	-
Tamiz 20	11.7	14
Tamiz 50	71	59.3
Tamiz 80	10.9	5.2
Tamiz 140	4.3	1.3
Tamiz 230	1.7	0.6
Fondo	3.5	1.3
Total de harina por molienda	20.4	67.7
Total de yuca seca para reprocesado de molienda	82.7	14
Total de harina final (g) :	88.1	
Total de Bora final (g):	14	