



DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA

**TRABAJO FIN DE MÁSTER EN TECNOLOGÍA Y CALIDAD
EN LAS INDUSTRIAS AGROALIMENTARIAS**

**Desarrollo de un producto de panificación
mediante harina compuesta de
trigo, mandioca y soja**

MARCOS FRANCISCO BALLAT

Pamplona, Junio de 2014

Dirigido por:

Dr. Iñigo Arozarena Martincorena

Dra. Remedios Marín Arroyo

Iñigo Arozarena Martinicorena y M^a Remedios Marín Arroyo, profesores del Departamento de Tecnología de Alimentos, autorizan la presentación por parte de Marcos Francisco Ballat del Trabajo Fin de Master titulado “*Desarrollo de un producto de panificación mediante harina compuesta de trigo, mandioca y soja*”.

En Pamplona, a 19 de junio de 2014

Fdo. Iñigo Arozarena Martinicorena

Fdo. M^a Remedios Marín Arroyo

Agradecimientos

En primer lugar deseo expresar mi más sincero agradecimiento a Dios-todo-poderoso por estos momentos tan importantes en mi vida. Agradezco en especial a mis directores de trabajo de Fin de Máster, Dr. Iñigo Arozarena Martincorena y Dra. Remedios Marín Arroyo por tantas horas de dedicación, por todos los consejos, por haberme dado la oportunidad de comenzar en el mundo de la investigación y por todos los momentos de trabajo que hemos pasado.

Me gustaría agradecer también a Universidad Pública de Navarra, especialmente al Departamento de relaciones exteriores, por la Beca que me han concedido para realización de este estudio, a Susana Irisarri, y Carmen Torres, que siempre estaban dispuestas a ayudarme y, agradecer también a la Universidad Católica de Mozambique, Facultad de Ingeniería por confiar en mí.

También dar gracias a todos compañeros de Departamento de Tecnología de Alimentos por esos momentos todos durante la investigación, especialmente a Iñaki, Nelly, Gloria, Juanjo, Gustavo, Idoya, Yareth, Gaizka y a todos profesores de máster.

No podía dejar de mencionar a los compañeros que trabajaban conmigo durante las clases y que siempre se predisponían a colaborar en todos trabajos, enseñándome a trabajar en equipo y aclarar las dudas en las clases: Eva Purroy Arnó y Álvaro Chavarrias Navarro, quien han demostrado ser grandes compañeros, que me han enseñado a ver el mundo en una perspectiva distinta.

Para finalizar, agradecer a mis padres, mis hermanos, novia por toda su ayuda y cariño, comprensión, paciencia, por esos momentos todos lejos de casa. Gracias a todos que siempre estuvieron dándome ánimos cuando más lo necesitaba.

Índice General

Resumen.....	9
1. Introducción	11
2. Antecedentes	13
1.1. Trigo.....	13
1.1.1. Clasificación de trigo	14
1.1.2. Composición química.....	16
1.1.3. Trigo en Mozambique	17
1.2. Soja.....	18
1.1.1. Aspectos generales y composición química	18
1.3. Mandioca.....	20
1.1.2. Producción de mandioca en Mozambique	22
1.4. Utilización de las harinas compuestas en la elaboración de pan.....	23
3. Objetivos	26
3.1. Plan de trabajo.....	27
4. Material, equipos y métodos.	29
4.4.1. Diseño experimental.....	34
4.4.2. Proceso de elaboración de pan	34
4.4.3. Análisis nutricionales en las harinas	36
4.4.3.1. Humedad	36
4.4.3.2. Cenizas	37
4.4.3.3. Determinación de contenido en lípidos	37
4.4.3.4. Contenido de proteínas.....	38
4.4.3.5. Contenido de fibra.....	39
4.4.4. Métodos de análisis instrumentales de los panes	40
4.4.4.1. Medición de peso, altura y volumen	40
4.4.4.2. Determinación de la textura	40
4.4.4.3. Determinación de color	41
4.4.4.4. Análisis sensorial.....	42
4.4.4.5. Análisis estadístico	43
5. Resultados y discusión	44
5.1. Caracterización nutricional básica de las harinas y de los panes	44
5.2. Resultados del diseño de mezcla.....	47

5.2.1.	Resultados de las determinaciones instrumentales	47
5.2.2.	Modelos predictivos de las variables instrumentales	49
5.2.3.	Análisis de correlaciones lineales y de componentes principales	56
5.2.4.	Optimización múltiple de las variables instrumentales	58
5.3.	Resultados de las pruebas sensoriales	63
6.	Conclusiones	72
7.	Referencias	74
8.	Anejos	77

Índice de figuras

Figura 1: morfología del grano de trigo.	14
Figura2: principales productos alimentarios importados en Mozambique, 2011)	18
Figura 3: Producción de mandioca en el mundo (Fuente: FAOSTAT).....	22
Figura 4: Producción de alimentos en Mozambique (Fuente: FAOSTAT)	22
Figura 5: Amasadora espiral	30
Figura 6: cámara de fermentación.....	30
Figura 7: Horno eléctrico	31
Figura 8: Equipo de digestión	31
Figura 9: equipo de destilación	31
Figura 10: Extractor soxhlet.....	32
Figura 11: Múfula	32
Figura 12: Texturómetro TA-XT.Plus	33
Figura 13: Colorímetro.....	33
Figura 14: Diagrama de flujo de fabricación de pan	35
Figura 15: Digestión de proteína.....	38
Figura 16: Pie de rey	40
Figure 17: semillas de colza	40
Figura 18: gráfica de color de espacio CIELab.....	42
Figura 19: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre la altura del pan	51
Figura 20: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre la altura del pan	51
Figura 21: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre la firmeza del pan	51
Figura 22: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre el componente L* de la miga del pan.....	53
Figura 23: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre el componente a* de la miga del pan.....	53
Figura 24: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre el componente b* de la miga del pan.....	54
Figura 25: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre el componente L de la corteza del pan.....	55
Figura 26: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre el componente a* de la corteza del pan.....	55
Figura 27: Influencia de las harinas alternativas sobre b* de la corteza	55
Figura 28: Correlación entre las distintas variables	57
Figura 29: componentes principales entre las formulaciones de pan.....	57
Figura 30: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre la función de deseabilidad (optimización 1)	59
Figura 31: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre la función de deseabilidad (optimización 2)	60
Figura 32: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre la función deseabilidad (optimización 3)	61
Figura 33: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre la función deseabilidad (optimización 4)	61
Figura 34: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre la función deseabilidad (optimización 5)	62
Figura 35: Fotografía de los panes evaluados sensorialmente	63

Figura 36: Sexo de los catadores.....	65
Figura 37: Edad de los catadores.....	65
Figura 38: Frecuencia de consumo del pan por parte de los catadores	66
Figura 39: Evaluación de apariencia de los panes (rebanadas)	67
Figura 40: Evaluación del color de los panes (rebanadas)	67
Figura 41. Evaluación de la apariencia de los panes enteros	68
Figura 42: Evaluación del color de los panes enteros	68
Figura 43: Evaluación de volumen de los panes enteros.....	68
Figura 44: Evaluación de sabor de los panes	69
Figura 45: Evaluación de la textura de los panes	70
Figure 46: Evaluación global de los panes.....	70

Índice de tablas

Tabla 1: destino del consumo mundial de trigo, 1997-98	13
Tabla 2: composición química del trigo (expresada en % sobre peso seco)	16
Tabla 3: composición química de los componentes de grano de soja.....	20
Tabla 4: composición química de harina de mandioca	21
Tabla 5: Harina de trigo	29
Tabla 6: Harinas de mandioca y soja	29
Tabla 7: Diseño experimental de mezcla	34
Tabla 8: Formulación base de preparación de pan.....	35
Tabla 9: Característica química de las harinas (g/100 g de base húmeda).....	44
Tabla 10: Característica química de las harinas (g/100 g de base seca).....	45
Tabla 11: Composición nutricional de los panes (g/100g base húmeda)	45
Tabla 12: Resultados de altura, volumen, fuerza máxima y firmeza de las formulaciones (media \pm desviación estándar).....	48
Tabla 13: Resultados de color (CIELab) de las formulaciones (media \pm desviación estándar) ..	48
Tabla 14: Resultados de los modelos predictivos para las variables de altura, volumen y textura	50
Tabla 15: Resultados de los modelos predictivos para las variables CIELab	52
Tabla 16: Resultado de las correlaciones lineares.....	56
Tabla 17: Valores mínimos y máximos observados para las variables incluidas en la optimización múltiple.....	58
Tabla 18: Características predichas en el pan tras la optimización múltiple 1.....	59
Tabla 19: Características predichas en el pan tras la optimización múltiple 2.....	60
Tabla 20: Características predichas en el pan tras la optimización múltiple 3.....	60
Tabla 21: Características predichas en el pan tras la optimización múltiple 4.....	61
Tabla 22: Características predichas en el pan tras la optimización múltiple 5.....	62
Tabla 23: Características instrumentales de volumen, altura y textura de los panes evaluados sensorialmente.....	63
Tabla 24: Características instrumentales de color de los panes evaluados sensorialmente.....	64
Tabla 25: Composición nutricional de los panes (g/100 g base húmeda)	64
Tabla 26: Resultados del ANOVA simple (tipo de pan) con los datos de la prueba de preferencias mediante escala hedónica.....	66
Tabla 27: Identificación de los grupos homogéneos de la ordenación por preferencia	71

Resumen

Mozambique es uno de los países más pobres del mundo, según el índice de desarrollo humano. La mala nutrición es uno de los principales problemas que afecta al país. El pan constituye uno de los principales productos alimentarios consumidos en Mozambique. La producción y el precio del pan en el país dependen de la disponibilidad y precio del trigo, que se importa en su totalidad. En este trabajo se plantea la utilización de harinas alternativas en la panificación para obtener un pan mejor nutricionalmente y/o menos costoso, empleando harina de soja integral, por su riqueza nutricional, y harina de mandioca, por tratarse de un producto muy abundante y barato en Mozambique.

El objetivo por lo tanto del presente trabajo fue principalmente el desarrollar un producto panificado con harina compuesta de trigo, soja y mandioca, con características físico-químicas, nutricionales y de apreciación sensorial semejantes a las de un pan hecho exclusivamente a base de 100% de trigo.

Se realizó un análisis nutricional básico de las harinas empleadas, resultando que la harina de soja presentaba una mayor riqueza y equilibrio nutricional, destacando su contenido en proteínas y lípidos, mientras que la harina de mandioca era un producto fundamentalmente rico en hidratos de carbono.

Se realizó un diseño de mezclas en las que la harina de trigo fue sustituida hasta un 30 % mediante harinas de soja y/o mandioca en proporciones entre 0 % y 30 %. Se observó un efecto negativo muy marcado de la soja sobre el volumen, la altura y la firmeza de la miga, además de provocar un color de la miga hacia menos luminoso y más amarillo, y un oscurecimiento y enrojecimiento muy intenso de la corteza. El efecto más destacado de la incorporación de la harina de soja fue un significativo blanqueamiento de la corteza del pan.

Tras un proceso de optimización múltiple se seleccionaron tres formulaciones para realizar pruebas de evaluación sensorial por preferencia: pan 100% trigo, pan con 70% trigo y 30% mandioca, y pan con 85% trigo, 5% soja y 10% mandioca. Los resultados de la prueba de aceptación mediante escala hedónica y la ordenación por preferencias, indicaron que el pan que incorporaba tanto soja como mandioca era el que más se acercaba en la apreciación sensorial al pan de referencia, 100% trigo, sobre todo

en las valoraciones de tipo visual (color, apariencia). El pan elaborado con una harina compuesta con un 30% de harina de mandioca era peor valorado por su color pálido, aunque su sabor era más apreciado que la formulación que incorporaba soja.

El presente trabajo demuestra que existe la posibilidad de obtener panes en los que la harina de trigo sea sustituida parcialmente con proporciones bajas de harinas de soja y de mandioca, o bien con proporciones de hasta el 30% de harina de mandioca. En el primer caso el pan resultante tendrá un perfil nutricional más adecuado, mientras que la segunda opción sería particularmente interesante en Mozambique desde el punto de vista económico.

1. Introducción

El pan es un alimento de consumo habitual en la mayoría de los países del mundo. Usualmente se elabora mediante la cocción de una masa de mezcla de harina de trigo y agua fermentada por levadura (*Saccharomyces cerevisiae*).

El proceso de fabricación fue uno de los grandes descubrimientos importantes de la humanidad. El pan ha representado un papel muy importante en el desarrollo del género humano, también constituye una de las principales fuentes de alimentación de los hombres. Actualmente contribuye a una alimentación de convivencia y variada, constituye un componente dietético saludable y un representante fuente económico (Dobraszczyk 2001).

El trigo es el cereal más utilizado en la industria de panificación, entretanto en las últimas décadas se verifica tanto una disminución de sus stocks a nivel como el aumento de su precio.

Mozambique es uno de los países más pobres del mundo, a pesar de las tasas elevadas de crecimiento que se registran durante los últimos años. Casi un 54 % de su población vive por debajo del umbral de la pobreza; de esa tasa, 80 % de las personas más vulnerables vive en las zonas rurales en base de agricultura subsistencia (FAO). Segundo el informe de Índice de Desarrollo Humano (HDI 2013), su categoría se encuentra en los países más pobres del mundo, es decir 185 de 187 países y territorios. En 2011, el ranking del Índice de Desarrollo Humano del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) se encontraba en 184 entre 187 países incluidos en el informe; solamente Burundi, Níger y la República Democrática del Congo tenían los índices más bajos comparando con Mozambique.

Según la estimación de FMI el PIB per cápita de Mozambique en 2011 sería de 551 USD, un incremento considerable comparando con los 439 USD de 2010 (Oficina Económica y Comercial de España en Johannesburgo 2012).

El trigo en Mozambique es adquirido en el mercado internacional, sobre todo en Australia y Rusia, pero las cantidades importadas no son suficientes para sustentar a toda la población. Más allá de importar trigo, Mozambique es una potencia mundial en producción y exportación de mandioca.

Por otra parte, la proteína de trigo así como las proteínas de maíz, arroz, sorgo, etc., contiene un bajo Índice de Eficiencia Proteica (PER) debido a la deficiencia en lisina y triptófano. La mezcla de harina de trigo y de mandioca (producido en Mozambique) disminuiría la dependencia exterior pero no permitiría aumentar el valor nutricional pues la mandioca es un producto pobre en proteínas, grasas y lípidos. La utilización de harina de soja en la sustitución parcial de harina de trigo presenta buena calidad tecnológica y nutricional (El-Dash A. A., Cabral L. C. *et al.* 1994). La sustitución parcial de las harinas trigo con harina de soja aumenta el valor nutricional ya que la soja constituye una buena fuente del aminoácido lisina

2. Antecedentes

1.1. Trigo

El trigo pertenece al género *Triticum*, de la familia Gramineae. Con el término trigo, se designa tanto a la planta tanto como a las semillas. El trigo es uno de los cereales más cultivados en el mundo, junto al maíz y el arroz, siendo cultivado preferentemente para el consumo humano y en menor cantidad para piensos. El grano de trigo se utiliza para producir harina, sémola y malta, así como una gran variedad de productos alimentarios como pan, galletas, cerveza, whisky, aperitivos, pastas, etc. (Leon A. E. and Rosell C. M. 2007).

La producción mundial de trigo presenta unos 28,5 % (584 millones de toneladas) de la producción total de cereales, siendo 28,1 % de maíz (577 millones de toneladas) y 27,4 % de arroz (562 millones de toneladas) (Dendy D. A. V. and Dobraszczyk B. J. 2004).

Aproximadamente el 70 % de la producción mundial de trigo se destina a la producción de productos de panificación para la elaboración de productos como pan, bollería y galletas, también se utiliza sus derivados para la alimentación animal. El trigo representa la principal fuente de proteína y fibra dietética para la mayoría de personas en el mundo (tabla 1) (Dendy D. A. V. and Dobraszczyk B. J. 2004).

Tabla 1: destino del consumo mundial de trigo, 1997-98

Destino	M toneladas	(% total)
Alimentación humana	426,0	72,3
Pienso animal	95,4	16,2
Semilla	32,7	5,6
Otros	34,2	5,9
Total	588,6	100

Fuente: (Dendy D. A. V. and Dobraszczyk B. J. 2004)

Morfológicamente el grano de trigo se puede dividir en tres partes diferentes: el endospermo, representa la mayor parte del grano; la capa de salvado, que envuelve el grano y el germen, que incluye el embrión y el escutelo. (Figura 1).

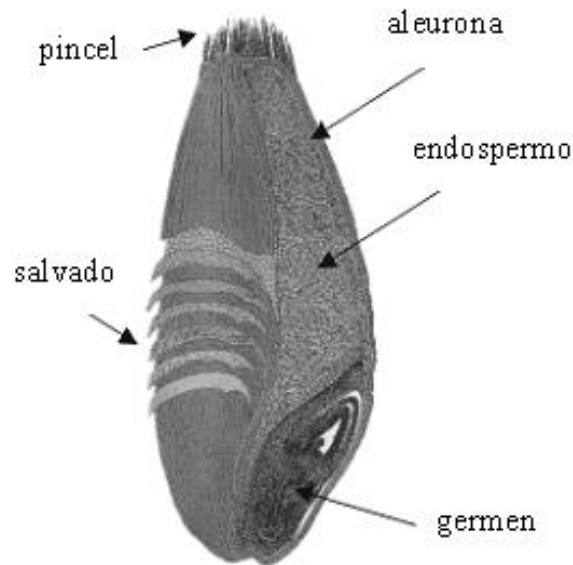


Figura 1: morfología del grano de trigo.

Fuente: (Leon A. E. and Rosell C. M. 2007)

1.1.1. Clasificación de trigo

El trigo se puede clasificar de acuerdo con las características de cultivo, grano y de su comportamiento durante su proceso (AEMP 2012).

Clasificación según la textura del endospermo

→Trigo vítreo

La textura del endospermo es vítrea (cristalina, cornea, pétrea, acerada), el carácter vítreo es hereditario, pero puede ser afectado por las condiciones ambientales, uso de fertilizantes. Los granos son translucidos y brillantes, al contrario de los harinosos que son opacos y más oscuros.

→Trigo harinoso

La textura del endospermo es harinosa (feculenta y yesosa), la característica harinosa es hereditaria y se ve afectada por las condiciones ambientales, siendo favorecida con las lluvias fuertes, suelos arenosos ligeros y plantación muy densa.

La opacidad de los granos harinosos se debe a la presencia de diminutas vacuolas o fisuras llenas de aire en el interior de las células del endospermo, las fisuras forman superficies reflectantes interiores que impiden la transmisión de la luz y dan al endospermo una apariencia blanca.

Clasificación según la dureza del endospermo

La dureza de los trigos es una característica relacionada con la forma en que el endospermo se rompe, tratándose de una cualidad genética relacionada con su capacidad de moler y especialmente su calidad panadera; normalmente, cuanto mayor es la dureza del grano, mayor será el contenido proteico, y por lo tanto, su calidad panadera (Leon A. E. *and* Rosell C. M. 2007).

- **Trigos duros:** producen harina gruesa, arenosa, fluida y fácil de cribar, compuesta por células completas de endospermos; esas células se separan con más limpieza y tienden a permanecer intactas. Son ideales para la elaboración de pastas secas.
- **Trigos blandos:** Producen harina fina, con fragmentos de endospermo de forma irregular. Se cierne con dificultad y tiende a obturar las aberturas de los cedazos. El trigo blando es ideal para la elaboración de panes por su condición de fermentación, facilita el estirado manual de la masa y confiere una textura esponjosa.

Clasificación según la fuerza

- **Trigos fuertes:** son granos con alto contenido proteico, lo que facilita la producción de harina para la panificación con piezas de gran volumen, con buena textura de la miga y corteza y buena conservación.
- **Trigos flojos:** se caracterizan por un contenido proteico bajo. Con este tipo de harina se puede obtener pequeños panes con miga gruesa y abierta. La harina de trigo flojo es ideal para producción de las galletas y otros productos de pastelería, siendo inadecuada para panificación a menos que se mezcle con harinas más fuerte.

1.1.2. Composición química

La harina de trigo es la única que tiene la capacidad de producir gases, formar una masa cohesiva y dar productos aireados y livianos después del proceso de cocción. Esta propiedad es debida a la composición química que tiene el trigo, en especial a las proteínas y su capacidad para formar la red glutéica (Dendy D. A. V. *and* Dobraszczyk B. J. 2004).

La composición del trigo puede variar según las condiciones de su cultivo, el año de cosecha y de la región. En la tabla 2, se presentan la composición química del trigo.

Tabla 2: composición química del trigo (expresada en % sobre peso seco)

Componentes	Cantidad (%)
Humedad	10 – 15
Almidón (por diferencia)	70 – 75
Proteína (N x 5,7)	8 – 16
Celulosa (Fibra)	1,5 – 2
Grasas	1,5 – 2
Azúcares	1 – 2
Materiasminerales (cenizas)	0,5 – 0,6

Hidratos de carbono

Los granos de cereales almacenan energía en forma de almidón, que es el hidrato de carbono mayoritario en el grano de trigo maduro (representa entre 65 – 70 % de la harina de trigo). Las propiedades funcionales del almidón se deben esencialmente a los dos hidratos de carbono con masa molecular mayor: amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula lineal de α -D-glucopiranosas unidas por enlaces α -(1-4)glicosídicos, la amilopectina es un polímero ramificado. La cadena principal está formada por α -D-glucopiranosas unidas por enlaces α -(1-4) (Leon A. E. *and* Rosell C. M. 2007).

Proteínas

Las proteínas de los granos de trigo se dividen en dos grupos: proteínas del gluten y otras proteínas. Las proteínas del gluten constituyen alrededor del 75 – 80 % del total. Las proteínas no integrantes del gluten, representan 20 – 25 % del contenido total, la mayoría se encuentran en las enzimas (Leon A. E. *and* Rosell C. M. 2007).

Gluten de trigo

La harina de trigo es la única de entre todas las harinas de los cereales que tiene la capacidad de retener el gas producido durante el proceso de cocción, y formación de la estructura esponjosa conocida como pan. Esta capacidad se debe fundamentalmente a las proteínas del gluten de la harina de trigo. La capacidad de retención de gas de las masas de harinas de trigo se debe a propiedades viscoelásticas, que es la capacidad de los materiales para exhibir tanto la conducta viscosa (flujo) como la semisólida de conducta elástica que también depende de las condiciones de temperatura, tiempo y deformación experimentada (Dendy D. A. V. *and* Dobraszczyk B. J. 2004).

El gluten de trigo se compone de una mezcla de dos grandes grupos de proteínas: gluteninas y gliadinas. Las gliadinas y gluteninas se distinguen de las albúminas y globulinas que son insolubles tanto en agua como en soluciones salinas. Las gluteninas se diferencian de las gliadinas en que son insolubles en una solución acuosa de etanol al 70 %. Las gliadinas tienen mayor tamaño molecular que las globulinas y albúminas y son polipéptidosmonoméricos. Las gliadinas son prolaminas, que se caracterizan por alto nivel de prolina (15 – 20 %) y glutamina (35 – 45 %), y bajas concentración de lisina (0,2 – 0,9 %). El trigo, como la mayoría de los cereales, tiene déficit de lisina (Dendy D. A. V. *and* Dobraszczyk B. J. 2004).

1.1.3. Trigo en Mozambique

Mozambique tiene un gran potencial agrícola, el 46 % del territorio es apto para la práctica de agricultura y, actualmente sólo se explota unos 14 % del territorio. Actualmente, con el programa de ayuda de la FAO al país, para la agricultura, Mozambique cultiva trigo en la meseta de la región occidental de las provincias de Tete y Manica, en el centro del país (FAO 2011). Aunque se cultive trigo en el país, Mozambique importa la mayor parte de trigo para sustentar las necesidades de la población. El trigo se consume principalmente en las regiones urbanas. En la figura 2 se puede observar los principales productos alimentarios que son importados en Mozambique, donde destaca el trigo como producto de primera necesidad.

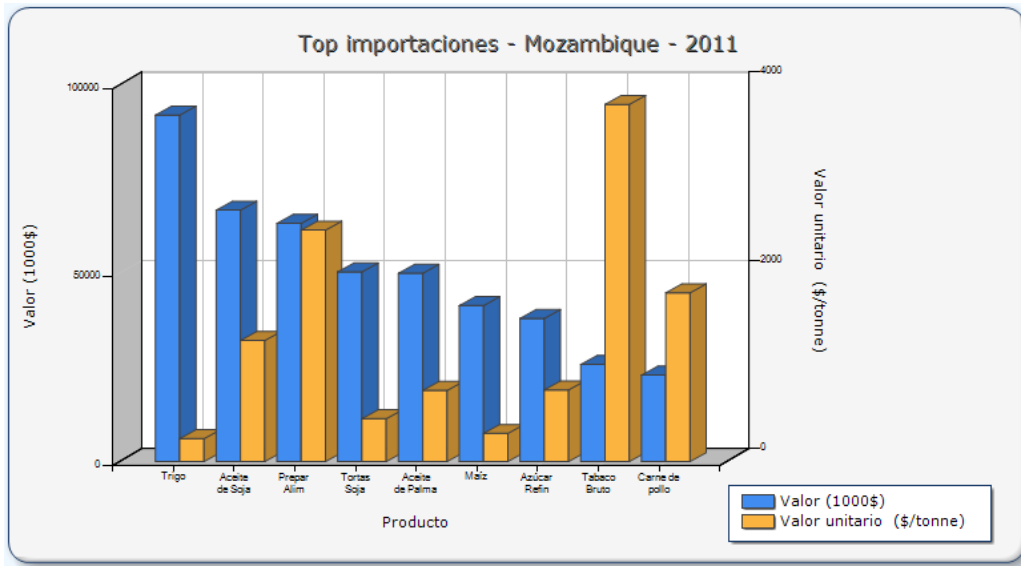


Figura2: principales productos alimentarios importados en Mozambique, 2011)

Fuente: (FAOSTAT 2014)

1.2. Soja

1.1.1. Aspectos generales y composición química

La soja (*Glycine max*), es una leguminosa que pertenece a la subfamilia de las papilionáceas. La planta puede alcanzar entre 80 a 100 cm de altura, las semillas crecen en vainas que se desarrollan hasta unos 3 a 5 cm. Las semillas pueden ser pequeñas o grandes, alargadas, redondas u ovals (León A. E. and Rosell C. M. 2007).

La soja, es considerada una de los productos más antiguos cultivados por el hombre. Las primeras referencias de este cultivo datan del periodo comprendido entre los años 2838 – 2883 a.c. Sin embargo, el consumo de soja no comenzó a ser importante hasta después de la segunda guerra mundial. (León A. E. and Rosell C. M. 2007).

Tras 50 años, la soja era producida en áreas residuales de Asia y era utilizada para la preparación de alimentos tradicionales. En la década de los 50, la soja se tornó una de las fuentes más importantes de aceite comestible y de proteína y también se utilizaba para la industria de piensos. Actualmente, la soja es reconocida como una de las principales fuentes de proteína.

Aunque la soja constituye una de las fuentes más ricas de proteínas y lípidos, su consumo para la alimentación humana todavía es bajo. La soja contiene cerca de 40%

de proteínas, mientras que en las otras leguminosas este porcentaje varía de un 20 a 30%. Además, la soja es consumida principalmente por la población occidental, en forma de aceite y derivados, como la margarina y grasa hidrogenada, y también en forma de ingredientes funcionales para productos industrializados. (El-Dash A. A. *and* Germani R. 1994).

Los aminoácidos limitantes de soja son la metionina y la cisteína, y es rica en lisina. Pero la proteína de soja contiene todos los aminoácidos esenciales para la necesidad humana. En general, las leguminosas presentan déficit de aminoácidos sulfurados. La proteína de soja puede ser usada para complementar las proteínas de los cereales, pues la soja es rica en lisina que es limitante en los cereales que, a su vez, son buena fuente de aminoácidos sulfurados (K. Liu 1997)

La harina integral de soja es un producto obtenido de un sencillo proceso a partir de grano sin proceso de extracción, por lo tanto, contiene todo el aceite original de los granos(El-Dash A. A. *and* Germani R. 1994).

Las harinas, los concentrados y el extracto proteico de la soja pueden ser procesadas en productos texturizados y, pueden ser utilizados como ingredientes fundamentales en la industria de los alimentos, como en la panificación.

En la panificación, los productos derivados de la soja pueden ser usados como clarificadores y conservantes de la harina de trigo. También son utilizadas como ingredientes proteicos en embutidos. Enlatados, postres, quesos, con la función de mejorar el sabor, emulsionantes y mejoradores de la textura.

La soja es una de las fuentes más ricas en ácidos grasos poliinsaturados como el ácido linoléico y ácido linolénico. El ácido linoléico presenta un 53 % de contenido total de ácidos grasos en el aceite, mientras el ácido linolénico presenta aproximadamente de 8 a 12 %. El alto contenido de ácido linolénico en aceite de la soja es responsable de la baja estabilidad oxidativa de los productos derivados (K. Liu 1997).

En el mundo hay una creciente preocupación por consumir alimentos beneficiosos para la salud humana, así como por mejorar la dieta alimentaria de la población, y sobre todo en los países en vías de desarrollo. La soja contiene una gama de compuestos fitoquímicos que son beneficiosos para la salud (El-Dash A. A. *and* Germani R. 1994).

A pesar de todos los componentes benéficos de la proteína de la soja, hay ciertos problemas que limitan su consumo por la población como son su sabor, que está relacionado con la presencia de los aldehídos que se producen durante su procesado. Los aldehídos alteran el sabor de la soja, provocan rancidez del aceite y disminuyen la vida útil de los alimentos y derivados de la misma. La presencia de isoflavonas confiere un intenso sabor amargo y astringente a los productos de la soja (Envagelista C. M. and Regitano-d'Arce M. A. B. 1997).

La composición química de la semilla de soja puede variar de acuerdo a las condiciones de cultivo. En la tabla 3 se observa la composición química de los distintos componentes de grano de soja.

Tabla 3: composición química de los componentes de grano de soja

Componente de la semilla	Proteínas (%)	Lípidos (%)	Carbohidratos (%)	Cenizas (%)
Cotiledón	43	23	43	5,0
Cubierta	9	1	86	4,3
Hipocotíleo	41	11	43	4,4
Semilla completa	40	20	35	4,9

*Valores porcentuales expresados en base seca.

Fuente: (León A. E. and Rosell C. M. 2007)

1.3. Mandioca

La mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), pertenece a la familia *Euphorbiaceae*. La mandioca recibe diferentes nombres comunes: yuca en el norte de América del Sur, América Central y las Antillas; mandioca en Argentina, Brasil, Mozambique y Paraguay; cassava en países anglo-parlantes; guacamote en México y mhogo en los países de África oriental (Frete F. 2010).

La planta de mandioca crece en condiciones tropicales: en los trópicos húmedos y cálidos de tierras bajas, en los trópicos de altitud media y en los subtrópicos con inviernos fríos y lluvias de verano. Presenta una ventaja comparativa con otros cultivos más rentables de crecer en suelos ácidos, de escasa fertilidad, con precipitaciones esporádicas o largos periodos de sequía (Frete F. 2010).

Variedades de mandioca

Las variedades de mandioca más destacadas son presentadas a continuación:

- La amarga, perteneciente a la especie *Manihot esculenta*, que se utiliza para la extracción de almidón.
- La dulce, también pertenece a la especie *Manihot esculenta*, utilizada para el consumo o alimentación después de cocida, y también para la industria.

La mandioca contiene toxinas, glucósidos cianogénicos, tanto en las raíces como en las hojas, lo que constituye un factor determinante para su uso final. Muchas de las variedades dulces tienen niveles bajos de concentración de glucósidos y pueden ser consumidas de manera segura después del proceso de cocción. Las variedades amargas, que tienen niveles elevados de glucósidos necesitan de un procesado adecuado para ser consumidas (Aristizábal Johana, Sánchez Teresa *et al.* 2007).

Dependiendo del uso final, la mandioca puede ser clasificada como de calidad culinaria, cuando se utiliza para el consumo directo humano; industrial, cuando se utiliza para la producción de subproductos como harina, almidón, trozos secos, y de doble propósito, cuando se utiliza tanto para el consumo humano como industrial.

Propiedades nutricionales de la harina de mandioca

Las propiedades de la harina de mandioca se pueden observar en la tabla 4.

Tabla 4: composición química de harina de mandioca

Componentes	(por 100 g de base seca)
Humedad (%)	3,14 - 11,9
Hidratos de carbono	80 - 90
Proteína (%)	0,57 - 1,08
Grasa (%)	0,15 - 1,39
Fibra (%)	0,57 - 2,75
Cenizas (%)	0,48 - 1,12

Adaptado de FAO, 2013

1.1.2. Producción de mandioca en Mozambique

Mozambique es uno de los productores más importantes de mandioca en el mundo. Según la FAO (FAO 2011), se sitúa en octavo puesto de los países productores de mandioca a nivel mundial, entre los cuales Nigeria ocupa el primer punto en África y quinto a nivel mundial (Figura 3).

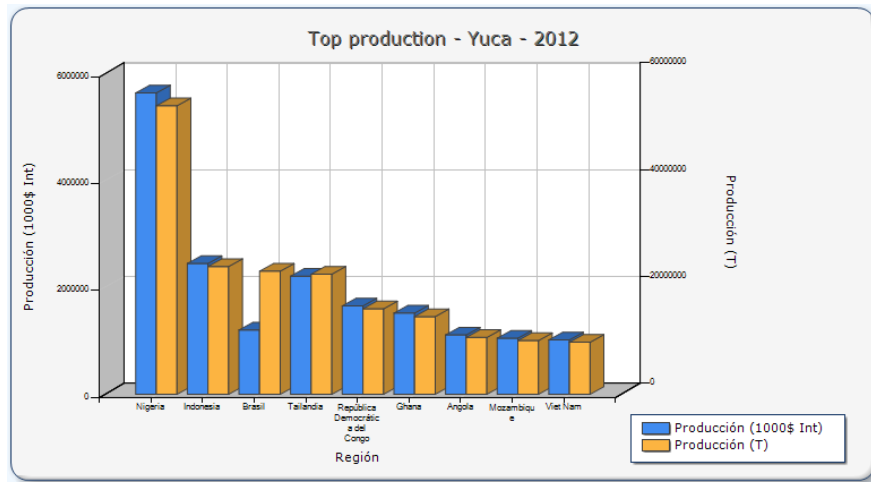


Figura 3: Producción de mandioca en el mundo (Fuente: FAOSTAT)

En Mozambique la mandioca es el principal cultivo seguido de azúcar de caña y maíz (Figura 4). Al igual que el maíz, la mandioca se produce para consumo humano, siendo uno de los principales componentes en la dieta de la población de la zona norte del país.

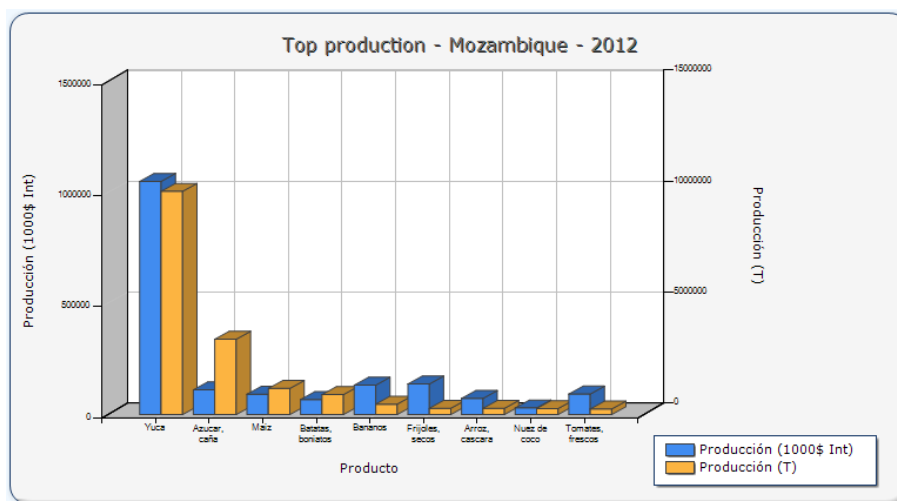


Figura 4: Producción de alimentos en Mozambique (Fuente: FAOSTAT)

1.4. Utilización de las harinas compuestas en la elaboración de pan

Las harinas compuestas se pueden considerar como mezclas de harinas de trigo y de harinas procedentes de otros cereales para la elaboración de productos horneados, tanto fermentados como no fermentados, y de pastas(Dendy D. A. V. *and* dobraszczyk B. J. 2004).

Las harinas compuestas básicamente tienen dos funciones diferentes: por razones económicas y/o políticas se puede reducir el uso de trigo por sustitutos de forma parcial o total, y también se pueden utilizar harinas compuestas para cambiar las características nutritivas del producto, a través del enriquecimiento con proteínas, vitaminas o minerales(Dendy D. A. V. *and* dobraszczyk B. J. 2004).

El uso de los derivados de soja en panificación depende de que las formulaciones desarrolladas conserven sus características y calidad. Los componentes de soja, debido a sus características y funcionalidad, afectan las propiedades sensoriales del producto final como la apariencia, el color, sabor, olor, aroma y textura(El-Dash A. A., Cabral L. C. *et al.* 1994).

La fortificación de harinas de trigo con derivados de soja incrementa la cantidad de las proteínas y la calidad nutricional. El contenido de proteínas de un pan elaborado con una receta básica suele tener un porcentaje de proteínas de entre 8 a 11 %; este valor se puede elevar hasta 15 – 16 % añadiendo derivados de la soja(León A. E. *and* Rosell C. M. 2007).

La suplementación de harina de trigo con harina de soja en altos porcentajes (20 % o más) puede provocar efectos no deseados en el proceso de elaboración y la calidad de producto final, como la modificación de las propiedades reológicas de las masas, la capacidad de retención de gas, el volumen y la textura del producto final (Dhingra S. *and* Jood S. 2004).

La incorporación de harinas mixtas con el objetivo de sustituir parcialmente la harina de trigo para reducir las importaciones en los países no productores, empezó en la década de los 60. Muchas investigaciones fueron desarrolladas con el propósito de sustituir la harina de trigo con otras harinas (EL-DASH A. A., CAMARGO C. O. *et al.* 1979).

Ivanovski *et al.* (Ivanovski B., Seetharaman K. et al. 2012) elaboraron un pan modificado, sustituyendo de un 12 a un 20 % de la harina de trigo con harina de soja y proteínas aislada de soja. El perfil sensorial del pan elaborado con el 20 % de harina de soja fue considerado como aceptable y comparable al pan control, en los estudios de aceptabilidad con consumidores, a pesar de presentar un intenso sabor “a semilla”. Los panes elaborados con proteínas aisladas de soja eran más firmes, más ácidos, amargos y astringentes y presentaban sabor “a semilla”, y fueron significativamente peor valorados por los consumidores.

Viswanathan *et al.* (Viswanathan K. and Ho P. 2014) realizaron un estudio de fortificación de galletas con proteínas de alubias rojas. Se prepararon galletas con proporciones de 5 %, 15 % y 25 % de proteína de alubias. Los resultados obtenidos apuntan que añadiendo 5 % de harina de alubia no hay diferencias significativas con el control en términos de composición nutricional ni en las características físicas.

De acuerdo con otro estudio (Lodi A. and Vodovotz Y. 2008), la fortificación de pan con almendra permite aumentar el volumen y mejora el alveolado de la miga, pero disminuye la firmeza. En este mismo estudio también se concluyó que la presencia de soja permite retrasar el envejecimiento (retrogradación) del pan.

En otra investigación (Dhinda F., Lakshmi A. J. *et al.* 2012) se estudió el efecto de sustitución de harina de trigo con aislado proteico de soja, salvado de avena y harina de garbanzo (SPOBPC) en proporciones de 20 %, 40 % y 60 %. Los resultados del estudio indicaron que, con estas adiciones disminuye la estabilidad farinográfica de la masa. También concluyeron que añadiendo 60 % de SPOBPC, resulta un pan con forma plana irregular. En cuanto al perfil nutricional, el pan con 40 % de SPOBPC + hidroxipropilmetilcelulosa, mostró mayor contenido de proteína y un menor índice de hidrólisis de almidón comparando con pan control.

En otro estudio (Dhingra S. and Jood S. 2004) sobre el efecto de sustitución parcial de harina de trigo con harinas de soja en proporciones del 5 %, 10 %, 15 % y 20 %, se constató que el volumen de pan disminuye cuando se añaden mayores porcentajes de harina de soja; también se observó que el color de la miga cambia de blanco a amarillo y aumenta la firmeza de la miga. En cuanto al perfil sensorial se concluyó que, cuanto más alto era el contenido de soja la aceptabilidad era menor. Los panes con un 10 % y 15 % todavía resultaban aceptables.

Idoio (Idolo I. 2011), realizó un trabajo sobre sustitución de harina de trigo con harina de patata dulce en proporciones de 15 %, 20 % y 25 %. Del estudio concluyo que se producía una ligera disminución de proteínas y grasas incrementando la suplementación de patata dulce. Por otra parte, el contenido de cenizas y fibras crudas aumentó con el aumento de patata dulce. Los resultados de evaluación sensorial no mostraron diferencias significativas entre las muestras. Además, en términos de color, el pan con 25 % obtuvo mejor puntuación.

3. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es el de desarrollar un producto de panificación con una harina compuesta, en la que la harina de trigo fuera parcialmente sustituida por harina de mandioca y/o harina de soja.

La harina de mandioca se emplea por tratarse de una materia muy abundante en Mozambique, por lo que su uso en panificación podría ser factible, económico, y permitiría reducir la dependencia de las importaciones de trigo. Si bien la soja no es un cultivo importante, está comenzando a introducirse en el país, y se ha elegido por sus reconocidas propiedades nutricionales, tanto a nivel proteico como de composición lipídica.

Este producto deberá tener unas características físico-químicas, nutricionales y sensoriales adecuadas. En este trabajo se entiende por propiedades físico-químicas adecuadas que el producto adquiriera un volumen, textura (firmeza), y color (miga, corteza) lo más semejantes posible a las propias del pan elaborado exclusivamente con harina de trigo. En la medida de lo posible el producto obtenido deberá tener unas características nutricionales semejantes o mejores que las del pan de trigo, y finalmente, el producto deberá ser valorado positivamente por los consumidores.

3.1. Plan de trabajo

Para alcanzar los objetivos establecidos, se desarrollaron una serie de actividades:

3.1.1. Determinación de las composiciones de las harinas

- Revisión bibliográfica en torno de las harinas compuestas para elaborar productos de panificación.
- Análisis de la bibliografía para determinación de los parámetros físico-químicos de los panes.
- Selección y búsqueda de las harinas de soja y mandioca.

3.1.2. Puesta a punto de los métodos

- Métodos de análisis nutricional de las harinas:
- Determinación de humedad.
- Determinación de contenido de cenizas.
- Determinación de contenido bruto en materias lipídicas.
- Determinación de contenido en fibras totales dietéticas.
- Métodos de análisis instrumental de los panes:
- Análisis instrumental de color en la miga y corteza (CIELab).
- Determinación de la textura de los panes: fuerza máxima y firmeza.
- Determinación de volumen y altura.

3.1.3. Puesta a punto del procesado de los panes:

- La puesta a punto del procesado de los panes incluyó los siguientes aspectos:
- Establecer la cantidad de materia prima y de agua a ser utilizada.
- Establecer tiempo de amasamiento.
- Establecer las condiciones de fermentación: tiempo, temperatura y humedad relativa
- Establecer el peso de masa para cada pan individual.

- Establecer el tiempo y temperatura de cocción.

3.1.4. Definición del diseño experimental

- Realización de pruebas preliminares para establecer los niveles máximos de sustitución de la harina de trigo con harinas de soja y de mandioca.
- Selección del diseño de mezclas.

3.1.5. Análisis nutricional básico de las harinas

- Se analizó el contenido en humedad, cenizas, proteínas, lípidos totales y fibras dietéticas totales en las tres harinas.

3.1.6. Ejecución del diseño de mezclas y análisis estadístico

- Elaboración de las diferentes formulaciones del diseño
- Realización de las medidas instrumentales relativas al volumen, textura y color.
- Obtención de los modelos predictivos para cada una de las medidas instrumentales, análisis de correlaciones lineales y análisis de componentes principales.
- Selección de medidas instrumentales para realización de optimización múltiple, y definición de formulaciones para el análisis sensorial de preferencias.

3.1.7. Análisis sensorial

- Definición de las pruebas sensoriales a aplicar y diseño de la ficha de cata
- Elaboración de las tres formulaciones establecidas y ejecución de las pruebas sensoriales
- Análisis estadístico de los resultados sensoriales.

3.1.8. Redacción de la memoria de Trabajo Fin de Máster

4. Material, equipos y métodos.

4.1. Harinas

Se utilizaron 3 tipos de harinas, trigo, soja integral y mandioca. La harina de trigo es una de las harinas suministradas por la empresa Harinas Guría S.A. (Biurrun-Campanas, Navarra, España). Se eligió una harina equilibrada, de fuerza media, aplicable en un amplio rango de productos y procesos (tabla 5).

Tabla 5: Harina de trigo

Marca	Parámetros alveográficos	Características	Procesos y productos
TXURI	P/L = 0,30-0,40 W = 130-150	Extensible. Equilibrada. Regularidad. Versatilidad. Aporta tolerancia y volumen	Panadería industrial. Panadería artesanal. Pastelería y bollería.

Fuente: (www.harinasguria.es 2014)

Las harinas de mandioca y soja se adquirieron en un establecimiento de productos ecológicos de Pamplona.

Tabla 6: Harinas de mandioca y soja

Harina	Marca – Empresa	Origen	Otra información de la etiqueta
Mandioca	Tribal trading, S. Coop	Tailandia	
Soja integral	Biospirit (Gerona, España)	España	Contenidos por 100g: Proteínas = 43 g, Hidratos de carbono = 23 g, grasa = 21 g, fibras = 3g, Ca = 210 mg, Fe = 69 mg, K = 1670 mg, Na = 1 mg

4.2. Otros ingredientes

Además de harina se empleó agua de la red, sal común, y levadura.

La levadura utilizada fue levadura de panificación (*Saccharomyces cerevisiae*) en formato prensado-fresco (Marca Hercules), adquirida en el obrador del Supermercado Leclerk (Cordovilla, Navarra) en paquetes de 500 g.

4.3. Equipos

4.3.1. Equipos empleados en procesamiento de pan

Amasadora de espiral profesional (Bongard, Francia).

Material de acero inoxidable, órgano amasador tipo espiral, con 2 velocidades.

Se usó para amasar la masa del pan.



Figura 5: Amasadora espiral

Cámara de fermentación (Salva S.A., España)

Material de acero inoxidable, con capacidad para varias bandejas. Sistema de control de temperatura, tiempo y humedad relativa automática.

Se utilizó para fermentar la masa de pan.



Figura 6: cámara de fermentación

Horno eléctrico de convección de bandejas (Salva S.A., España)

Equipo de material inoxidable, con control de temperatura y tiempo independiente.



Figura 7: Horno eléctrico

4.3.2. Equipos utilizados para análisis nutricional de las harinas

Análisis de proteínas

Digestión – Buchi K-420



Figura 8: Equipo de digestión

Se utilizó este equipo para la primera etapa del método Kjeldahl, la hidrólisis ácida a alta temperatura de las proteínas de las harinas.

Destilación – Buchi – K-314

Equipo de destilación empleado para la extracción del nitrógeno generado en la hidrólisis previa.



Figura 9: equipo de destilación

Otros equipos

- Bureta
- Pipetas
- Vasos de precipitados

Análisis de grasas

Extractor Soxhlet



Se utilizó este equipo para analizar el contenido de grasas en las muestras de las harinas.

El equipo dispone de un condensador de material de vidrio, tubo extractor, balón de ebullición y manta calentadora.

Figura 10: Extractor soxhlet

Otros materiales

- Cartucho de papel
- Vaso de precipitado

Análisis de cenizas (Heron – modelo HK-11)



Se utilizó este equipo para determinar el contenido de cenizas. Dispone de una cámara de calefacción hasta 1000 °C.

Figura 11: Múfula

Otros materiales

- Cápsulas de porcelana
- Guantes
- Balanza de precisión

4.3.3. Equipos empleados en los análisis instrumentales

Texturómetro TA-XT.Plus – stable micro system

Los ensayos se llevaran a cargo con un accesorio cilíndrico de aluminio de 36 mm.



Figura 12: Texturómetro TA-XT.Plus

Espectrofotómetro MINOLTA CM – 2500d



En equipo emplea una medida simultanea SCI/SCE (Componente especular incluido/excluido), con una iluminación difusa, un área de medida MAV, ϕ 8 mm, intervalos de longitudes de 360 – 740 nm.

Figura 13: Colorímetro

4.4. Métodos

4.4.1. Diseño experimental

En la tabla 7 se presenta en diseño experimental elegido para alcanzar los objetivos expuestos. Se trata de un diseño de mezcla con los tres tipos de harinas como componentes variables. Es un diseño Simplex Rejilla de tipo Cúbico. Este diseño da como resultado un mínimo de 10 tratamientos distintos. Se añadieron dos más (11 y 12) que son réplicas de los tratamientos 1 y 8.

Tabla 7: Diseño experimental de mezcla

Nº tratamiento	Código	Trigo (%)	Soja (%)	Mandioca (%)
1	T100:S0:M0	100	0	0
2	T90:S0:M10	90	0	10
3	T90:S10:M0	90	10	0
4	T80_S0:M20	80	0	20
5	T80:S20:M0	80	20	0
6	T70:S30:M0	70	30	0
7	T70:S0:M30	70	0	30
8	T80_S10:M10	80	10	10
9	T70:S10:M20	70	10	20
10	T70:S20:M10	70	20	10
11	T100:S0:M0	100	0	0
12	T80:S10:M10	80	10	10

4.4.2. Proceso de elaboración de pan

A cada formulación de pan se realizaron con 6 panes por tratamiento para su análisis. El proceso de fabricación de pan se estableció empleando el método de fabricación sencillo. En el diagrama de flujo abajo se presenta el esquema de fabricación de pan.

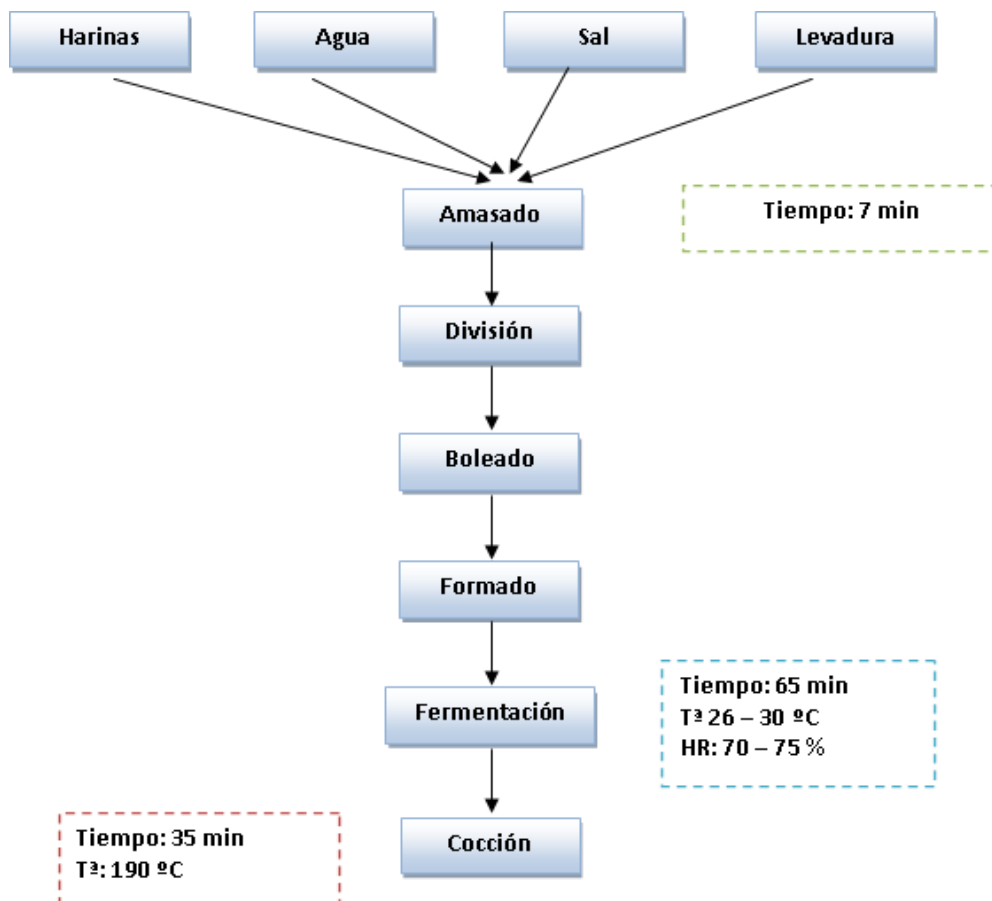


Figura 14: Diagrama de flujo de fabricación de pan

La fórmula de elaboración de pan se presenta a continuación en la tabla 8.

Tabla 8: Formulación base de preparación de pan

Ingredientes	Porcentaje (% harina base)	Cantidad (g)
Harina/s	100	1500
Agua	60	900
Levadura fresca	4	60
Sal	2	30

Los ingredientes se pesaron de acuerdo al diseño experimental y la formulación base. Se midió la temperatura de las harinas y del agua.

El método de amasado fue directo: todos los ingredientes se introdujeron a la vez en la amasadora. El amasado duró 7 minutos, 2 a velocidad lenta y 5 a velocidad rápida.

Tras el amasado se midió la temperatura de la masa. La masa obtenida se dividió en 6 porciones de 390 gramos cada una. Por lo tanto, se obtuvieron 6 panes por elaboración.

Las piezas fueron boleadas manualmente, para después ser laminadas ligeramente, enrolladas y colocadas en cada uno de los moldes, dispuestos esto sin tapa.

A continuación se procedió a la fermentación durante 65 minutos a 30 °C y humedad relativa de 75 %. Seguidamente se procedió a la cocción en horno de aire durante 35 minutos a 190 °C en horno.

Tras la cocción, se extrajeron los panes de los moldes, y una vez enfriados se pesaron.

En el anejo A-1 se presenta un cuadro con los parámetros de seguimiento de cada una de las elaboraciones.

4.4.3. Análisis nutricionales en las harinas

Los análisis nutricionales se determinaron en las muestras de las harinas de acuerdo a métodos oficiales. Se analizaron las concentraciones de humedad, cenizas, contenido bruto en lípidos, contenido en proteínas y contenido en fibras. El contenido en hidratos de carbono distintos a la fibra se estimó por diferencia.

Cada determinación se realizó en cada harina por triplicado.

4.4.3.1. Humedad

Para determinación de la humedad, se empleó método estándar 190/1 (ICC 1976). Se pesó 7 gramos de muestras en un pesafiltro, después se colocó en la estufa de aire a temperatura de 130 °C durante aproximadamente 5 horas. A continuación se cogerán las muestras en un desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente. Transcurrido este tiempo, se pesaron las muestras, con balanza analítica de precisión de 1 mg.

Para el cálculo de contenido de agua de las muestras, se utilizó la siguiente ecuación 1:

$$\text{Humedad \%} = \frac{M-m}{M} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Siendo:

- M = masa inicial, en gramos de la muestra
- m = masa, en gramos del producto seco.

4.4.3.2. Cenizas

Para determinación de la ceniza, se utilizó método estándar 104/1 (ICC 1990) se pesaron 7 gramos en una balanza analítica, con precisión de 0,1 mg, en cápsulas de porcelana. Las muestras son calcinadas en mufla y se enfrían en desecador hasta que alcance la temperatura ambiente.

Para determinación del contenido de cenizas se utilizó ecuación 2:

$$\text{Cenizas \% (materia natural)} = \frac{(P_1 - P_2) \times 100}{P - P_1} \quad \text{Ecuación 2}$$

Siendo:

- P = peso en gramos de la cápsula con la muestra
- P₁ = peso en gramos de la cápsula con las cenizas
- P₂ = peso en gramos de la cápsula vacía.

$$\text{Cenizas \% (materia seca)} = \frac{\text{Cenizas sobre materia natural} \times 100}{100 - \text{humedad de la muestra}} \quad \text{Ecuación 3}$$

4.4.3.3. Determinación de contenido en lípidos

Las grasas se determinaron empleando el extractor soxhlet (con éter de petróleo). Para la determinación del contenido en grasas bruta, de acuerdo con método 30-25.01 (AACC 1967). Se pesaron 7 gramos de muestra, se desecada a 100 °C en estufa por aproximadamente 1 hora y se enfría en desecador. Por medio de extractor soxhlet, se añadía el disolvente a la extracción (éter de petróleo), siendo necesario aproximadamente de 4 a 6 horas de extracción. Alcanzado este tiempo, se extraía el

cartucho del extractor y se deseca en estufa de aire a 100 °C. tras media hora enfría en desecador.

El porcentaje de grasa bruta sobre la sustancia seca se determina de acuerdo con ecuación 4:

$$\text{Grasa bruta \% (materia seca)} = \frac{(P_1 - P_2) \times 100}{P} \quad \text{Ecuación 4}$$

En la que:

- P_1 = peso, en gramos, del cartucho con harinas tras extracción
- P_2 = peso, en gramos, del cartucho vacío
- P = peso, en gramos, de la muestra de harina empleada.

4.4.3.4. Contenido de proteínas

El contenido de proteínas crudas se determinó utilizando el método Kjeldahl modificado n° 979.09 (AOAC 2005).

Se analizó 1 gramo de muestra seca utilizando 5 gramos de catalizador (K_2SO_4 y $Cu_sSO_4 \cdot 5H_2O$) y 12 ml de ácido sulfúrico concentrado para efectuar la digestión. El proceso de digestión fue de 60 minutos a 420 °C. La digestión se completa cuando la disolución adquiriera un color característico verde esmeralda. (Figura 14) Tras enfriar la muestra aproximadamente a 50 – 60 °C, se diluyó la muestra con 50 ml de agua y se destiló, recogiendo el destilado sobre 30 ml de una solución de ácido



Figura 15: Digestión de proteína

bórico al 4% en un aparato de destilación, *Buchi k-314*, el producto destilado se valoró con HCl 0,2 N. Para calcular el contenido de proteínas se emplearon las ecuaciones 5 e 6:

$$\%N = \frac{N.V.14.100}{P} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$\% \text{ proteína} = \%N \times F \times 100 \quad \text{Ecuación 6}$$

En donde:

$\%N$ = contenido de nitrógeno

N = Normalidad del HCl

V = volumen gastado en la valoración corregido = ml de ácido valorante consumidos por la muestra – ml de ácido valorante consumidos por el blanco (ml)

14 = peso molecular de nitrógeno

P = Peso de la muestra (g)

F = factor de corrección: soja = 6,25; trigo = 5,70, mandioca = 6,25

4.4.3.5. Contenido de fibra

El contenido de fibra dietética total se determinó de acuerdo con los métodos estándares n° 985.29 y 960.52 (AOAC 1997) , utilizando un kit assay TDF – 100 A y TDF – C10 (marca comercial).

Se analizó 1 gramo de muestra desgrasado, se gelatiniza con α -amilasa, y se digieren enzimáticamente con proteasa y amiloglucosidad para remover la proteína y el almidón. Se precipita y se filtra y se pesa el residuo. En duplicado se determina proteínas y cenizas.

Para determinar el contenido de fibras dietéticas totales, se emplea la ecuación 7:

Peso de residuos = $W_2 - W_1$

Peso de cenizas = $W_3 - W_1$

$B = R_{\text{blanco}} - P_{\text{blanco}} - A_{\text{blanco}}$

$$\% \text{ TDF} = \frac{R_{\text{blanco}} - P_{\text{blanco}} - A_{\text{blanco}}}{SW} \times 100 \quad \text{Ecuación 7}$$

En donde:

TDF = Fibras dietéticas totales

R = media de peso de residuos (mg)

P = media de peso de proteína (mg)

A = media de peso de ceniza (mg)

4.4.4. Métodos de análisis instrumentales de los panes

En los panes se realizaron las siguientes determinaciones: inmediatamente después de la elaboración y enfriados se realizaron medidas de peso, altura y volumen. No más allá de 4 horas después de finalizada la elaboración se midió la textura. Las medidas de color se realizaron al día siguiente.

4.4.4.1. Medición de peso, altura y volumen

Se midieron en los seis panes de cada tratamiento se midió

El peso de pan se midió mediante una balanza eléctrica de 1 g de sensibilidad, donde las masas iniciales fueran tomadas como referencia de 390 gramos.

La altura de en el punto más alto de cada pan se midió utilizando un calibre o “Pie de rey” (figura 16).

El volumen se determinó de forma indirecta midiendo en una probeta el volumen de semillas de colza (figura 17), desplazado por el pan al ser introducido en un recipiente completamente lleno de semillas. Es un procedimiento sencillo muy utilizado para evaluar el volumen de productos de panificación.

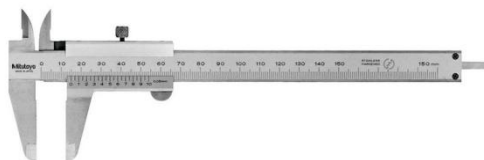


Figura 16: Pie de rey



Figure 17: semillas de colza

4.4.4.2. Determinación de la textura

La firmeza de pan se midió mediante el método estándar de referencia (AACC 1986). Se utilizó el texturómetro, TA.XT.PLUS (Stable Micro Systems – TextureAnalyser), con un accesorio cilíndrico de aluminio de 36 mm (P/36R).

Utilizando una cortadora rotatoria se cortaron rebanadas de 12,5 mm de espesor. Cada medida se realizó sobre dos rebanadas dispuestas una encima de la otra.

El ensayo consistió en medir la fuerza en compresión. El accesorio de aluminio comprimía en un 40% la rebanada a una velocidad de 1,7 mm/s. El método establece que la firmeza del pan es la fuerza ejercida para alcanzar un 25% de compresión. En este trabajo también se registró el pico de fuerza máximo, alcanzado al 40% de compresión.

Se realizaron 10 medidas de cada formulación y, tomando como dato la media de estas 10 medidas.

4.4.4.3. Determinación de color

El color de los panes se determinaron por reflexión con el espectrofotómetro utilizando el espacio de color CIELab, con un sistema referenciado con iluminante 65/observador 10°.

Los valores L^* corresponden a luminosidad del producto, que corresponden de rango 0 para negro y 100 para blanco, los valores a^* describen la rojez (+) / verde (-) y los valores b^* describen amarillez (+) / coloración azulada (-). Los padrones de calibración utilizados fueran ($L^* = 99,3531$, $a^* = -0,0518$, $b^* = -0,0973$). Además, el ángulo ($^\circ$) fue calculado con $\tan^{-1}(b^*/a^*)$. El color se midió tanto en la miga como en la corteza de pan. (Figura 18)

Para medir el color de la miga, para cada tratamiento se tomaron 3 rebanadas y se efectuaron 5 lecturas por cada rebanada. Por lo tanto el valor medio final en cada tratamiento fue el promedio de 15 lecturas espectrofotométricas.

Se midió el color de cinco puntos de la corteza en dos panes. Por lo tanto el valor medio en cada tratamiento fue el promedio de 10 lecturas espectrofotométricas.

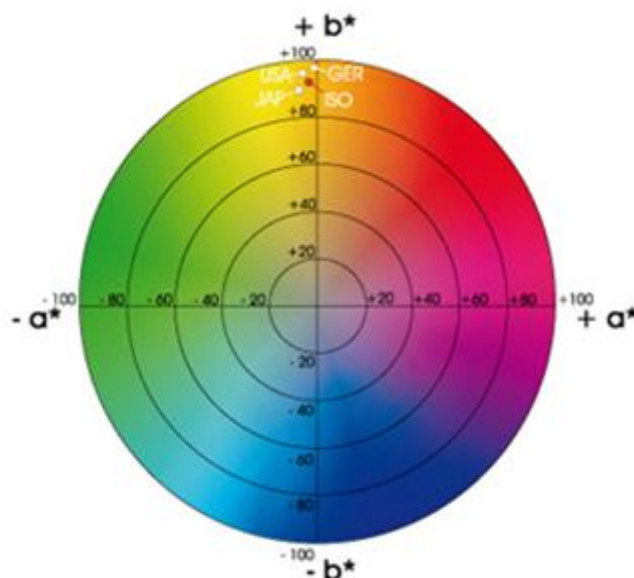


Figura 18: gráfica de color de espacio CIE*Lab*

4.4.4.4. Análisis sensorial

Se evaluaron tres panes de formulación definida tras un proceso de optimización múltiple realizado a partir de los resultados del diseño de mezclas.

Se realizaron dos pruebas sensoriales con 33 consumidores no entrenados.

Las pruebas se realizaron bajo luz natural, en la Sala de Catas de la ETSIA (UPNA), que cuenta con 25 cabinas individuales.

Una de las pruebas fue una prueba de preferencias mediante escala hedónica de 7 puntos. Cada catador recibió en su cabina las tres muestras de panes (rebanadas) en un orden determinado codificadas aleatoriamente con una cifra de tres dígitos. Evaluó la apariencia, el color, el olor, el sabor, la textura y la impresión global. Cada catador debía evaluar también la apariencia, color y volumen de los panes enteros.

La otra prueba fue una prueba de clasificación por preferencia. Cada catador debía ordenar de mayor a menor preferencia los tres panes.

En el anejo A-2 se presenta la ficha de cata utilizada.

Ambas pruebas se realizaron en la misma sesión. Los tres panes se elaboraron a lo largo de la mañana (de 8 a 14 h) y las pruebas se realizaron a la tarde (de 14:30 a 19 h).

4.4.4.5. Análisis estadístico

Los datos obtenidos de los análisis se analizaron estadísticamente empleando el programa estadístico StatGraphics Centurion XVI. Los métodos estadísticos empleados fueron:

- Obtención de los modelos predictivos para cada variable instrumental en función de su composición en las tres harinas estudiadas. El procedimiento seguido es el siguiente: se determinan todos los modelos de regresión posibles con el diseño de mezclas utilizado: modelo lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico. De acuerdo a las recomendaciones de StatGraphics, de aquellos modelos que sean estadísticamente significativos, se selecciona el modelo que es más complejo.
- Con los datos derivados del diseño de mezclas se completa el análisis estadístico con un análisis de correlaciones lineales y un análisis de componentes principales. Esto permitió evaluar la relación entre todas variables y la influencia de la formulación de los panes sobre el conjunto de dichas variables.
- En base a estos resultados se seleccionaron los modelos predictivos de las variables que mejor permitieron explicar las diferencias entre los panes elaborados, evitando repetir variables redundantes, para a continuación proceder a un proceso de optimización múltiple para tratar de definir tres posibles formulaciones de características adecuadas para ser evaluadas sensorialmente.
- Con los resultados de la prueba de preferencia mediante escala hedónica se realizó un análisis de la varianza (ANOVA), con un nivel de significancia de 95 %. Para determinar las diferencias entre medias se empleó el método Tukey. Los datos de la ordenación por preferencia se analizaron mediante la prueba no paramétrica de Friedman.

5. Resultados y discusión

5.1. Caracterización nutricional básica de las harinas y de los panes

Las tablas 10 y 11, presentan los resultados determinados de la composición química de las harinas. En la tabla 10, presenta resultados expresos a base húmeda y en la tabla 11 expresa resultados a base seca.

La harina de soja presentó alto contenido de grasas, [22,8 g (100) g⁻¹] (base húmeda) y [23,5g (100) g⁻¹] (base seca), también se observaron alto contenido de proteínas, [47,5g (100) g⁻¹] (base húmeda) y [49,0g (100) g⁻¹] (base seca), cenizas, [4,1g (100) g⁻¹] (base húmeda) y [4,2g (100) g⁻¹] (base seca) y las fibras dietéticas totales, [12,9,0g (100) g⁻¹]. La harina de mandioca presentó alto contenido de hidratos de carbono, [96,8g (100) g⁻¹]. La harina de trigo presentó mayor contenido de humedad [8, 2 g (100) g⁻¹].

La harina de mandioca una fuente rica de hidratos de carbono, pobre en proteínas, grasas y minerales. La suplementación de harina de mandioca y de soja en la panificación, proporciona un pan de alta calidad nutricional, ya que la harina de soja es una fuente rica en grasas, proteínas y minerales. Esos resultados se observaron en estudios realizados por (Pasqualone A., Caponio F. et al. 2010) “*elaboración de un pan sin gluten a base de harina de mandioca*”. Estudio realizado por (Cadioli M. G. B., Rodas et al. 2011), “*Desarrollo de un pan a base de soja*”, encontró alto contenido de proteínas y grasas en los panes preparados con alto contenido de soja.

Tabla 9: Característica química de las harinas (g/100 g de base húmeda)

Harina	Grasas (%)	Proteínas (%)	Cenizas (%)	FDT (%) (*)	HC (%) (**)	Humedad (%)
Soja	22,8	47,5	4,1	12,9	9,5	3,2
Trigo	1,6	11,6	0,5	0,6	77,5	8,2
Mandioca	0,7	2,1	0,1	0,3	88,9	7,9

* FDT: Fibras dietéticas totales

** HC: Hidratos de carbono (calculados por diferencia)

Resultados y Discusión

Tabla 10: Característica química de las harinas (g/100 g de base seca)

Harina	Grasas (%)	Proteínas (%)	Cenizas (%)	FDT (%) (*)	HC (%) (**)
Soja	23,5	49,0	4,2	13,3	9,8
Trigo	1,7	12,7	0,6	0,7	84,5
Mandioca	0,7	2,3	0,2	0,3	96,5

* FDT: Fibras dietéticas totales

** HC: Hidratos de carbono (calculados por diferencia)

Tabla 11: Composición nutricional de los panes (g/100g base húmeda)

Ensayo	Agua	Proteínas	Lípidos	HC	Fibra	Cenizas
T100:S0:M0	31,1	9,7	1,3	55,2	0,8	1,9
T90:S0:M10	31,5	8,8	1,2	55,8	0,8	1,9
T90:S10:M0	32,1	12,0	2,8	49,3	1,7	2,1
T80:S0:M20	30,1	8,2	1,2	57,9	0,8	1,9
T80:S20:M0	30,3	14,8	4,5	45,5	2,6	2,4
T70:S30:M0	30,2	17,3	6,0	40,4	3,5	2,6
T70:S0:M30	31,6	7,3	1,1	57,5	0,8	1,8
T80:S10:M10	30,9	11,4	2,8	51,1	1,7	2,1
T70:S10:M20	31,6	10,5	2,7	51,4	1,7	2,1
T70:S20:M10	31,4	13,8	4,3	45,6	2,5	2,3
T100:S0:M0	31,7	9,6	1,3	54,7	0,8	1,9
T80:S10:M10	31,9	11,3	2,8	50,4	1,7	2,1

La tabla 11 presenta los resultados de la composición nutricional de los panes, calculada a partir de la composición en base húmeda de las harinas de trigo, soja y mandioca, y teniendo en cuenta la pérdida de humedad sufrida por la masa durante la cocción.

El contenido de proteínas en los panes se incrementa con el aumento de harina de soja en las formulaciones. La formulación T70:S30:M0, presentó mayor contenido de proteína (17,3%), también se observó que con el incremento de harina de mandioca en pan, el contenido de proteína desciende. (Tabla 11). Eso significa que la harina de soja tiene mayor valor nutritivo. Esos resultados también fueran reportados por (Justo M. B., Alfaro A. D. C. *et al.* 2007), “*desarrollo de pan integral como alimento funcional para la mujer*”. El contenido elevado de proteína en pan de soja se debe a alto contenido de proteínas en sus semillas de soja. (Gyedu-Akoto E. *and* Laryea D. 2013), observaron que la sustitución de harina de trigo por la harina de mandioca produce disminución de contenido de proteínas, grasas y minerales en galletas.

En cuanto al contenido de lípidos, se la formulación T70:S30:M0 sigue siendo con mayor cantidad (6 %), y la formulación T70:S0:M30, con menor contenido (1,1%). Asimismo el alto contenido de proteínas y lípidos analizados en este estudio, puede ser un medio importante para mejorar la nutrición de varios países en subdesarrollados como Mozambique, ya que la mayor parte de población no dispone de una dieta equilibrada en sus refecciones.

Los hidratos de carbono constituyen la base de alimentación. En este trabajo se verificó que incrementando el contenido de soja disminuye el contenido de hidratos de carbono. Asimismo, la formulación T80:S0:M20, presentó mayor contenido de hidratos de carbono (57,9%) y la formulación T70:S30:M0, presentó menor contenido (40,4 %). Esos resultados también fueran reportados por (Sanful R. E. *and* Darko S. 2010).

En cuanto al contenido de fibras y cenizas se observó que incorporación de harina de soja influye en el aumento de sus contenidos. Las formulaciones con base 100% de trigo y las formulaciones con elevado proporción de mandioca presentaron menor contenido de fibras dietéticas totales (0,8%) y la formulación con 30% de soja presentó alto contenido de fibras (3,5%). Incrementando el contenido de harina de soja, también aumenta el contenido de cenizas.

En definitiva, la incorporación de harina de soja mejora las propiedades nutricionales de los panes al aumentar la concentración de proteínas, lípidos, fibra y minerales. Por el contrario, los panes sin soja con altas proporciones de mandioca resultan ser más pobres nutricionalmente, con un contenido alto en hidratos de carbono pero bajo en proteínas y lípidos.

5.2. Resultados del diseño de mezcla

A continuación se van a presentar los resultados del análisis estadístico de los datos generados en el análisis de las formulaciones del diseño de mezclas. Primero se presentan los valores medios para cada variable instrumental y cada uno de los tratamientos (tablas 12 y 13). En las tablas 14 y 15 y mediante diversas figuras se presentan los resultados de los modelos de regresión significativos que mejor permiten predecir el valor de dichas variables en función de la formulación de la harina compuesta. A continuación se presenta el resultado de los análisis de correlaciones lineales y de componentes principales para mejorar la comprensión de la relación entre las variables analíticas y las distintas formulaciones.

Finalmente se presenta el resultado de la optimización múltiple realizada con los modelos predictivos de las variables instrumentales más significativas. Esta optimización permitió seleccionar determinadas formulaciones para el análisis sensorial.

5.2.1. Resultados de las determinaciones instrumentales

En las tablas 12 y 13 se presentan los resultados (medias \pm desviaciones típicas) de las distintas determinaciones instrumentales realizadas en los panes.

Los valores más altos de volumen (1520cc^3) y de altura (9,8 cm) se obtuvieron en panes control, elaborados exclusivamente con harina de trigo (100:0:0), mientras que mientras el volumen y altura más bajas se observaron en panes con alta proporción de soja, la formulación T70:S30:M0 (1033 cc^3) y la formulación T80:S20:M0 (6,1 cm).

La firmeza es definida como la fuerza (en gramos, kilogramos o Newton) necesaria para comprimir un producto a una cierta distancia pre-establecida.(AACC. 1983). La firmeza o dureza determinada por texturómetro, está relacionada con la fuerza aplicada para provocar la deformación o ruptura de la muestra. (Esteller M. S., Amaral R. L. *et al.* 2004). En los panes la firmeza osciló entre valores cercanos a 1 N y valores superiores a 5 N. En general se observan valores bajos de firmeza para los panes sin soja.

Resultados y Discusión

Tabla 12: Resultados de altura, volumen, fuerza máxima y firmeza de las formulaciones (media \pm desviación estándar)

Tratamiento	Altura (cm)	Volumen (cc ³)	Fuerza max (N)	Firmeza(N)
T100:S0:M0	9,8 \pm 0,3	1487 \pm 64	1,85 \pm 0,11	1,10 \pm 0,09
T90:S0:M10	9,3 \pm 0,2	1497 \pm 57	1,86 \pm 0,13	1,08 \pm 0,09
T90:S10:M0	7,3 \pm 0,3	1297 \pm 50	7,67 \pm 0,82	4,43 \pm 0,48
T80:S0:M20	9,4 \pm 0,2	1423 \pm 49	4,98 \pm 0,24	3,38 \pm 0,20
T80:S20:M0	7,4 \pm 0,2	1327 \pm 68	6,36 \pm 1,41	4,20 \pm 1,05
T70:S30:M0	7,3 \pm 0,3	1033 \pm 50	6,05 \pm 0,43	3,98 \pm 0,29
T70:S0:M30	9,0 \pm 0,3	1417 \pm 40	1,84 \pm 0,10	1,11 \pm 0,08
T80:S10:M10	7,3 \pm 0,3	1200 \pm 59	5,60 \pm 0,41	3,30 \pm 0,24
T70:S10:M20	7,3 \pm 0,2	1190 \pm 46	6,15 \pm 0,32	3,87 \pm 0,31
T70:S20:M10	6,1 \pm 0,4	1070 \pm 46	9,28 \pm 0,28	5,45 \pm 0,27
T100:S0:M0	9,3 \pm 0,2	1520 \pm 27	2,23 \pm 0,28	1,28 \pm 0,25
T80:S10:M10	6,7 \pm 0,2	1097 \pm 25	5,78 \pm 0,70	3,14 \pm 0,53

Tabla 13: Resultados de color (CIELab) de las formulaciones (media \pm desviación estándar)

Tratamiento	Miga			Corteza		
	L	a*	b*	L	a*	b*
T100:S0:M0	63,9 \pm 1,3	0,4 \pm 0,1	14,4 \pm 0,8	54,3 \pm 2,0	14,5 \pm 0,9	39,6 \pm 1,2
T90:S0:M10	64,4 \pm 1,6	0,6 \pm 0,1	15,3 \pm 1,6	60,5 \pm 1,5	11,3 \pm 1,1	37,1 \pm 0,8
T90:S10:M0	64,4 \pm 2,8	1,9 \pm 0,3	21,3 \pm 1,2	37,0 \pm 1,5	18,4 \pm 0,3	40,9 \pm 0,9
T80:S0:M20	59,4 \pm 4,6	0,3 \pm 0,2	14,0 \pm 1,1	65,7 \pm 1,2	7,4 \pm 1,8	32,0 \pm 4,3
T80:S20:M0	56,6 \pm 2,9	2,3 \pm 0,7	23,4 \pm 2,1	26,7 \pm 2,5	19,2 \pm 1,1	39,2 \pm 4,3
T70:S30:M0	56,8 \pm 2,4	2,5 \pm 0,2	27,2 \pm 0,8	19,9 \pm 1,4	22,2 \pm 1,3	32,6 \pm 4,3
T70:S0:M30	61,5 \pm 1,9	0,1 \pm 0,1	13,1 \pm 0,8	69,9 \pm 0,9	8,8 \pm 0,8	37,7 \pm 1,6
T80:S10:M10	62,5 \pm 1,3	1,3 \pm 0,1	19,6 \pm 1,0	43,5 \pm 2,9	16,6 \pm 1,3	43,9 \pm 1,6
T70:S10:M20	63,7 \pm 1,2	1,4 \pm 0,1	20,7 \pm 0,9	54,7 \pm 2,4	12,6 \pm 1,0	39,2 \pm 2,4
T70:S20:M10	63,0 \pm 2,4	1,6 \pm 0,2	23,8 \pm 0,7	32,6 \pm 1,1	18,7 \pm 0,4	49,6 \pm 0,9
T100:S0:M0	66,5 \pm 1,8	0,5 \pm 0,1	15,3 \pm 0,7	57,3 \pm 0,1	14,3 \pm 0,8	41,6 \pm 1,6
T80:S10:M10	62,0 \pm 1,7	1,4 \pm 0,1	20,6 \pm 1,2	42,7 \pm 3,3	17,3 \pm 1,3	44,0 \pm 1,6

El color en el pan es uno de los atributos más importantes que puede permitir la aceptabilidad del pan en los consumidores. En la tabla 13 se presentan los resultados de

las medias (\pm desviación estándar) de los parámetros CIELAB en la miga y la corteza de las formulaciones. En general se observó una variación más importante entre las formulaciones a nivel de la corteza que a nivel de la miga. La luminosidad de la miga osciló entre 59,4 y 66,5. En la corteza el pan más rico en soja (T70:S30:M0) presentó una corteza muy oscura ($L = 19,9$) mientras que el más rico en mandioca (T70:S0:M30) tenía una corteza muy pálida. El parámetro a^* en la miga varió en un rango estrecho, entre 0,1 y 2,5. Además, de las 6 medidas de color, fue la que se mostró menos repetitiva (con coeficientes de variación superiores al 50% en algunas). En la corteza la variación de a^* fue importante, entre 7,4 (pan con 20 % de mandioca) y 22,2 (pan con 30 % de soja). El parámetro b^* varió bastante tanto en la miga (entre 12,1 y 23,8) como en la corteza (entre 32,6 y 49,6). (Fiorda Fernanda A., Soares Jr Manoel S. *et al.* 2013) observaron que incrementando harina de mandioca, el pan se tornó más blanco, menos rojo y amarillo. El componente L^* disminuyó con el aumento de los componentes a^* y b^* , ya que no ocurre la reacción de Maillard y, la degradación de pigmentos afecta en el color.

5.2.2. Modelos predictivos de las variables instrumentales

En las tablas 14 y 15 se presentan los modelos predictivos significativos que mejor permite predecir cada una de las variables instrumentales. En las tablas, para cada una de las variables se indica:

- Modelo seleccionado de los cuatro posibles (en orden de complejidad: lineal, cuadrático, cúbico especial y cúbico). Se selecciona el modelo más complejo de los que hayan resultado ser significativos.
- Coeficiente de determinación R^2 : indicativo de la proporción de la varianza de la variable respuesta explicada por el modelo.
- Valor p : indicativo del nivel de significación
- Coeficientes de los diferentes términos de la ecuación. Por ejemplo en el caso de la variable altura, se seleccionó un modelo cuadrático cuya ecuación es: $\text{Altura (cm)} = 9.49719 \times \text{Trigo} + 7.20049 \times \text{Soja} + 9.2262 \times \text{Mandioca} - 4.96965 \times \text{Trigo} \times \text{Soja} - 0.527505 \times \text{Trigo} \times \text{Mandioca} - 7.19493 \times \text{Soja} \times \text{Mandioca}$

Resultados y Discusión

- Optimización de las variables individuales: indica la formulación óptima para maximizar o minimizar la variable respuesta y para obtener un valor próximo al obtenido por el pan 100% trigo.

Tabla 14: Resultados de los modelos predictivos para las variables de altura, volumen y textura

Variable	Altura (cm)		Volumen (cc3)		F max(N)		Firmeza (N)	
Tipo de modelo	Cuadrático		Lineal		Cúbico		Cúbico	
R²	93,7		76,1		99,9		99,9	
P	0,0155		0,0016		0,0131		0,0124	
	Coeficientes de las ecuaciones							
Trigo(T)	9,5		1498		99,9		1,2	
Soja (S)	7,2		1002		0,01		4,0	
Mandioca (M)	9,2		1334		2,04		1,1	
TS	-5,0				1,8		7,8	
TM	-0,5				13,4		4,9	
SM	-7,2				16,9		9,5	
TSM					46,7		-36,1	
TS(T-S)					17,9		7,8	
TM(T-M)					21,5		-15,7	
SM(S-M)					11,7		4,2	
	Optimización de las variables individuales							
Objetivos(*)	Max	9,15	Max	1503	Min	2	Min	1,2
Trigo (%)	100	70	100	100	70	70	95	70
Soja (%)	0	0	0	0	0	0	0	0
Mandioca (%)	0	30	0	0	30	30	5	30

(*) Para cada variable, el objetivo señalado en la columna de la derecha representa el valor medio obtenido en dicha variable por el pan 100% trigo.

El modelo seleccionado de las cuatro posibilidades para predecir la altura es el cuadrático. ($R^2 = 93,7$), $p = 0,0155$. Para maximizar la altura a 9,15 cm, se utilizaría una proporción de trigo y mandioca (T70:S0:M30). En el caso de volumen, se seleccionó modelo lineal ($R^2 = 76,1$), $p = 0,0016$. Con una proporción de trigo (T100:S0:M0), se puede obtener un pan con un volumen máximo de 1503 cc³. En las figuras 19 y 20 se observa cómo al incrementar la proporción de soja se produce un descenso muy importante de la altura y volumen del pan. La mandioca también tiene un efecto negativo sobre ambas variables, pero mucho menos fuerte que la soja.

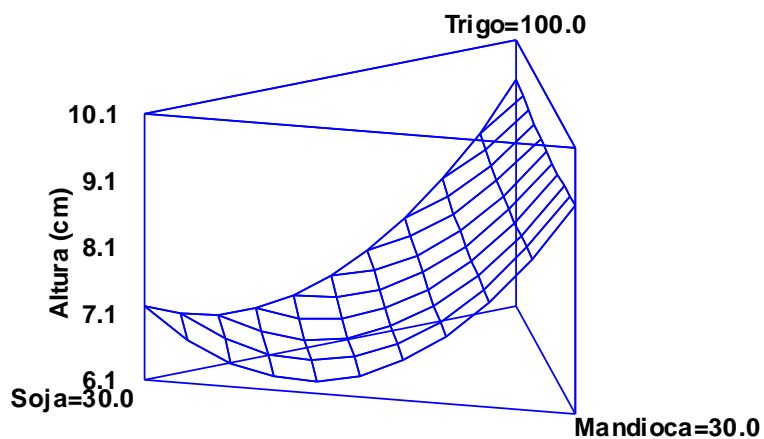


Figura 19: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre la altura del pan

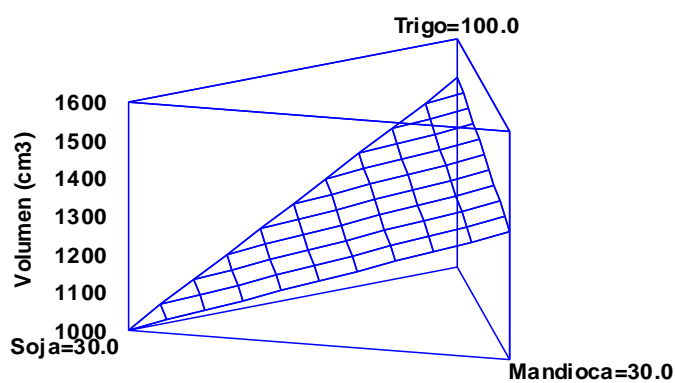


Figura 20: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre la altura del pan

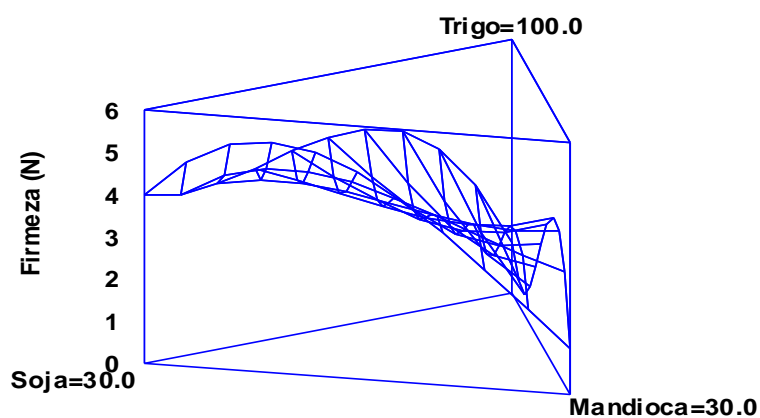


Figura 21: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre la firmeza del pan

Para predecir la fuerza máxima y la firmeza, se seleccionó modelo cúbico ($R^2 = 99,1$), siendo los valores de p (0,0131 y 0,0124), respectivamente. Con una proporción

alta de mandioca (T70:S0:M30), se puede obtener un pan con una fuerza máxima de 2 N. Con un mínimo de 5 % de mandioca y 95 % de trigo o 70 % de trigo y 30 % de mandioca se puede obtener un pan con una firmeza mínima de 1,2 N.

La influencia de la composición de la harina en la firmeza es la opuesta a la observada para la altura y el volumen. (Figura 21) Al aumentar la proporción de soja disminuye el volumen y se obtienen panes más compactos con una firmeza más alta.

Según (Pasqualone A., Caponio F. *et al.* 2010), una proporción elevada de harina de mandioca, produce una disminución de volumen, ya que la harina de mandioca no contiene suficiente contenido de gluten para producir un pan con un volumen deseado. Según (Mohamed Abdellatif A., Rayas-Duarte P. *et al.* 2006), la harina de soja en el pan, resulta en un pan con menos tamaño y más firme. La soja proporciona una cantidad importante de proteínas pero éstas carecen de la capacidad de retención de gas propia de las proteínas del gluten. Además la incorporación de lípidos de la soja posiblemente disminuya la fuerza y estabilidad de la red de gluten.

Tabla 15: Resultados de los modelos predictivos para las variables CIELab

Variable	L-miga		a-miga		b-miga		L-corteza		a-corteza		b-corteza	
Tipo de modelo	Cuadrático		Lineal		Lineal		Cuadrático		Cúbico especial		Cúbico	
R ²	79,2		89,7		94,9		99,1		97,8		99,3	
P	0,0933**		0,0000		0,0000		0,0487		0,0453		0,0387	
Coeficientes de las ecuaciones												
Trigo(T)	65,8		0,68		15,4		55,8		14,7		40,6	
Soja (S)	56,2		2,8		28,3		19,7		22,2		32,6	
Mandioca (M)	60,8		0,3		14,3		70,6		8,2		37,7	
TS	-2,5						28,9		1,7		15,4	
TM	-6,6						2,8		9,5		20,7	
SM	21,6						8,9		1,9		41,8	
TSM									68,9		79,2	
TS(T-S)											6,8	
TM(T-M)											28,1	
SM(S-M)											81,3	
Optimización de las variables individuales												
Objetivos(*)	Max	65	Min	0,43	Min	14,7	Max	55	Min	14,4	Min	40,6
Trigo (%)	100	98	70	71	70	70	70	72	76	71	78	100
Soja (%)	0	0	0	2	0	1	0	7	0	11	0	0
Mandioca (%)	0	2	30	27	30	29	30	21	24	18	22	0

(*) Para cada variable, el objetivo señalado en la columna de la derecha representa el valor medio obtenido en dicha variable por el pan 100 % trigo.

(**) no significativo al 95 % significativo al 90 %.

El modelo predictivo seleccionado para predecir (al 90 % de confianza) la variable L^* del color de la miga es el cuadrático ($R^2 = 79,2$), $p = 0,0933$. El pan 100 % trigo es el pan con una miga más clara. La máxima luminosidad se obtiene con una harina 100 % trigo. En este sentido resulta curioso que la incorporación de harina de mandioca, extremadamente blanca a simple vista, no aumenta la luminosidad de la miga, sino que la disminuye ligeramente. No obstante, la soja es el componente con un efecto más importante y negativo sobre la luminosidad de la miga (figura 22).

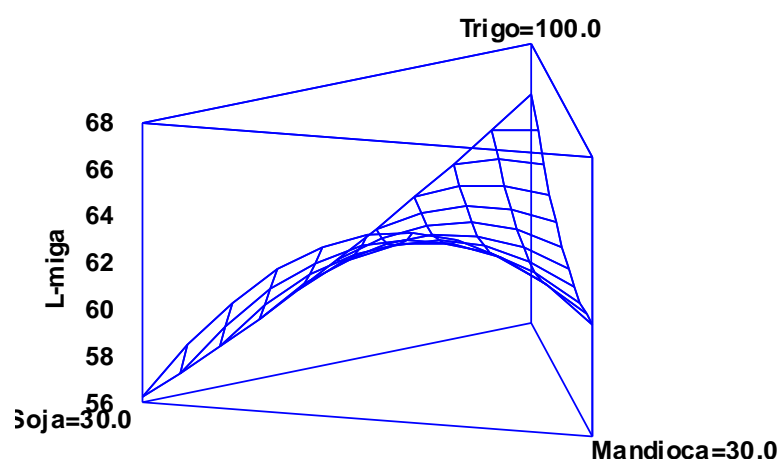


Figura 22: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre el componente L^* de la miga del pan

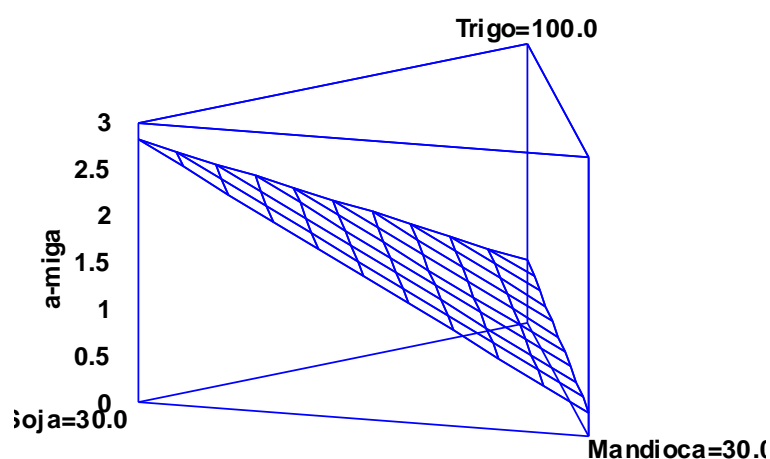


Figura 23: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre el componente a^* de la miga del pan

Para predecir las variables a^* y b^* de la miga, se seleccionaron modelos lineales con elevadas R^2 (89,7 y 94,9, respectivamente). En ambas variables se observa un efecto muy importante de la soja (figuras 23 y 24). La presencia de harina de soja provoca un gran aumento del valor de ambos parámetros, el color de la miga tiende hacia tonalidades claramente más rojas y amarillas.

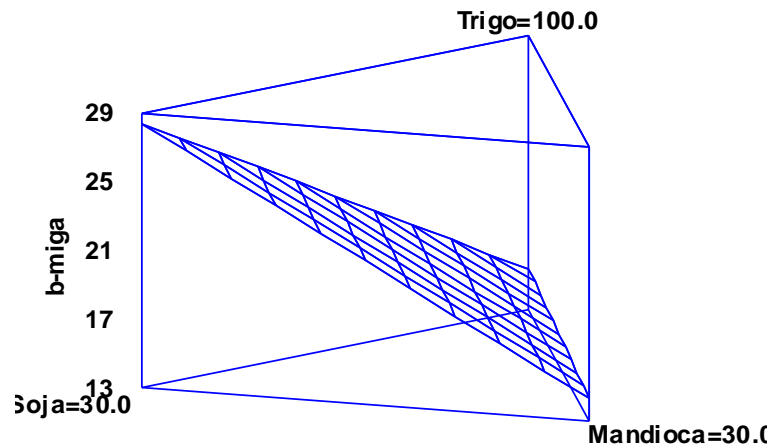


Figura 24: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre el componente b^* de la miga del pan

Los efectos de la formulación sobre el color de la corteza son aún más evidentes que sobre la miga. Los coeficientes de determinación obtenidos fueron muy elevados. Para predecir el componente L^* de la corteza, se seleccionó modelo cuadrático ($R^2 = 99,1$), con valor $p = 0,0487$. Se observa un efecto contrario de la soja y la mandioca. Al aumentar la proporción de harina de mandioca la corteza adquiere un color más blanco. Por el contrario, la adición de soja provoca un oscurecimiento muy intenso de la corteza. (Figura 25) La soja aumenta la cantidad de proteínas. Esto favorecería las reacciones de Maillard entre proteínas y azúcares reductores. (Dhingra S. and Jood S. 2004) observaron que al aumentar el nivel de sustitución de harina de trigo con harina de cebada y de soja integral se apreciaba también un claro oscurecimiento de la corteza del pan. Por su parte, (Sabanis D. and Tzia C. 2009) observaron que la sustitución parcial de harina de trigo por harina de soja disminuía significativamente la luminosidad de la corteza, mientras que al utilizar harina de arroz, ocurría lo contrario.

El efecto de la soja se aprecia también muy claramente el parámetro a^* de la corteza. El modelo seleccionado es el cúbico especial ($R^2 = 97,8$) y valor de $p = 0,0453$. Al aumentar la cantidad de soja la corteza se vuelve más rojiza (figura 26). Para minimizar a^* convendrá eliminar la soja de la formulación e incorporar mandioca (T76:S0:M24). Combinando soja y mandioca (T71:S11:M18) se podría obtener un pan cuya corteza tenga un valor de a^* semejante al pan 100 % de trigo. Finalmente, para predecir el valor de la componente b^* de la corteza se selecciona el modelo cúbico ($R^2 = 99,3$) y valor de $p = 0,0387$. El efecto de la formulación es más complejo de interpretar

(figura 27). Para minimizar b^* la formulación debería carecer de soja y contener también una alta proporción de mandioca (T78:S0:M22).

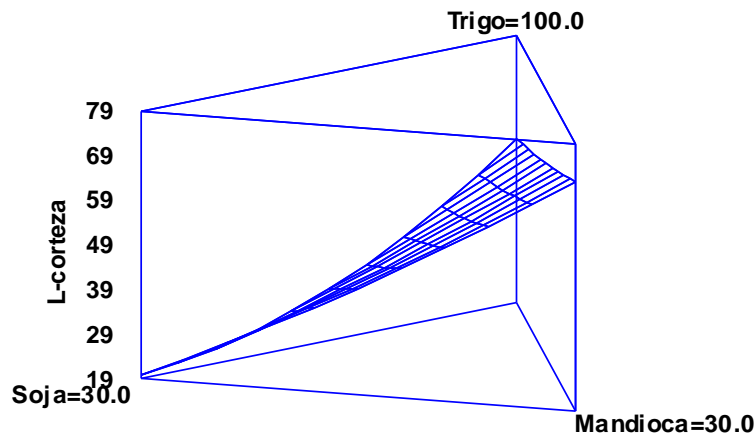


Figura 25: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre el componente L de la corteza del pan

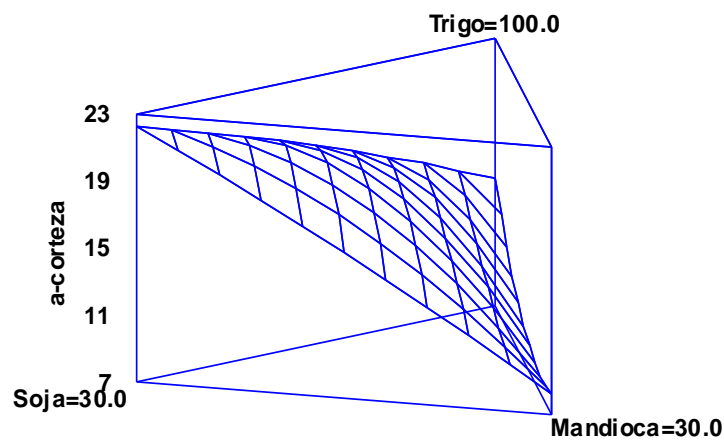


Figura 26: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre el componente a^* de la corteza del pan

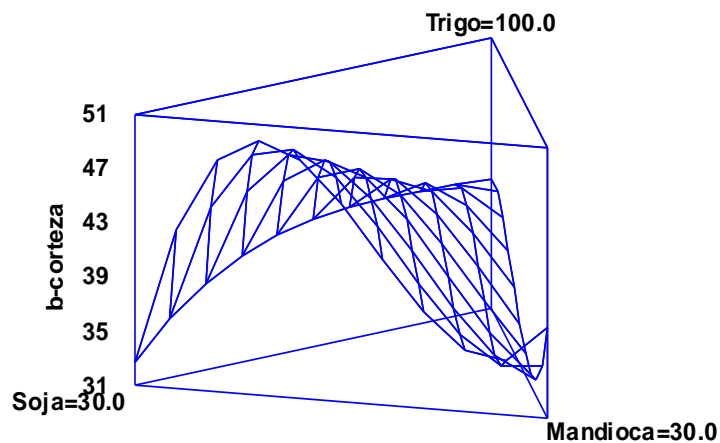


Figura 27: Influencia de las harinas alternativas sobre b^* de la corteza

5.2.3. Análisis de correlaciones lineales y de componentes principales

En la tabla 16 se presentan el resumen de las correlaciones lineales. El volumen se correlaciona muy positivamente con la altura. La fuerza máxima y la firmeza tienen una correlación muy cercana a 1, lo que indica que aportan una información muy semejante. Como se podía esperar, hay una correlación de signo negativo entre la firmeza y la altura y el volumen.

En los parámetros de color, la luminosidad de la corteza se correlaciona negativamente con a^* de la corteza y de la miga, y con b^* de la miga. A su vez los parámetros a^* y b^* de la miga se correlacionan positivamente entre sí, y con la a^* de la corteza.

También se puede observar que la luminosidad de la corteza se correlacionan positivamente con altura y volumen, y como es lógico, negativamente con la fuerza máxima y con la firmeza.

Tabla 16: Resultado de las correlaciones lineales

	Altura	Volumen	Fmax	Firmeza	L-miga	a-miga	b-miga	L-corteza	a-corteza
Volumen	0,9205								
Fmax	-0,8856	-0,7847							
Firmeza	-0,8462	-0,7639	0,9882						
L-miga	0,2640	0,3744	-0,2896	-0,3949					
a-miga	-0,8149	-0,7430	0,7618	0,7812	-0,5138				
b-miga	-0,8755	-0,8476	0,8013	0,8122	-0,4679	0,9715			
L-corteza	0,7657	0,7096	-0,7083	-0,7150	0,4866	-0,9470	-0,9426		
a-corteza	-0,7214	-0,6570	0,5982	0,5750	-0,2832	0,8726	0,8775	-0,9612	
b-corteza	-0,5159	-0,3125	0,3940	0,2786	0,4716	0,1239	0,2106	-0,2304	0,3543

Tras realizar un análisis de componentes principales con todas las variables instrumentales se obtienen dos componentes significativos que explican el 68 % y el 16 % de la varianza total, respectivamente. En la figura 28, donde se presentan los pesos de

las distintas variables en ambos componentes principales. Se observa muy bien lo descrito al analizar las correlaciones lineales: la L-corteza, volumen y altura se oponen a los parámetros fuerza máxima, firmeza, a-corteza, b-miga y a-miga. Todos estos parámetros son importantes en el componente 1. Los parámetros b-corteza y la L-miga aparecen menos correlacionados con el resto de variables, y tienen un peso más importante en el componente 2.

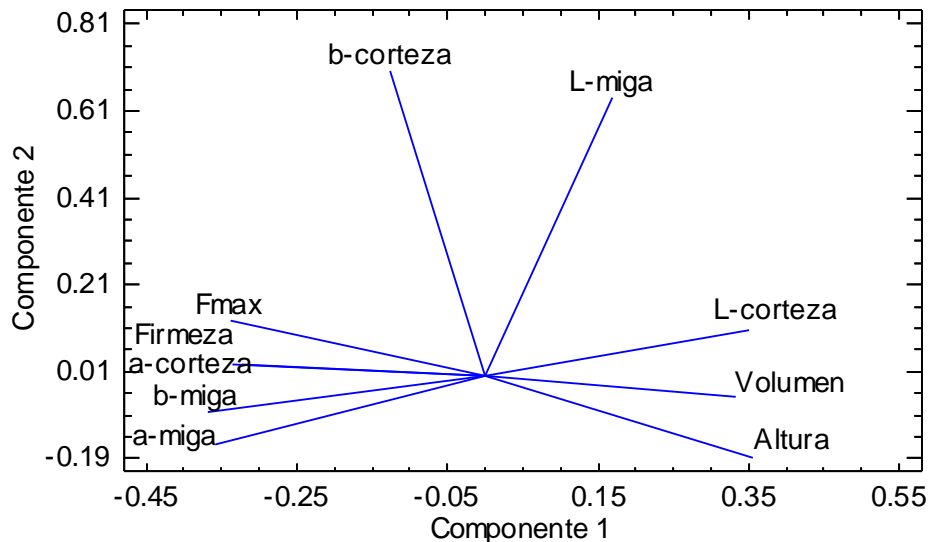


Figura 28: Correlación entre las distintas variables

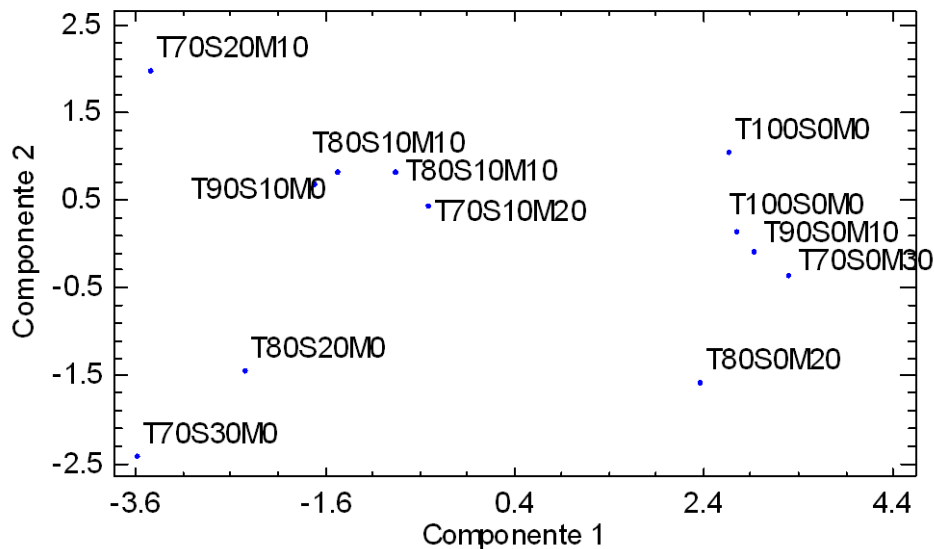


Figura 29: componentes principales entre las formulaciones de pan

En la figura 29, se presentan los panes en función de los dos primeros componentes principales. Se aprecia con claridad que aquellas formulaciones que no

contienen soja se sitúan a la derecha (panes con corteza clara, con altura y volumen elevados) se oponen a las formulaciones que sí contienen soja. A mayor contenido en soja más a la izquierda quedan situados los panes, resultando en panes con menor volumen, más firmes, con miga más amarillenta y rojiza y corteza más rojiza y menos luminosa.

En base a los resultados obtenidos en los apartados previos se decidió que para realizar un estudio de optimización múltiple se utilizarían los modelos predictivos de las siguientes variables: volumen, firmeza, b-miga, L-corteza, a-corteza y b-corteza. El resto de variables no se incluyeron por considerar que eran redundantes, y la L-miga no se empleó porque no se pudo obtener un modelo predictivo significativo al 95% de confianza. El parámetro a-miga no se ha incluido porque es un parámetro que en los panes estudiados no parece muy significativo porque oscila en un rango muy estrecho (aproximadamente entre 0 y 2,5), y además presentaba un elevado coeficiente de variación dentro de cada muestra.

5.2.4. Optimización múltiple de las variables instrumentales

El objetivo de principal de la optimización múltiple es seleccionar formulaciones con características óptimas al punto de vista sensorial, es decir, una o varias formulaciones que permitan obtener panes con características similares a la del pan control, 100% trigo.

Los datos de partida para la optimización comportan las siguientes características:

Tabla 17: Valores mínimos y máximos observados para las variables incluidas en la optimización múltiple

Característica	Mínimo Observado	Máximo Observado
Volumen (cc ³)	1033	1520
Firmeza (N)	1,1	5,5
b-miga	13,1	27,2
L-corteza	19,9	69,3
a-corteza	7,4	22,2
b-corteza	32,0	49,6

A continuación se presentan resultados de varias optimizaciones sucesivas en las que se van modificando los objetivos (la función de deseabilidad).

Optimización 1: se busca máximo volumen y luminosidad de la corteza, y mínima firmeza, mínima b* en miga (poco amarillento) y en corteza, y mínima a* en corteza (mínimo rojo).

La formulación que maximiza la función deseable es: soja 0%, mandioca 30 % y trigo 70 %. (Figura 30). Con esta formulación, el pan obtenido tendría como características predichas las siguientes:

Tabla 18: Características predichas en el pan tras la optimización múltiple 1

Característica	Valor predicho
Volumen (cc ³)	1334
Firmeza (N)	1,11
b-miga	14,3
L-corteza	70,6
a-corteza	8,2
b-corteza	37,7

Como se puede observar, en el modelo predicho, el volumen de la formulación no es muy alto.

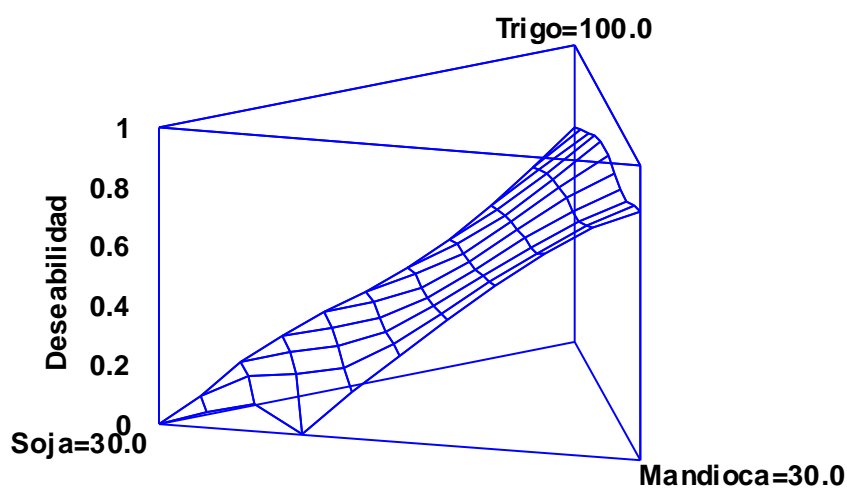


Figura 30: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre la función de deseabilidad (optimización 1)

Optimización 2: con el incremento de harina de mandioca, se obtiene un pan con luminosidad muy alta. Entonces, cambiando ese valor deseado de L-corteza a 55, que es

el valor de pan 100 % trigo, se obtiene siguiente respuesta: trigo 90%, soja 0% y mandioca 10%.(figura 31) En este caso, se reduce la cantidad de mandioca y se obtiene una formulación con volumen alto, de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 19: Características predichas en el pan tras la optimización múltiple 2

Característica	Valor predicho
Volumen (cc ³)	1443
Firmeza (N)	1,1
b-miga	15,1
L-corteza	60,1
a-corteza	10,4
b-corteza	37,1

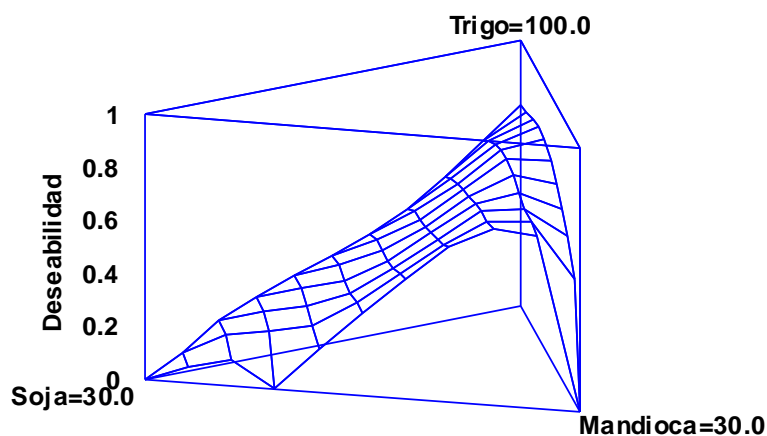


Figura 31: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre la función de deseabilidad (optimización 2)

Optimización 3: a partir del caso anterior, reduciendo el volumen deseado a 1400 cc³. Como resultado aparece en la formulación una pequeña proporción de soja: trigo 85,9%, soja 1,9% y mandioca 12,1%. La respuesta predicha para esa formulación se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 20: Características predichas en el pan tras la optimización múltiple 3

Característica	Valor predicho
Volumen (cc ³)	1400
Firmeza (N)	2,1
b-miga	15,8
L-corteza	57,6
a-corteza	11,6
b-corteza	37,1

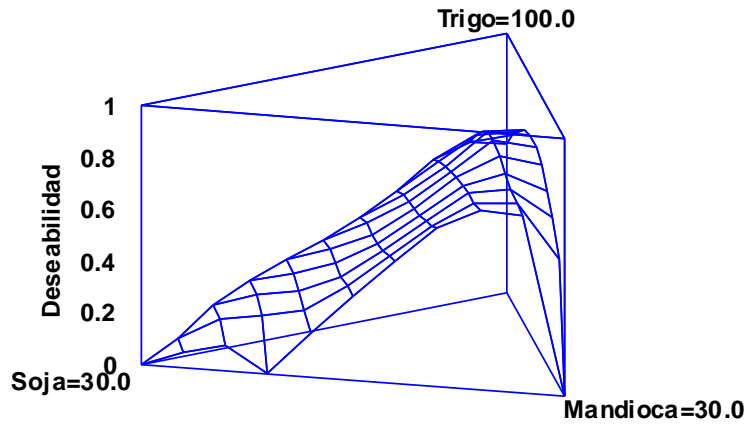


Figure 32: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre la función deseabilidad (optimización 3)

Optimización 4: volviendo a disminuir el volumen a 1350 cc^3 , se logra un pan con siguientes proporciones: trigo 82,7%, soja 3,2% y mandioca 13,9% (figura 33). En este caso, el contenido de soja se incrementa. Las características predichas con estas proporciones son:

Tabla 21: Características predichas en el pan tras la optimización múltiple 4

Característica	Valor predicho
Volumen (cc^3)	1368
Firmeza (N)	2,6
b-miga	16,3
L-corteza	56,4
a-corteza	12,2
b-corteza	37,0

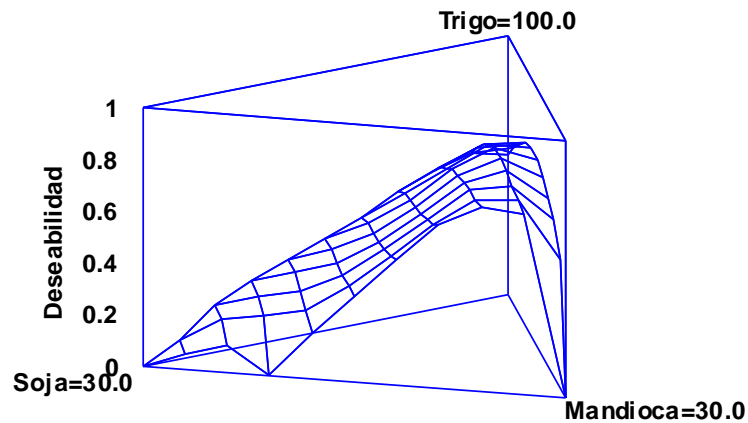


Figura 33: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre la función deseabilidad (optimización 4)

Optimización 5: finalmente, se decide además fijar los parámetros de a-corteza y b-corteza a valores próximos a los panes 100% de trigo, es decir a-corteza = 14 y b-corteza = 40. Se obtiene una formulación con las siguientes características: trigo 85%, soja 5% y mandioca 10%. (figura 34).

Tabla 22: Características predichas en el pan tras la optimización múltiple 5

Característica	Valor predicho
Volumen (cc ³)	1364
Firmeza (N)	2,3
b-miga	17,1
L-corteza	52,2
a-corteza	14,0
b-corteza	40,0

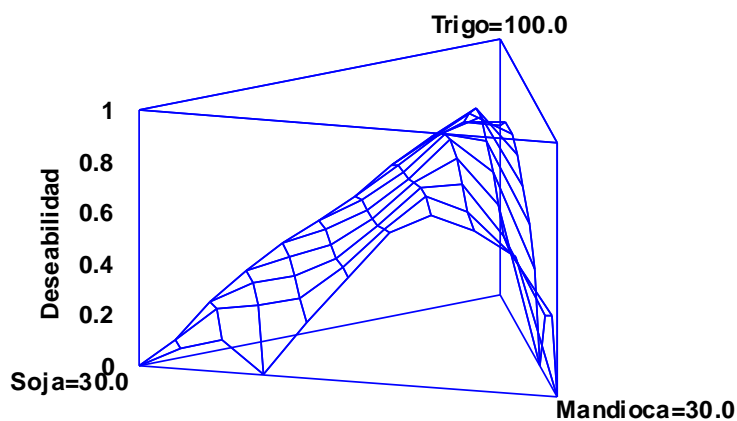


Figura 34: Influencia de la formulación de la harina compuesta sobre la función deseabilidad (optimización 5)

A partir de estos resultados, se decide que para el análisis sensorial se pueden comparar 3 distintas formulaciones de pan:

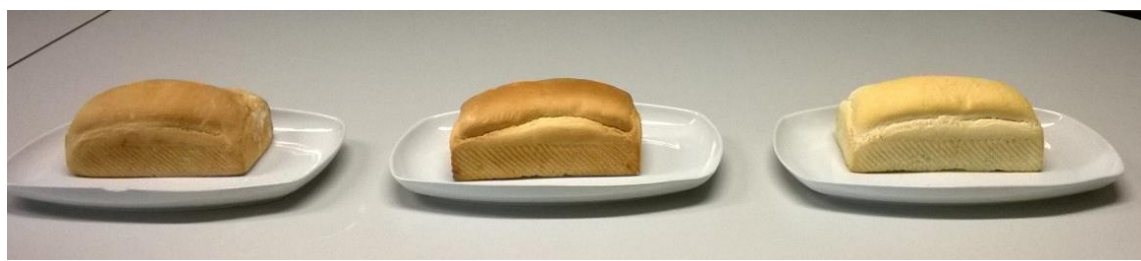
- Trigo 100% - por ser un pan de referencia.
- Trigo 70% y mandioca 30% - por presentar un volumen bastante apreciable. En el contexto de Mozambique, una sustitución de la harina de trigo del 30% con harina de mandioca se puede considerar muy atractiva desde el punto de vista económico
- Trigo 85%, soja 5% y mandioca 10% - por permitir a priori obtener un pan con aspectos similares a los de pan de referencia, y en el que se reduce la necesidad de trigo, y se compensa la pérdida de propiedades nutricionales con un poco de soja.

5.3. Resultados de las pruebas sensoriales

5.3.1. Características instrumentales y nutricionales de los panes evaluados

Las formulaciones de los panes evaluados sensorialmente, se determinaron el volumen, la altura y los parámetros CIELAB.

En la tabla 23 se presentan los resultados de análisis de textura, volumen y altura de los panes, y en la tabla 24 los correspondientes al color. En la figura 35 aparecen los panes enteros tal y como se presentaron a los catadores.



T85:S5:M10

T100:S0:M0

T70:S0:M30

Figura 35: Fotografía de los panes evaluados sensorialmente

Los tres panes muestran características bastante cercanas, con un volumen y altura elevados (el pan 100% trigo muestra valores un poco menores que los obtenidos en las dos repeticiones del diseño de mezclas), y unos valores de textura intermedios.

Tabla 23: Características instrumentales de volumen, altura y textura de los panes evaluados sensorialmente

Formulación	Volumen (cc3)	Altura (cm)*	F máxima (N)	Firmeza (N)
T100:S0:M0	1413 ± 15	9,0	4,1 ± 0,4	2,7 ± 0,2
T70:S0:M30	1407 ± 15	8,4	3,3 ± 0,1	2,0 ± 0,1
T85:S5:M10	1437 ± 25	9,2	3,8 ± 0,4	2,2 ± 0,2

*Datos realizados sin repeticiones

Resultados y Discusión

La formulación con un porcentaje alto de mandioca (T70:S0:M30), presentó muy alta luminosidad de corteza. Eso era de esperar, ya que la incorporación de la harina de mandioca en el producto panificado resulta en un color más blanco de la corteza. En la miga la formulación con mayor luminosidad fue la del 100% trigo, como ya se observó también en el diseño de mezclas. Hay que destacar que aunque la formulación con un 5% de soja presentó valores de a^* más elevados tanto en la miga como en la corteza, presentó una luminosidad en la corteza muy parecida a la del pan 100% trigo.

Tabla 24: Características instrumentales de color de los panes evaluados sensorialmente

Formulación	Miga			Corteza		
	L	a^*	b^*	L	a^*	b^*
T100:S0:M0	69,6 ± 1,5	0,5 ± 0,1	16,1 ± 0,9	57,0 ± 5,6	9,4 ± 0,9	33,1 ± 1,7
T70:S0:M30	62,9 ± 2,1	0,5 ± 0,2	13,2 ± 1,0	70,9 ± 2,6	6,1 ± 2,2	28,2 ± 5,9
T85:S5:M10	59,1 ± 5,1	1,4 ± 0,4	15,4 ± 1,4	56,2 ± 3,6	11,4 ± 1,4	35,2 ± 2,6

En la tabla 25 se presentan resultados de la composición nutricional de los panes. Los tres panes muestran características cercanas de humedad, fibras y cenizas. El pan con 30 % de mandioca presenta contenido más elevado de hidratos de carbono (57,2 g/100g). El pan con 5% de trigo presentó contenidos de proteínas, lípidos y minerales ligeramente alto. En la investigación realizada por (M.J. Frutos, L. Guilabert-Antón *et al.* 2008) observaron que al aumentar el contenido de alcachofa en pan, también aumentaba los contenidos de las proteínas, lípidos, y las cenizas.

Tabla 25: Composición nutricional de los panes (g/100 g base húmeda)

Ensayo	Agua	Proteínas	Lípidos	HC	Fibra	Cenizas
T100:S0:M0	31,4	9,6	1,3	55,0	0,7	1,9
T70:S0:M30	31,9	7,3	1,1	57,2	0,8	1,8
T85:S5:M10	32,1	10,0	2,0	53,1	0,9	2,0

5.3.2. Resultados de las pruebas sensoriales

En la prueba sensorial mediante escala hedónica de los panes se evaluaron los aspectos de la rebanada de pan como la apariencia, color, sabor, textura, impresión global, también se evaluarán los aspectos de los panes enteros como la apariencia, color y volumen.

Según los resultados del cuestionario las principales características de los 33 consumidores fueron: hombres (18 %), mujeres (82 %), rango de edad, 18 – 24 años (27 %), 25 – 30 años (27 %), 31 – 40 años (27 %) y > 40 años (18 %). En cuanto al frecuencia de consumo del pan, 91 % de los catadores indicaron que consumen diariamente, 9 % esporádicamente y ninguno de los participantes no consumen. (Figuras 36, 37 y 38)

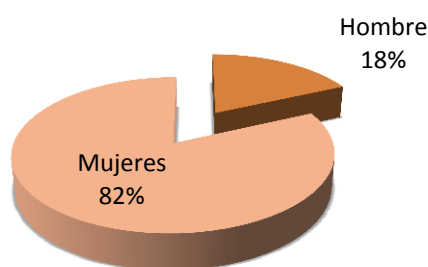


Figura 36: Sexo de los catadores

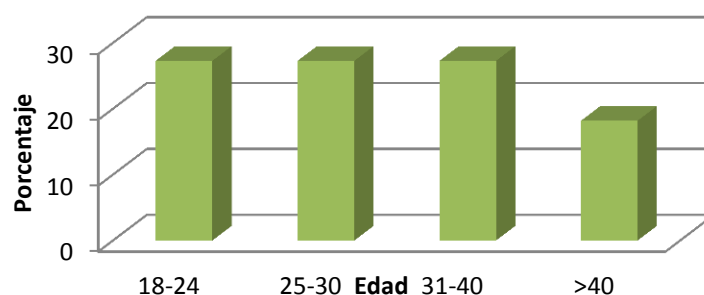


Figura 37: Edad de los catadores

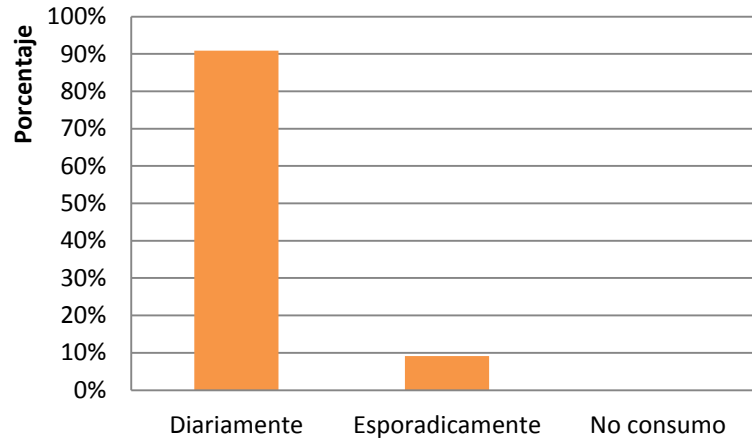


Figura 38: Frecuencia de consumo del pan por parte de los catadores

En la tabla 26, se presentan los resultados resumidos de ANOVA de análisis sensorial de los panes. (Media \pm desviación estándar). A continuación se presentan los resultados en cada componente evaluado.

Tabla 26: Resultados del ANOVA simple (tipo de pan) con los datos de la prueba de preferencias mediante escala hedónica

Atributos	Valores medios \pm desviaciones típicas (*)			P
	T100:S0:M0	T70:S0:M30	T85:S5:M_10	
Apariencia	5,7 \pm 0,9a	4,4 \pm 1,4b	5,7 \pm 1,1a	0,0000
Color	5,6 \pm 1,1a	4,1 \pm 1,3b	5,7 \pm 1,1a	0,0000
Sabor	5,5 \pm 1,2a	5,3 \pm 1,2ab	4,3 \pm 1,3b	0,0307
Textura	5,2 \pm 1,3a	5,0 \pm 1,2a	5,1 \pm 1,2a	0,6646
Impresión global	5,5 \pm 1,0a	4,7 \pm 1,3b	5,1 \pm 1,3ab	0,0223
Apariencia pan entero	5,7 \pm 1,2a	4,1 \pm 1,2b	5,8 \pm 0,2a	0,0000
Color pan entero	5,9 \pm 1,3a	3,9 \pm 1,2b	5,6 \pm 1,1a	0,0000
Volumen pan entero	5,8 \pm 0,9a	4,9 \pm 1,1b	5,6 \pm 0,9a	0,0021

(*) medias seguidas por las misma letra en la fila no difieren entre sí (test de Tukey, $p < 0,05$)

La apariencia y el color constituyen una característica importante en la aceptabilidad del pan. La formulación con 30 % de mandioca (70:0:30), presentó diferencias significativas ($p < 0,05$) en la apariencia y color tanto de las rebanadas como del pan entero, con respecto a los otros panes, que presentaron valoraciones más altas e iguales entre sí. (Figuras 39 a 42). Desde el punto de vista instrumental los panes con 30 % de mandioca presentaban una luminosidad de la corteza muy superior a los otros panes. En las medidas realizadas en la miga, no obstante, era el pan de trigo el que presentaba una luminosidad mayor, En estudio hecho por (Gyedu-Akoto E. *and* Laryea D. 2013), evaluación de harina de mandioca en la producción de galletas, concluyó que incrementando el contenido de harina de mandioca, reduce la aceptabilidad sensorial del producto. En estudio realizado por (Sanful R. E. *and* Darko S. 2010), uso de harina de soja fabrico de pan, apunta que 100 por ciento de los catadores preferirán color de pan con 100 % del trigo. En este estudio, el disgusto del pan de mandioca se puede deber a su apariencia de color blanco, lo que es un color muy distinto de los panes comunes.

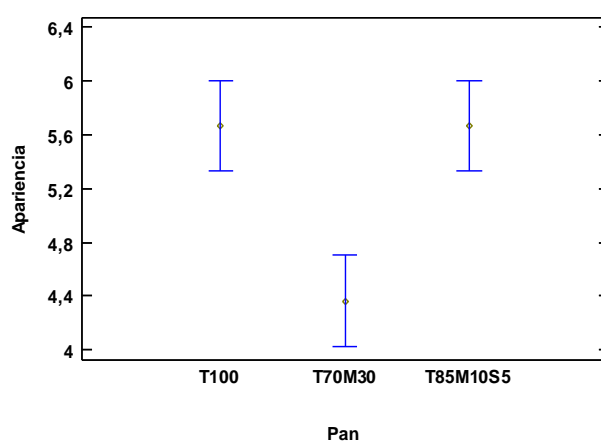


Figura 39: Evaluación de apariencia de los panes (rebanadas)

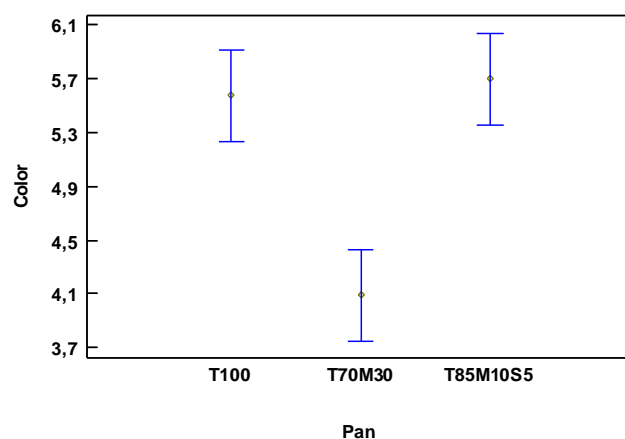


Figura 40: Evaluación del color de los panes (rebanadas)

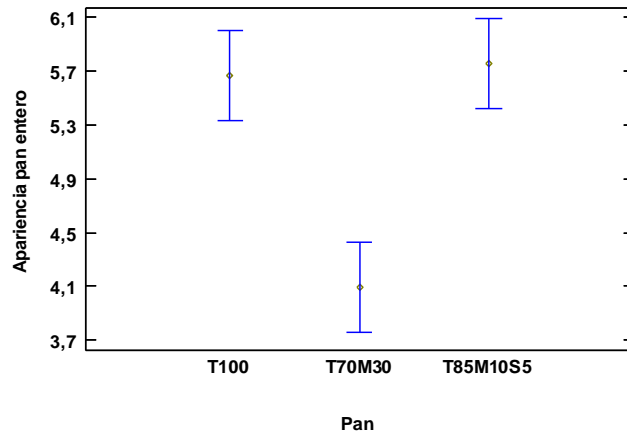


Figura 41. Evaluación de la apariencia de los panes enteros

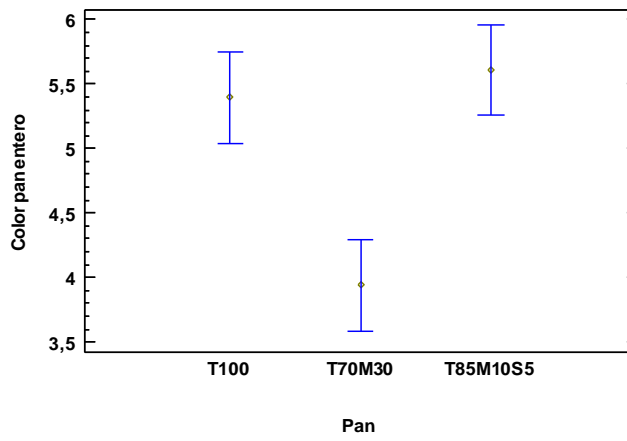


Figura 42: Evaluación del color de los panes enteros

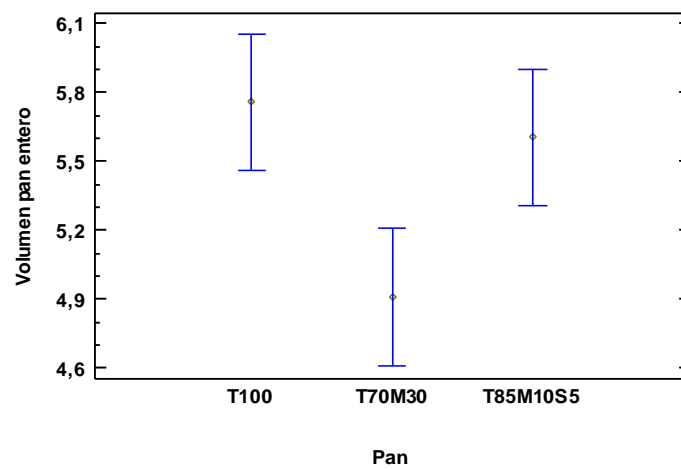


Figura 43: Evaluación de volumen de los panes enteros

Tanto como otros parámetros, el volumen del pan es uno de los aspectos importantes en la decisión de pan. En presente estudio, la formulación con 30% de mandioca (70:0:30), presentó una valoración significativamente menor que los otros dos panes (figura 43). Estos resultados se contradicen con las medidas instrumentales de volumen (tabla 26), en las que apenas se aprecian diferencias de volumen. Esa discriminación se puede deber al comportamiento de los catadores frente a los panes que más les gustan desde el punto de vista visual, ya que en todos los atributos relativos al color y apariencia, el pan con 30% de mandioca fue el menos preferido.

Evidentemente, el sabor es uno de los atributos sensoriales más importantes en cualquier alimento. La aceptabilidad del pan puede depender de su sabor. (Sim J., Tam N. *et al.* 1998). El pan con soja y trigo (85:5:10), presentó diferencia significativa ($p < 0,05$) con el 100% trigo, que fue el pan mejor valorado (Figura 44). En términos de apreciación del sabor, el pan con un 30% se quedó en una posición intermedia. Esos resultados coinciden en parte con el estudio realizado por (Udofia P. G., Udoudo P. J. *et al.* 2013), en la cual realizó un estudio sensorial con el pan elaborado con harinas de trigo, mandioca y soja, donde observó que incrementando contenido de soja y mandioca reduce la aceptabilidad sensorial.

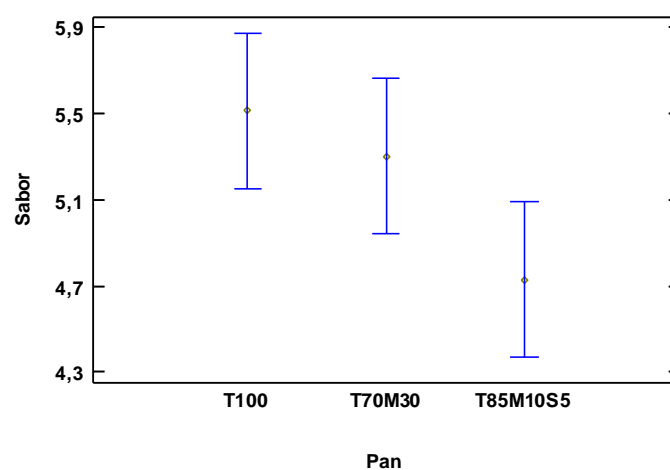


Figura 44: Evaluación de sabor de los panes

En cuanto a la textura, los resultados no presentaron diferencias significativas entre ellas ($p < 0,05$). En estudio hecho por (Ivanovski B., Seetharaman K. *et al.* 2012), “desarrollo de pan a base de soja” observó que no hubo diferencias significativas en la textura entre los panes (figura 45).

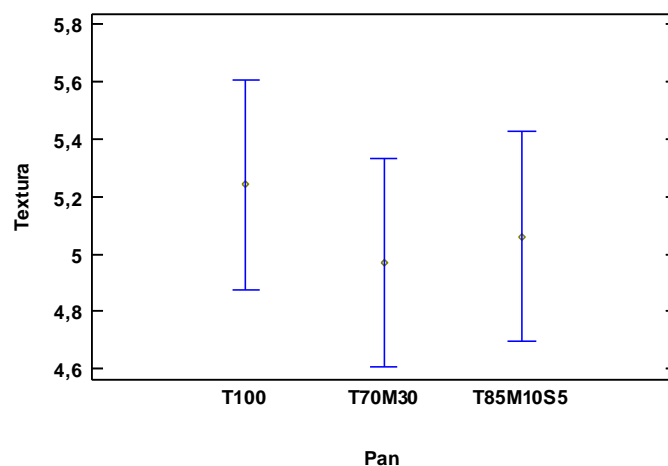


Figura 45: Evaluación de la textura de los panes

La impresión global explica como los catadores evalúan el pan en general. Hubo diferencias significativas entre las formulaciones (100:0:10) y (70:0:30) ($p < 0,05$). Además, la formulación con mínimo de soja y trigo (85:5:10), presentó en la posición intermedia entre las otras dos formulaciones (figura 46), lo que quiere decir que las características de esta formulación se parecen por un lado con la formulación de 100% de trigo (100:0:0) y por otro lado con la formulación con 30% de mandioca 70:0:30). En estudio realizado por (Sanful R. E. *and* Darko S. 2010), utilizando harina de soja para la elaboración de pan, observó que los catadores evaluaron mejor el pan 100% de trigo. Eso se puede deber a costumbre del consumo de panes solamente de trigo por parte de los catadores.

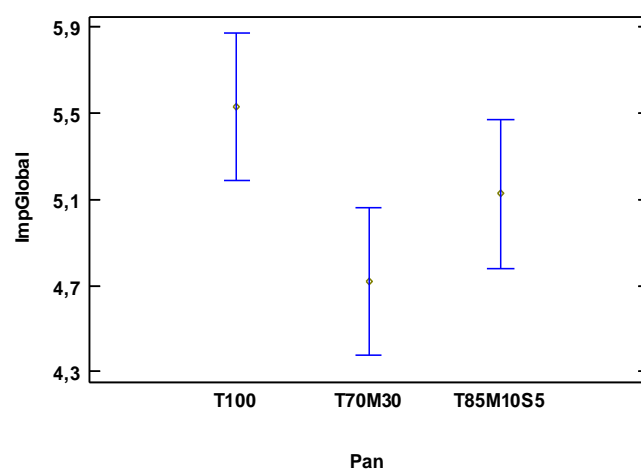


Figure 46: Evaluación global de los panes

Además de la prueba hedónica, también se realizó prueba de ordenación por preferencia mediante teste no paramétrica de Friedman (Anejo A-3).

Tabla 27: Identificación de los grupos homogéneos de la ordenación por preferencia

Nivel de confianza	Valoración	T100:S0:M30	T85:S5:M10	T70: 0:M30
95%	+	Grupo 1		
	-			Grupo 2
99%	+	Grupo 1		
	-		Grupo 2	

Existieron diferencias significativas al 95 y 99% de confianza (tabla 27). Al 95% de confianza se distinguieron dos grupos: uno más preferido conformado por las formulaciones T100:S0:M0 y T785:S5:M10) y el otro por la fórmula rica en mandioca (T70:S0:M30).

Al 99 % de confianza la formulación T85:S5:M10, quedó en una posición intermedia, sin diferir significativamente de los otros dos panes. Como conclusión se puede decir que la formulación con 30% de mandioca fue la menos preferida en este estudio, debido fundamentalmente a características de tipo visual (color, apariencia y volumen). Y que para mejorar la aceptabilidad por parte del consumidor la incorporación de una cantidad limitada de soja pare interesante puesto que permite obtener panes más parecidos al pan de trigo, precisamente en dichas características visuales.

Por otro lado, es evidente que este estudio sensorial tiene una fiabilidad limitada por el número reducido de consumidores, casi todos ellos españoles, y muy pocos de ellos del género masculino. Este mismo estudio realizado en Mozambique podría haber proporcionado otros resultados distintos.

6. Conclusiones

A partir de este trabajo de fin de máster, se extraen las siguientes conclusiones:

1. La harina integral de soja presentó mayor contenido de proteínas, grasas, fibra y minerales. La harina de mandioca resultó ser una fuente muy rica de hidratos de carbono, pero pobre en el resto de nutrientes. Por lo tanto la incorporación de soja a la formulación mejora el perfil nutricional del pan al aumentar su contenido en proteínas, grasas, fibra y minerales, mientras que lo contrario ocurre al incorporar la harina de mandioca.
2. La incorporación de harina de soja integral provocó un descenso determinante del volumen y altura del pan, que se relacionó a su vez con una mayor firmeza de la miga. Además la adición de harina de soja influyó mucho en el color de la miga, hacia coloraciones menos luminosas y más amarillas, y sobre todo en el color de la corteza, hacia coloraciones más oscuras y rojizas, producto posiblemente de un incremento de las reacciones de Maillard durante la cocción del pan.
3. La incorporación de harina de mandioca tuvo menor influencia que la incorporación de harina de soja en el volumen, la altura, la firmeza y el color de la miga del pan. No obstante, provocó un aumento muy significativo de la luminosidad de la corteza. Los panes elaborados con harinas de trigo y de mandioca, sin presencia de soja, presentaron una corteza más pálida que el resto.
4. Se realizó un análisis de optimización múltiple para definir las formulaciones para la evaluación sensorial. Se seleccionaron 3 formulaciones: 100% de trigo, por ser pan de referencia; 70% de trigo y 30% de mandioca, por tener un volumen teórico bastante apreciable y por considerar que la incorporación de una cantidad elevada de la harina de mandioca puede ser muy atractiva al punto de vista económico en Mozambique; y finalmente una formulación con 85% de trigo, 5% de soja y 10% de mandioca, por permitir obtener teóricamente un pan con volumen, textura y color similares a los de pan de referencia y en el que la pérdida de propiedades nutricionales derivada de la

adición de mandioca quedaría compensada con la incorporación de harina de soja.

5. Los resultados de las pruebas sensoriales indicaron que el pan elaborado con una harina compuesta de 5% de soja y 10% de mandioca fue valorado en muchos atributos, excepto el sabor, de forma muy parecida al producto mejor valorado en términos generales, el pan 100% trigo. El pan producido con harina compuesta con 30% de mandioca, con un color claramente más blanco, fue peor valorado precisamente en los atributos visuales relativos al color y la apariencia, aunque su sabor fue mejor valorado que el del pan con soja.
6. Finalmente se puede decir que el presente trabajo demuestra que existe la posibilidad de obtener panes en los que la harina de trigo sea sustituida parcialmente con proporciones bajas de harinas de soja y de mandioca, o bien con proporciones de hasta el 30% de harina de mandioca. En el primer caso el pan resultante tendrá un perfil nutricional más adecuado, mientras que la segunda opción sería particularmente interesante en Mozambique desde el punto de vista económico, puesto que la mandioca es el principal producto agrario del país, y el precio del pan se ve muy influenciado por el precio del trigo, que se importa en su totalidad

7. Referencias

AACC (1967). "Method 30-25.01 Approved Methods of Analysis 11th edn." Assoc. of Am. Cereal Chemists.

AACC (1986). "Method 74-09." Assoc. of Am. Cereal Chemists.

AACC. (1983). "Approved Methods of American Association of Cereal Chemists." Assoc. of Am. Cereal Chemists: 1525.

AEMP (2012). Estudio de la harina de trigo. Bolivia, Autoridad de Fiscalización y Control Social de Empresas: 6-8.

AOAC (1997). " Method 985.29, section 45.4.07. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th edition, V. II." Assoc. Official Analytical Chemist.

AOAC (2005). "method 979.09. Official methods of analysis." Assoc. Official Analytical Chemist.

Aristizábal Johana, Sánchez Teresa, et al. (2007). Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de Servicios Agrícolas 163. Roma (Italia), FAO.

Cadioli M. G. B., M. A. B. Rodas, et al. (2011). "Comparision between acceptance and bread traditional high soy protein and soluble prebiotic fiber." SciVerse ScienceDirect 1: 1980-1986.

Dendy D. A. V. and dobraszczyk B. J. (2004). Harinas compuestas y alternativas. Cereales y Productos derivados. S. A. ACRIBA. Zaragoza: 323-338.

Dendy D. A. V. and Dobraszczyk B. J. (2004). Pan: Un alimento único. Cereales y Productos Derivados: Química y Tecnología. S. A. ACRIBA. Zaragoza: 223-278.

Dendy D. A. V. and Dobraszczyk B. J. (2004). Trigo y harina. Cereales y Productos Derivados: Química y Tecnología. S. A. ACRIBA. Zaragoza: 127-156.

Dhinda F., Lakshmi A. J., et al. (2012). "Effect of Ingredients on Rheological, Nutritional and Quality Characteristics of High Protein, High fibre and Low Carbohydrate Bread." Food Bioprocess Technol 5: 2998-3006.

Dhingra S. and Jood S. (2004). "Effect of flour blending on functional, baking and organoleptic characteristics of bread." International Journal of Food Science and Technology 39(2): 213-222.

Dobraszczyk, B. J., Campbell, G. M., Gan, Z. (2001). Breadmaking processes. Cereales y Productos Derivados: Química y Tecnología. Zaragoza, ACRIBIA, S.A.: 226-227.

El-Dash A. A., Cabral L. C., et al. (1994). Tecnologia de Farinhas Mistas: Uso de farinha mista de trigo e soja na produção de pães. Rio de Janeiro.

EL-DASH A. A., CAMARGO C. O., et al. (1979). "Fundamentos de tecnologia de panificação." Campinas: Fundação Tropical de Pesquisa e Tecnologia: 349p.

- El-Dash A. A. and Germani R. (1994) Tecnologia de Farinhas mistas: uso de farinha mista de trigo e soja na produção de massas alimentícias. Brasília, DF, EMBRAPA-SPI v.5,
- Envagelista C. M. and Regitano-d'Arce M. A. B. (1997). "Análise espectrofotométrica das lipoxigenases em grãos de soja macerados em diferentes temperaturas." Ciencia e Tecnologia de Alimentos **17(3)**: 270-274.
- Esteller M. S., Amaral R. L., et al. (2004). "Effect of sugar and FAT replacers on the texture of baked goods." Journal of Texture Studies **35(4)**: 383-393.
- FAO. "Informe por país: Mozambique." Retrieved 28 de Abril, 2014, from <http://www.fao.org/isfp/informacion-por-pais/mozambique/es/>.
- FAO (2011). NUTRITION COUNTRY PROFILE: REPUBLIC OF MOZAMBIQUE.
- FAOSTAT (2014). "<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567>." Retrieved 28 de Abril, 2014, from <http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567>.
- Fiorda Fernanda A., Soares Jr Manoel S., et al. (2013). "Microestructure, texture and colour of gluten-free pasta made with amaranth flour, cassava starch and cassava bagasse." LWT - Food Science and Technology **54(1)**: 132-138.
- Frete F. (2010). Mandioca: Una Opción Industrial. Paraguay, USAID: 7-12.
- Gyedu-Akoto E. and Laryea D. (2013). "Evaluation of cassava flour in the production of cocoa powder-based biscuits." Nutrition and Food Science **43(1)**: 55-59.
- HDI (2013). Human Development Report 2013. The Rise of the South: Human Progress in a Diverse World. New York.
- ICC (1976). " Standard Methods 109/1. International Association for Cereal Science and Technology."
- ICC (1990). " Standard Methods 104/1. International Association for Cereal Science and Technology."
- Idolo I. (2011). "Sensory and nutritional quality of Madiga produced from composite flour of wheat and sweet potato." Pakistan Journal of Nutrition **10(11)**: 1004-1007.
- Ivanovski B., Seetharaman K., et al. (2012). "Development of soy-based bread with acceptable sensory properties." Journal of Food Science **77(1)**: S71-S76.
- Justo M. B., Alfaro A. D. C., et al. (2007). "Integral bread development with soybean, chia, linseed, and folic acid as a functional food for woman." ARCHIVOS LATINOAMERICANOS DE NUTRICION **57(1)**.
- K. Liu (1997). Soybeans - Chemistry, Tecnology and Utilization. New York, Chapman Hall.

Leon A. E. and Rosell C. M. (2007). DE TALES HARINAS, TALES PANES: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. Cordoba, Argentina.

León A. E. and Rosell C. M. (2007). DE TALES HARINAS, TALES PANES: granos, harinas y productos de panificación en Iberoamérica. Córdoba, Argentina.

Lodi A. and Vodovotz Y. (2008). "Physical properties and water state changes during storage in soy bread with and without almond." Food Chemistry **110**(3): 554-561.

M.J. Frutos, L. Guilabert-Antón, et al. (2008). "Effect of Artichoke (*Cynara scolymus* L.) Fiber on Textural and Sensory Qualities of Wheat Bread." Food Science and Technology International **14**: 49-55.

Mohamed Abdellatif A., Rayas-Duarte P., et al. (2006). "Low carbohydrates bread: Formulation, processing and sensory quality." Food Chemistry **99**(4): 686-692.

Oficina Económica y Comercial de España en Johannesburgo (2012). Guía País: Mozambique. Johannesburgo: 5.

Pasqualone A., Caponio F., et al. (2010). "Gluten-free bread making trials from cassava (*Manihot Esculenta* Crantz) flour and sensory evaluation of the final product." International Journal of Food Properties **13**(3): 562-573.

Sabanis D. and Tzia C. (2009). "Effect of rice, corn and soy flour addition on characteristics of bread produced from different wheat cultivars." Food and Bioprocess Technology **2**(1): 68-79.

Sanful R. E. and Darko S. (2010). "Utilization of soybean flour in the production of bread." Pakistan Journal of Nutrition **9**(8): 815-818.

Sim J., Tam N., et al. (1998). "Evaluation of Eating Qualities of Muffins Prepared With Soy Flour." Journal of the American Dietetic Association **98**(9, Supplement): A38.

Udofia P. G., Udoudo P. J., et al. (2013). "Sensory evaluation of wheat-cassava-soybean composite flour (WCS) bread by the mixture experiment design." African Journal of Food Science **7**(10): 368-374.

Viswanathan K. and Ho P. (2014). "Fortification of white flat bread with sprouted red kidney bean (*phaseolus vulgaris*)." Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria **13**(1): 27-34.

www.harinasguria.es (2014). Retrieved 8 de Junio, 2014, from www.harinasguria.es.

8. Anejos

A-1: Parámetros de elaboración de pan

Ensayo	Trigo (%)	Soja (%)	Mandioca (%)	Harina trigo (g)	Harina Soja (g)	Harina Mandioca (g)	T ^a harina (°C)	T ^a agua (°C)	T ^a masa (°C)	Tiempo de fermentación (min)	Masa unidad (g)	Pan unidad (g)
T100:S0:M0	100	0	0	1500	0	0	20,6	20,9	25,8	65	390	323
T90:S0:M10	90	0	10	1350	0	150	18,4	20,4	24,5	65	390	325
T90:S10:M0	90	10	0	1350	150	0	18,2	19,9	23,8	65	390	329
T80:S0:M20	80	0	20	1200	0	300	23,2	22,3	26,4	65	390	318
T80:S20:M0	80	20	0	1200	300	0	20,5	21,6	23,6	65	390	322
T70:S30:M0	70	30	0	1050	450	0	20,6	21,1	23,4	65	390	324
T70:S0:M30	70	0	30	1050	0	450	19,5	20,6	23,8	65	390	326
T80:S10:M10	80	10	10	1200	150	150	21,3	21,5	26	65	390	324
T70:S10M:20	70	10	20	1050	150	300	17,3	20,1	23,2	65	390	328
T70:S20:M10	70	20	10	1050	300	150	20,4	19,5	24,3	65	390	328
T100:S0:M0	100	0	0	1500	0	0	19,7	18,3	24,5	65	390	325
T80:S10:M10	80	10	10	1200	150	150	20,8	20,5	25,7	65	390	328

A-2: FICHA DE CATA DE PAN

Nº catador _____

INSTRUCCIONES PARA LA CATA

Los panes serán catados según el orden establecido. **NO OLVIDE indicar el código del pan** (escrito en el plato) en el orden presentado (de izquierda a derecha) en la cuadrícula inferior para la evaluación sensorial del pan. Tras la degustación de cada una de las rebanadas de pan deberá enjuagarse la boca con agua para evitar que queden restos del pan anterior. Una vez evaluadas las rebanadas, evalúe los panes enteros situados en la mesa.

Es obligatorio rellenar todos los apartados.

Recuerde que si usted es celíaco/a, debe de abstenerse de realizar esta cata.

INFORMACIÓN DEL CATADOR

Marque con una cruz lo que corresponda:

SEXO

Hombre
Mujer

EDAD

De 18 a 24 años
De 25 a 30 años
De 31 a 40 años
> 40 años

HÁBITOS DE CONSUMO

¿Frecuencia de consumo del pan?

Diariamente
Esporádicamente
No consumo

¿Qué tipos de pan consume?

Tipo de pan	Frecuentemente	Esporádicamente
Barra común		
Baguette		
Barra integral		
Pan de molde (blanco)		
Pan de molde (integral/semillas/etc.)		

Evaluación mediante escala hedónica

Puntúe los distintos atributos sensoriales en cada una de las muestras con valores del 1 al 7 de acuerdo a la siguiente escala:

1. Me disgusta mucho
2. Me disgusta
3. Me disgusta ligeramente
4. Ni me gusta, ni me disgusta
5. Me gusta ligeramente
6. Me gusta
7. Me gusta mucho

Evaluación de la rebanada de pan

Escriba el código de la muestra según el orden presentado (de izquierda a derecha) →	CÓDIGO MUESTRA		
APARENCIA			
COLOR			
SABOR			
TEXTURA			
IMPRESIÓN GLOBAL			

Evaluación del pan entero

Escriba el código de la muestra según el orden presentado (de izquierda a derecha) →	CÓDIGO MUESTRA		
APARENCIA			
COLOR			
VOLUMEN			

Ordenación por preferencia

Ordene las tres muestras de acuerdo a su preferencia

Más me gusta Menos me gusta

Observaciones

	405	150	795
¿Qué es lo que más le gusta?			
¿Qué es lo que menos le gusta?			

A-3: Prueba de ordenación por preferencia

Catador	T100	T70M30	T85M10S5
1	2	1	3
2	2	3	1
3	2	3	1
4	1	2	3
5	1	2	3
6	2	3	1
7	2	3	1
8	3	1	2
9	2	3	1
10	2	3	1
11	1	3	2
12	2	1	3
13	1	3	2
14	3	1	2
15	3	2	1
16	1	2	3
17	2	3	1
18	1	2	3
19	1	3	2
20	1	3	2
21	1	2	3
22	2	3	1
23	1	3	2
24	2	1	3
25	2	3	1
26	1	3	2
27	1	2	3
28	1	3	2
29	2	3	1
30	1	3	2
31	2	3	1
32	1	2	3
Sumas de ordenaciones:	52	78	62

Número de jueces (J)	32	
Número de muestras (P)	3	
Grados de libertad	2	
Valor F (Friedman)	10,75	
Chi-cuadrado (95%)	5,99	F mayor
Chi-cuadrado (99%)	9,21	F mayor
Valor p	0,0046	p menor que 0,05 y 0,01
Conclusión: hay diferencias al 95 y 99%		

Panes comparados	Diferencias absolutas	Criterio de decisión (95%)	Significación
T100 - T70	26	15,72	Sí
T100-T85	10	15,72	No
T70-T85	16	15,72	Sí

Panes comparados	Diferencias absolutas	Criterio de decisión (99%)	Significación
T100 - T70	26	20,61	Sí
T100-T85	10	20,61	No
T70-T85	16	20,61	No