

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN INDUSTRIA DE ALIMENTOS

**"EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y NUTRICIONALES DE UN PAN CON
INCORPORACIÓN DE HARINA DE FRIJOL VARIEDAD ICTA CHORTÍ^{SMN}"**

TESIS DE GRADO

OSCAR ANDRÉS MARTÍNEZ REYES

CARNET 11421-13

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, AGOSTO DE 2017
CAMPUS CENTRAL

UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA
LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN INDUSTRIA DE ALIMENTOS

**"EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y NUTRICIONALES DE UN PAN CON
INCORPORACIÓN DE HARINA DE FRIJOL VARIEDAD ICTA CHORTÍ^{SMN}"**

TESIS DE GRADO

TRABAJO PRESENTADO AL CONSEJO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA

POR
OSCAR ANDRÉS MARTÍNEZ REYES

PREVIO A CONFERÍRSELE

EL TÍTULO DE INGENIERO EN INDUSTRIA DE ALIMENTOS EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADO

GUATEMALA DE LA ASUNCIÓN, AGOSTO DE 2017
CAMPUS CENTRAL

AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD RAFAEL LANDÍVAR

RECTOR: P. MARCO TULIO MARTINEZ SALAZAR, S. J.

VICERRECTORA ACADÉMICA: DRA. MARTA LUCRECIA MÉNDEZ GONZÁLEZ DE PENEDO

VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN: ING. JOSÉ JUVENTINO GÁLVEZ RUANO

VICERRECTOR DE INTEGRACIÓN UNIVERSITARIA: P. JULIO ENRIQUE MOREIRA CHAVARRÍA, S. J.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO: LIC. ARIEL RIVERA IRÍAS

SECRETARIA GENERAL: LIC. FABIOLA DE LA LUZ PADILLA BELTRANENA DE LORENZANA

AUTORIDADES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

DECANA: MGTR. KAREN GABRIELA MORALES HERRERA DE ZUNIGA

SECRETARIA: MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN

DIRECTOR DE CARRERA: DR. MARIO RENE SANTIZO CALDERON

NOMBRE DEL ASESOR DE TRABAJO DE GRADUACIÓN
ING. WILFREDO ANTONIO FERNANDEZ VERA

TERNA QUE PRACTICÓ LA EVALUACIÓN
MGTR. ISIS ARACELY LÓPEZ CIFUENTES DE GALVEZ
ING. OVILA ASCENCIÓN PRADO DUQUE
LIC. SUCELLY NOHEMÍ OROZCO MARROQUÍN DE MORALES

Guatemala, 10 de mayo del 2017

Magister
Alejandra Ortiz
Secretaria de Facultad
Facultad de Ingeniería

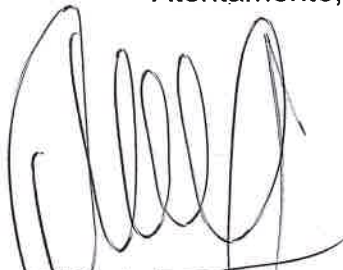
Estimada Ingeniera:

Por este medio me es grato saludarle y desearle toda clase de éxitos en el desarrollo de sus actividades diarias.

El motivo de la presente es para informarle que he revisado el informe final del Trabajo de Graduación titulado: **"EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y NUTRICIONALES DE UN PAN CON INCORPORACIÓN DE HARINA DE FRIJOL VARIEDAD ICTA CHORTÍ^{SMN}"**, del estudiante OSCAR ANDRÉS MARTÍNEZ REYES, quien se identifica con número de carnet. 11421-13. Después de haber revisado el informe final y de acuerdo con los requerimientos establecidos por la Facultad de Ingeniería de la Universidad Rafael Landívar, doy como aprobado dicho trabajo.

Sin otro particular, me suscribo de Usted.

Atentamente,



Ing. Wilfredo Fernández
Ingeniero de Alimentos
Catedrático URL



Orden de Impresión

De acuerdo a la aprobación de la Evaluación del Trabajo de Graduación en la variante Tesis de Grado del estudiante OSCAR ANDRÉS MARTÍNEZ REYES, Carnet 11421-13 en la carrera LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN INDUSTRIA DE ALIMENTOS, del Campus Central, que consta en el Acta No. 02403-2017 de fecha 6 de junio de 2017, se autoriza la impresión digital del trabajo titulado:

"EVALUACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y NUTRICIONALES DE UN PAN CON INCORPORACIÓN DE HARINA DE FRIJOL VARIEDAD ICTA CHORTÍ^{SMN}"

Previo a conferírsele el título de INGENIERO EN INDUSTRIA DE ALIMENTOS en el grado académico de LICENCIADO.

Dado en la ciudad de Guatemala de la Asunción, a los 25 días del mes de agosto del año 2017.

**MGTR. MARYA ALEJANDRA ORTIZ PATZAN, SECRETARIA
INGENIERÍA**

Universidad Rafael Landívar



AGRADECIMIENTOS

A MIS
CATEDRÁTICOS

Especialmente al ingeniero Erick Aguilar y al ingeniero Wilfredo Fernández por su apoyo en este trabajo.

DEDICATORIA

A MI FAMILIA

RESUMEN EJECUTIVO

En Guatemala, tanto la malnutrición calórica, proteica y de micronutrientes continúa siendo un problema importante, especialmente de la población que vive en pobreza. La Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil (ENSMI) 2014 - 2015 hace evidente que la deficiencia de uno de los micronutrientes, el hierro, es un problema importante de salud pública, ya que la prevalencia de la deficiencia de hierro llega incluso a ser de 71,2% para niños con 6 – 8 meses de edad. Para ello instituciones como el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) buscan incorporar en Guatemala variedades de frijol con altas concentraciones de hierro (biofortificadas), tal es el caso del Frijol ICTA Chortí^{SMN}. Sin embargo, los alimentos de origen vegetal son una de las principales fuentes de hierro para la población de escasos recursos, por poseer hierro inorgánico, su biodisponibilidad es limitada, pudiendo llegar a ser de hasta 2%.

Es por ello que en éste trabajo se planteó el objetivo de evaluar el efecto de la incorporación de harina de frijol ICTA Chortí^{SMN} en las características físicas y nutricionales de un pan de trigo.

Para ello empleó un pan estándar con 85% de harina de trigo y se comparó con cuatro tratamientos; dos con adición de harina de frijol germinado y dos con adición de harina de frijol cocido con proporciones 65:20 y 55:30.

Los análisis que se le realizaron fueron proximal, capacidad de absorción de agua de la harina, volumen específico, color, contenido de hierro y de ácido fítico para finalmente obtener una relación molar (ratio molar) ácido fítico:hierro.

Los resultados demuestran que los productos con harina de frijol germinado presentaron mayor contenido de proteína y menor contenido de fibra cruda, extracto libre de nitrógeno y hierro. No obstante, el contenido de ácido fítico no fue significativamente diferente entre los distintos tratamientos tomando como covariable la humedad de las harinas; aunque la relación molar fue menor para el tratamiento con frijol germinado.

En cuanto a la evaluación sensorial, la incorporación de frijol reduce significativamente la aceptación del pan; siendo el tratamiento con frijol germinado con proporción 65:20 el menos afectado.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----------|
| I INTRODUCCIÓN..... | 12 |
| 1.1 Lo escrito sobre el tema | 13 |
| 1.2 Resumen crítico del marco teórico | 17 |
| 1.2.1 Contextualización nutricional | 17 |
| 1.3 Hierro..... | 20 |
| 1.4 Prevención y control de la deficiencia de hierro y anemia | 21 |
| 1.4.1 Mejoramiento de la Dieta | 21 |
| 1.4.2 Suplementación | 22 |
| 1.4.3 Fortificación de alimentos en Guatemala..... | 22 |
| 1.4.4 Fitomejoramiento | 24 |
| 1.5 Factores extrínsecos (dietéticos) que afectan la biodisponibilidad del hierro..... | 26 |
| 1.5.1 Inhibidores de absorción de hierro | 26 |
| 1.5.2 Promotores de absorción de hierro..... | 28 |
| 1.6 Procesos tradicionales que favorecen la biodisponibilidad de micronutrientes..... | 30 |
| 1.6.1 Remojo | 30 |
| 1.6.2 Tratamiento térmico | 30 |
| 1.6.3 Fermentación..... | 31 |
| 1.6.4 Procesamiento mecánico | 31 |
| 1.6.5 Germinación | 32 |
| 1.7 El frijol | 33 |
| 1.7.1 Estructura general de las leguminosas | 34 |
| 1.8 Ciclo de desarrollo del frijol..... | 37 |
| 1.9 Pan..... | 38 |
| 1.9.1 Proceso de elaboración..... | 38 |
| 1.9.2 Ingredientes tradicionales en la composición de un pan | 41 |
| II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 45 |
| 2.1 Objetivos | 47 |
| 2.2 Hipótesis | 47 |
| 2.3 Variables..... | 48 |
| 2.4 Definición de variables | 49 |
| 2.5 Alcances y límites | 50 |
| 2.6 Aporte..... | 51 |
| III METODO | 52 |
| 3.1 Sujetos | 52 |
| 3.2 Unidades de análisis..... | 52 |
| 3.3 Instrumentos | 53 |
| 3.4 Procedimiento | 54 |
| IV DISEÑO Y METODOLOGÍA ESTADÍSTICA..... | 59 |
| V PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS | 62 |
| VI DISCUSIÓN..... | 66 |
| VII CONCLUSIONES..... | 74 |
| VIII RECOMENDACIONES..... | 75 |
| IX REFERENCIAS | 76 |
| X ANEXO | 84 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura No. 1 Diagrama etapas del proceso de panificación..... | 41 |
| Figura No. 2 Diagrama elaboración de harina de frijol | 54 |
| Figura No. 3 Diagrama elaboración harina de frijol germinado | 55 |
| Figura No. 4 Diagrama elaboración general de los tratamientos..... | 56 |
| Figura No. 5 Diagrama análisis de capacidad de absorción de agua | 57 |
| Figura No. 6 Diagrama análisis del color | 57 |
| Figura No. 7 Diagrama análisis del volumen..... | 58 |
| Figura No. 8 Diagrama análisis del rendimiento | 58 |
| Figura No. 9 Resultado componentes principales Análisis sensorial | 65 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Recomendaciones Dietéticas Diarias de Minerales | 19 |
| Tabla 2 Contenido de hierro de algunos alimento | 20 |
| Tabla 3 Definición conceptual de variables..... | 49 |
| Tabla 4 Definición operacional e indicadores de variables | 49 |
| Tabla 5 Instrumentos..... | 53 |
| Tabla 6 Experimentos | 59 |
| Tabla 7 Descripción de las unidades experimentales | 60 |
| Tabla 8 Formulación antes de añadir agua | 60 |
| Tabla 9 Formulaciones | 60 |
| Tabla 10 Características físicas harina..... | 62 |
| Tabla 11 Rendimiento y volumen específico del pan | 62 |
| Tabla 12 Color de miga de pan | 62 |
| Tabla 13 Composición proximal harina de frijol..... | 62 |
| Tabla 14 Composición proximal pan..... | 63 |
| Tabla 15 Contenido de hierro y ácido fítico de harinas (Base seca)..... | 63 |
| Tabla 16 Contenido de ácido fítico pan (Base húmeda)..... | 63 |
| Tabla 17 Características sensoriales | 64 |
| Tabla 18 Costo de Materia prima por pieza de 50g..... | 65 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|--|-----|
| Anexo 1 Glosario | 84 |
| Anexo 2 Abreviaturas | 84 |
| Anexo 3 Ácido fítico | 85 |
| Anexo 4 Boleta sensorial | 85 |
| Anexo 5 Volumen y forma del pan en función del nivel de azúcar | 86 |
| Anexo 6 Contenido de hierro y ácido fítico de los tratamientos en base húmeda..... | 86 |
| Anexo 7 Muestra de cálculo | 87 |
| Anexo 8 Análisis de costo de Materia Prima | 87 |
| Anexo 9 Informe de resultados contenido de ácido fítico | 89 |
| Anexo 10 Análisis proximal de los tratamientos | 92 |
| Anexo 11 Resultados análisis de hierro | 94 |
| Anexo 12 Aleatorización para prueba hedónica | 95 |
| Anexo 13 Resultados de análisis estadístico | 96 |
| Anexo 14 Imágenes..... | 108 |

I INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de energía alimentaria para la población pobre y pobre extrema está por debajo de las Recomendaciones Dietéticas diarias (RDD), en el caso del hierro aparentemente se cubren dichas RDD pero, hay que tomar en cuenta que se trata predominantemente de hierro de origen vegetal con bajo nivel de absorción, incluso considerando que la prevalencia de la deficiencia de hierro en niños de 6 a 59 meses, tanto en niños que no padecían infecciones como en aquellos que sí, las prevalencias son de 18,6% y 41,7% por lo que la deficiencia de este mineral es un problema importante de salud pública (Menchú y Méndez, 2011).

Un aporte a la estrategia para disminuir estos problemas es el consumo de cultivos biofortificados, los cuales en Guatemala están siendo trabajados por el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas (ICTA) para incrementar el contenido de vitaminas y minerales en cultivos nacionales, como es el caso del frijol ICTA Chortí^{SMN} con alto contenido de hierro.

Debido a la limitada biodisponibilidad del hierro inorgánico (Martínez, Ros, Periago Y López, 1999; Badui, 2006), su procesamiento es de importancia ya que es bien conocido que de esta manera se reducen los factores antinutricionales como el ácido fítico y por consiguiente incrementa su biodisponibilidad.

Una forma de industrialización que implica procesos que reducen los factores antinutricionales es la elaboración de pan, además que la inclusión de frijol en la fórmula de un pan tipo francés permitirá ofrecer un alimento más completo, debido al incremento en la cantidad y calidad de la proteína y el hierro.

En virtud de lo expuesto, se planteo como objetivo general evaluar las características físicas y nutricionales de un pan tipo francés con incorporación de harina de frijol variedad ICTA Chortí^{SMN}.

1.1 Lo escrito sobre el tema

El problema de la deficiencia de hierro se ha tratado desde hace mucho tiempo y del cual se habla en numerosas publicaciones. En el caso de Guatemala, la situación de la deficiencia de hierro se especifica sólo en mujeres y niños menores a 59 meses de edad, a través de la Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil (ENSMI) y la Encuesta Nacional de Micronutrientes (ENMICRON). Actualmente los valores más recientes se presentan en la ENSMI 2014 – 2015 publicada en el año 2017 en los cuales se indica que la prevalencia de anemia en mujeres no embarazadas se encuentra entre 15,8 y 11,7% dependiendo de la edad, mientras que en mujeres embarazadas es de 24,2%. En el caso de los niños se encuentra entre 71,2 para niños de entre 6 – 8 meses de edad y 15,2% en niños de entre 48 – 59 meses de edad.

Con el fin de reducir esos problemas se han realizado diversos programas como jornadas de suplementación y fortificaciones de alimentos, como es el caso de la harina de trigo que actualmente, según el RTCA 67.01.15:07 (Harinas. Harina de trigo fortificada. Especificaciones), se debe fortificar con, por lo menos, 55 ppm de fumarato ferroso; el compuesto de hierro más rentable para ser añadido en harina de trigo (Organización Panamericana de la Salud, Instituto Internacional de Ciencias de la Vida, Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos y Grupo Consultivo Internacional de Anemia Nutricional, 2002).

El frijol es una fuente natural de hierro y al ser un alimento que pertenece a la canasta básica del guatemalteco, el ICTA con apoyo de diferentes instituciones como HarvestPlus han mejorado distintos cultivos, a través de cruces o desarrollo de variedades específicas, con lo que han obtenido variedades de frijol con mayor cantidad y calidad de nutrientes como es el caso del ICTA Chortí^{SMN} (con contenido de hierro de 94 ppm), ICTA Superchiva^{ACM} o ICTA Petén^{ACM}.

Anteriormente se han realizado estudios sobre el uso de cultivos biofortificados en poblaciones. Por ejemplo, en Filipinas a través de un ensayo de alimentación de nueve meses con 192 mujeres religiosas no anémicas, se demostró que la dieta con arroz biofortificado con hierro proporcionaba un 17% más hierro que la dieta con uno nativo, lo que generó un

incremento modesto en la ferritina sérica y el hierro total del cuerpo (Haas, Beard, Murray-Kolb, del Mundo, Felix y Gregorio, 2005).

El hierro del frijol por ser una fuente vegetal de hierro, es del tipo inorgánico con valores de biodisponibilidad normalmente entre 2 – 10% (Badui, 2006). Y de acuerdo a un trabajo reciente la baja biodisponibilidad cobra mayor importancia en los biofortificados cuando tienen un alto contenido de factores antinutricionales debido a que Petry, Egli, Gahutu, Tugirimana, Boy y Hurrell, (2012) encontraron a través de tres experimentos que la absorción del hierro de un frijol con alto contenido de polifenoles (3,4%) era un 27% más bajo ($p < 0,01$) que en uno tradicional (4,7%) en una comida individual (single food) de frijol; que cuando se consumían comidas (meals) de frijoles con arroz y papas el contenido de polifenoles no era relevante ya que la diferencia en la absorción del hierro no era estadísticamente significativa ($p < 0,05$); y que la absorción del hierro proveniente de frijol con alto contenido de ácido fítico (3,8%) era 40% más baja que en uno con bajo contenido de ácido fítico (6,3%).

No obstante, se han establecido diferentes procesos que pueden favorecer la biodisponibilidad del hierro debido a la degradación de distintos factores antinutricionales, como el tratamiento térmico, molienda, remojo, fermentación y germinación. (Hotz y Gibson, 2007), y en cereales se considera el descascarado ya que en ese componente se suelen encontrar los principales factores antinutricionales (Nakitto, Muyonga y Nakimbugwe, 2015).

En general, estos tratamientos buscan la eliminación de los tóxicos o factores antinutricionales naturalmente presentes en los alimentos.

En este sentido, Saltar, Durrani, Mahmood, Ahmad y Khan (1988) demostraron que el remojo y germinación del frijol reduce efectivamente el contenido de ácido fítico, obteniendo un contenido mínimo de ácido fítico (105 mg/g) con un tiempo de germinación de 96 horas. Esta reducción la atribuyó principalmente a fitasas generadas y a la solubilización del ácido fítico en el agua de remojo. Así también determinó que el tiempo máximo de germinación que permitía obtener la máxima concentración de proteína (23,5%) era de 120 horas, mientras que la concentración de ácido ascórbico máxima (47mg/100g de frijol) se obtenía a las 48 horas de germinación.

La fermentación se considera también, como una fase que reduce la concentración de factores antinutricionales debido a las enzimas endógenas del microorganismo responsable de dicha fermentación. Un estudio realizado por Leichter y Joslyn (1966) en el cual evaluaron el estado del hierro en la harina, masa y pan encontraron que a pesar de existir una reducción de la concentración de hierro, durante la fermentación del pan existió un aumento neto de la cantidad de hierro disponible. Chitra *et. al*, (1996) recomienda un tiempo de fermentación de dos horas.

Estos tratamientos logran una reducción significativa de la concentración de factores antinutricionales si se aplicaran de manera individual, Chitra *et. al* (1996) encontraron que el método más efectivo era la germinación, seguido por la fermentación, el autoclavado y finalmente por el rostizado. Incluso encontraron que la germinación mejoraba la digestibilidad de la proteína con respecto a los otros tratamientos evaluados.

En cuanto al uso de harina de leguminosas u oleaginosas en productos de panificación ya se ha realizado anteriormente, en la elaboración de biscuits (Sparvoli, Laureati, Pilu, Pagliarini, Toschi, Giuberti, Fortunati, Daminati, Cominelli y Bollini, 2016), brownies (Uruakpa y Fleischer, 2016) e incluso en pan, como es el caso de Dhingra y Jood (2002) quienes concluyeron que se podría utilizar hasta en un 10% para complementar un pan tradicional sin afectar las características organolépticas de manera significativa, mientras que Wani, Singh, Sharma y Singh (2016) establecieron que se podría incorporar harina de leguminosas hasta en un 15% en un pan tipo chapatti logrando mantener la frescura de un pan por más tiempo comparado con el control (completamente trigo). Los tiempos de horneado se reducen y se logra un complemento de aminoácidos esenciales, mientras que en el folleto técnico no. 28 del Instituto Nacional de Investigaciones forestales, agrícolas y Pecuarias [INIFAP] citan el trabajo de Valdez y Damián (2007) en el que se explica que lograron incorporar el 13% de harina de frijol crudo a un pan integral de trigo sin modificar las propiedades de panificación de la masa.

Específicamente, el uso de la leguminosa en forma de harina en lugar de utilizarla directamente fresca trae consigo ventajas, entre ellas, Bressani, Elias, Huevo y Braham (1977) hablan sobre un menor riesgo al endurecimiento y a la infestación por insectos. Además, garantiza la disponibilidad constante de un producto estable, más fácil de preparar para consumo humano. Además, el procesamiento industrial de elaboración de harinas pre –

cocidas puede ser un incentivo para incrementar la producción y para utilizar aquellos materiales ya endurecidos.

Ahora bien, la producción de la harina se ha hecho de diferentes maneras; sin embargo la mayoría involucran remojo, cocción, deshidratado y molido, específicamente en ese orden dado que, de hecho, Bressani *et. al* (1977) mencionan un trabajo realizado por Elias, Hernández y Bressani donde evaluaron el efecto de la molienda del frijol previo a la cocción, sin embargo encontraron que la transferencia de calor en el grano molido no era eficiente.

En el caso de la harina de frijol germinado, se encuentran diferentes métodos, unos donde luego de la germinación el frijol directamente se deshidrata y posteriormente se muele (Sangronis y Machado, 2005) . Otros donde las porciones de raíz y de brote se retiraron previo a la molienda (Afify, Beltagi, Abd El-Salam, y Omran, 2012). Además que en otros casos el grano germinado se trató térmicamente (Bains, Uppal y Kaur, 2014) incluso en un trabajo se le retiró la cascara manualmente (Lee y Karunanithy, 1989).

1.2 Resumen crítico del marco teórico

1.2.1 Contextualización nutricional

La malnutrición de la población guatemalteca no solo provoca desnutrición calórica, sino también llega a provocar la comúnmente llamada “hidden hunger” o hambre oculta, es decir, una dieta deficiente en micronutrientes, la cual aunque generalmente es asintomática el individuo que la padece está sufriendo graves impactos negativos sobre su salud. (HarvestPlus, 2014)

En Guatemala, tanto la malnutrición calórica, proteica y de micronutrientes continúa siendo un problema importante, especialmente de la población que vive en pobreza. La ENSMI 2014 – 2015 hace evidente que la deficiencia de uno de los micronutrientes, el hierro, es un problema importante de salud pública, ya que la prevalencia de la deficiencia de hierro llega incluso a ser de 71,2% para niños con 6 – 8 meses de edad.

La población más vulnerable a presentar la deficiencia de hierro son infantes y mujeres embarazadas, aunque también afecta niños en desarrollo, adolescentes, ancianos e incluso hombres adultos. (Dary, 2002).

Chew (1996) explica que los efectos adversos producidos por las deficiencias de hierro son múltiples, pudiendo ser hematológicas y no hematológicas, siendo las no hematológicas:

- Capacidad física: El esfuerzo físico se ve mermado debido a la deficiencia de
- hierro.
- Mayor riesgo de infecciones: Está estrechamente relacionado con un alto número de episodios de diarrea e infecciones respiratorias.
- Alteraciones de la inmunidad: Ligado con una menor concentración plasmática de linfocitos.
- La deficiencia de hierro produce una desventaja en la educación: Comportamiento y desarrollo cognitivo sin importar la etnicidad, ambiente físico y social.
- Morbilidad materna y bajo peso al nacer: La deficiencia de hierro está altamente relacionada con la morbilidad y mortalidad materna al momento del parto.
- Implicaciones económicas de la deficiencia de hierro: Debido a la relación de la deficiencia de hierro con muertes prematuras, menor productividad; por consiguiente

menores salarios, aumento de los costos en salud con fines curativos y escasos recursos utilizados menos eficientemente.

Chew (1996) también menciona las causas de la deficiencia de hierro:

- Lactantes y niños: Inadecuada nutrición, demanda aumentada por crecimiento y síndromes de malabsorción.
- Adolescentes: Crecimiento rápido y menstruación.
- Mujeres en edad reproductiva: Pérdida de sangre menstrual excesiva, embarazos, lactancia.
- Mujeres post menopáusicas y hombres: Pérdida sanguínea gastrointestinal, ingesta crónica de salicilatos, uncinarias y ulcera péptica.

Estas causas son básicamente enfermedades o situaciones endógenas de la persona ya que en cuerpos que funcionan normalmente, el hierro no se agota ni se destruye y solo pequeñas cantidades se excretan por la orina y sudor y una minúscula cantidad se pierde por células de descamación de la piel e intestino, cabello, uñas y bilis. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2002)

Por lo que el Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP) propone las recomendaciones dietéticas diarias de minerales, entre las cuales, específicamente, las del hierro son:

Tabla 1

Recomendaciones Dietéticas Diarias de Minerales

| Sexo/Edad (años) | Hierro | | |
|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
| | Alta biod. Mg/día | Media biod. mg/día | Baja biod. mg/día |
| Niños/as | | | |
| 0-6 meses | b/ | b/ | b/ |
| 7-12 meses | 6.0 | 9.0 | - |
| 1-3 años | 4.7 | 7.0 | 14.0 |
| 4-6 años | 7.5 | 11.3 | 22.6 |
| 7-9 años | 8.8 | 13.2 | 26.4 |
| Hombres | | | |
| 10-11.9 | 10.1 | 15.1 | 30.2 |
| 12-13.9 | 10.1 | 15.1 | 30.2 |
| 14-15.9 | 10.9 | 16.4 | 32.8 |
| 16-17.9 | 10.9 | 16.4 | 32.8 |
| 18-29.9 | 7.5 | 11.2 | 22.4 |
| 30-49.9 | 7.5 | 11.2 | 22.4 |
| 50-64.9 | 7.5 | 11.2 | 22.4 |
| 65 y + | 7.5 | 11.2 | 22.4 |
| Mujeres | | | |
| 10-11.9 | 8.1 | 12.1 | 24.2 |
| 12-13.9 | 8.1 | 12.1 | 24.2 |
| 14-15.9 | 10.8 | 16.3 | 32.5 |
| 16-17.9 | 10.8 | 16.3 | 32.5 |
| 18-29.9 | 10.4 | 15.6 | 31.2 |
| 30-49.9 | 10.4 | 15.6 | 31.2 |
| 50-64.9 | 5.8 | 8.7 | 17.4 |
| 65 y + | 5.8 | 8.7 | 17.4 |
| Embarazo | c/ | c/ | c/ |
| Lactancia | 10.4 | 15.6 | 31.2 |

b/ Las necesidades de hierro son satisfechas por la disminución fisiológica de la hemoglobina y de reservas corporales de hierro.

c/ Se recomienda suplementos de hierro a todas las mujeres embarazadas.

Fuente: Menchú., Torún. y Elías (2012)

1.3 Hierro

El hierro en los alimentos se encuentra en dos formas: como hierro hemo, principalmente en alimentos de origen animal. Y como hierro no – hemo (o inorgánico) presente en todo alimento de origen vegetal, en la leche y en el huevo. (Martínez, Ros, Periago y López, 1999).

A modo de resumen, en tabla 2 se expone el contenido de hierro presente en diversos alimentos:

Tabla 2

Contenido de hierro de algunos alimentos

| Alimento | Hierro (mg/100g de porción comestible) |
|------------------------------------|--|
| Carnes | |
| Res, Hígado crudo | 4,9 |
| Res carne rica en grasa cruda | 1,79 |
| Pollo muslo c/piel, crudo | 0,99 |
| Pollo pechuga c/piel, cruda | 1,01 |
| Pescados | |
| Tilapia cruda | 0,56 |
| Mojarra fresca | 3,7 |
| Huevos | |
| De gallina, entero, crudo | 1,83 |
| Cereales | |
| Harina de trigo* | 5,5 |
| Maíz amarillo, grano entero, crudo | 2,71 |
| Hortalizas | |
| Espinacas cruda | 2,71 |
| Leche | |
| De vaca, íntegra (3,25% grasa) | 0,03 |
| Leguminosas | |
| Frijol negro, grano seco | 7,1 |
| Frijol soya, grano seco | 15,7 |

*Valor alto debido a la fortificación obligatoria. RTCA 67.01.15:07

Fuente: Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica por INCAP, 2007

Sin embargo para conocer en que medida un alimento aporta un nutriente, además de conocer el contenido neto, es importante reconocer la fracción que el organismo puede utilizar. A esto se le llama biodisponibilidad, la cual, según Bender citado por Martínez *et. al*, (1999) es definida como “La fracción de nutriente en una dieta o en un alimento, que puede ser utilizado por el organismo”.

En este sentido se han hecho numerosos estudios que demuestran que la biodisponibilidad del hierro inorgánico es muy baja, e incluso esta se ve altamente influenciada por factores intrínsecos (fisiológicos), como edad, estado nutricional (a mayor deficiencia del metal o en la hipoxia la absorción será mayor) y pH gástrico (según esté en ayunas o no), además de los extrínsecos (dietéticos).

Los factores extrínsecos, son de gran relevancia en la biodisponibilidad del hierro inorgánico, ya que estos pueden inhibir o promover su absorción.

1.4 Prevención y control de la deficiencia de hierro y anemia

Se han llevado a cabo una serie de estrategias orientadas a la reducción de la deficiencia de hierro, entre las que se incluye al mejoramiento de la dieta, suplementación y fortificación, aunque en la actualidad se han incorporado nuevas estrategias como la adición de minerales con fertilizantes y el fitomejoramiento, específicamente biofortificación (Chew, 1996).

1.4.1 Mejoramiento de la Dieta

Esta es la estrategia más deseable y sostenible, y se basa en la promoción de la diversificación de la dieta, fomento del consumo de alimentos que contienen factores que estimulan una mayor absorción del hierro dietético y la reducción en el consumo de alimentos ricos en ligantes del hierro.

1.4.2 Suplementación

Es la estrategia más común utilizada en los países que tienen un problema significativo de hierro, con resultados a corto plazo, que es implementada mientras se alcanza una mejoría a través de programas de fortificación de alimentos o de mejoría en la dieta.

En numerosos países, especialmente en los que se encuentran en vías de desarrollo, esto se realiza con un enfoque terapéutico (Chew, 1996).

No obstante, Chew menciona que el enfoque debería ser preventivo, dirigido particularmente para las poblaciones de mayor riesgo de sufrir deficiencias de hierro. El éxito de los programas de suplementación depende en gran medida de los sistemas de entrega de suplementos, la coordinación con todo el recurso humano, ONG's y de otras organizaciones. Del cumplimiento de la ingesta de los suplementos de parte de los beneficiados, de la motivación del personas de salud para aumentar la motivación de las madres a ingerir sus suplementos. Se ha demostrado que a pesar de llevar más de 40 años con programas de suplementación, la prevalencia de anémicas en el momento del parto es cerca de 40%, por lo tanto estos programas no han obtenido resultados positivos.

1.4.3 Fortificación de alimentos en Guatemala

Esta es de las estrategias de resultados de mediano plazo. En este caso el costo es bajo y no se requiere la cooperación de numerosos recursos humanos, más que la entidad encargada de la fortificación. Inclusive, no es necesaria la cooperación del individuo objetivo para la ingesta del nutriente en cuestión. Sin embargo, es de vital importancia la identificación del vehículo apropiado para que sea consumido por la mayor parte de la población, particularmente de los grupos de mayor vulnerabilidad.

El Congreso de la República de Guatemala, debido a su deber de velar por el bienestar de todos los habitantes del país, y considerando que la fortificación, enriquecimiento o equiparación de los alimentos es un medio eficaz de la lucha contra enfermedades por deficiencias nutricionales específicas, emitió la Ley General de Enriquecimiento de

Alimentos. Y posteriormente, reglamentos para la fortificación de tres alimentos básicos, consumidos por la mayoría de la población: 1) Azúcar, que se fortifica con vitamina “A”; 2) Harina de trigo, que se fortifica con hierro, tiamina, niacina, riboflavina y ácido fólico; 3) Sal, que se fortifica con yodo y flúor (Comisión Nacional para la Fortificación, Enriquecimiento y/o Equiparación de Alimentos, 2010).

Fortificación con hierro

Según la Organización Panamericana de la Salud (2002) las etapas para la fortificación de alimentos con hierro se dividen en tres:

- Selección del compuesto de hierro: Se deberá identificar el compuesto de hierro que tenga el mayor potencial de absorción y que, al ser agregado al nivel apropiado, no produzca ningún cambio sensorial inadmisible en el alimento fortificado o el producto final cocinado.
- Optimización de la absorción de hierro para satisfacer las necesidades nutricionales: Se realiza mediante la adición de promotores de la absorción o la eliminación o disminución de los inhibidores, de ser posible.
- Medición del cambio en el nivel de hierro en la población destinataria: Mediante la determinación de la prevalencia y el cambio de la carencia de hierro y la anemia ferropénica.

En Guatemala, la regulación de la fortificación de harina de trigo está regulada por el reglamento RTCA 67.01.15:07. Reglamento que especifica que los niveles mínimos de micronutrientes para la fortificación de la harina de trigo son hierro con un mínimo de 55 mg/kg de harina, siendo la fuente de hierro a utilizar fumarato ferroso.

1.4.4 Fitomejoramiento

En un sentido amplio, es el arte y la ciencia de alterar o modificar la herencia de las plantas para obtener cultivares (variedades o híbridos) mejorados genéticamente, adaptados a condiciones específicas, de mayores rendimientos económicos y de mejor calidad que las variedades nativas o criollas. (Guzman, Dios, Duran, Montoya, Sol, Quiros y Zuñiga, 2014)

Guzman, *et. al* (2014) indican que en términos generales se puede decir que el fitomejoramiento busca producir nuevos cultivares con:

- Mayor capacidad de adaptación.
- Mayor producción por planta y/o unidad de superficie.
- Mayor calidad de los productos vegetales.
- Mayor resistencia o tolerancia a enfermedades e insectos (plagas).
- Modificación de caracteres agronómicos de importancias (altura de la planta, resistencia al volcamiento, menor altura de carga)
- Aumentar la velocidad de desarrollo
- Respuestas específicas al nivel tecnológico del productor rural que los utilizará.
- Respuestas positivas a los sistemas de cultivos asociados.

Biofortificación

Es un proceso mediante el cual, se busca mejorar el contenido de micronutrientes, especialmente en alimentos básicos. (Chojnacka *et. al*, 2011) utilizando las mejores prácticas de cultivo y biotecnología moderna.

Los cultivos biofortificados se pueden desarrollar a través de métodos de fitomejoramiento convencional y/o de la biotecnología moderna.

La biofortificación por fitomejoramiento convencional mejora una característica (nutricional o agronómica) deseable y ya existente en el cultivo convencional. Para ello, se hacen cruces entre variedades con cualidades de interés que permiten obtener variedades con las características deseables (Nestel, Bouis, Meenakshi y Pfeiffer, 2006).

La biofortificación tiene numerosas ventajas, saca provecho de la ingesta diaria regular de una gran cantidad de alimentos básicos por todos los miembros de la familia. (Nestel, *et. al*, 2006) Sin embargo, esta estrategia se enfoca principalmente a los hogares de bajos recursos, debido a que los alimentos básicos representan una porción fundamental en su dieta.

También mencionan que el desarrollo de la semilla mejorada es el costo más alto del proceso de biofortificación y el resto de costos recurrentes son bajos y el germoplasma pueden ser compartidos a nivel internacional. Por lo que el proceso de biofortificación es sustentable a lo largo del tiempo.

Bouis, Hotz, McClafferty, Meenakshi, Wolfgang y Pfeiffer, (2011) explican que para que una biofortificación sea exitosa se requiere que se satisfagan tres situaciones:

- La primera: el cultivo debe ser exitoso, con alto rendimiento y rentabilidad. Se ha demostrado que es posible obtener cultivos con alta densidad de micronutrientes sin que el rendimiento disminuya, además el incremento de los minerales favorece la capacidad de resistencia de las plantas a enfermedades y otros factores ambientales.
- La segunda: debe demostrar la eficacia del aporte de micronutrientes para las poblaciones con déficit de los mismos. Es decir, se deberá asegurar una adecuada biodisponibilidad del micronutriente.
- La tercera: los cultivos deben ser adoptados por los agricultores, así como por las poblaciones con déficit del micronutriente en cuestión.

El éxito de la adopción de los cultivos biofortificados depende de que su disponibilidad sea sustentable a lo largo del tiempo, ya sea en cadenas de mercado existentes o con nuevas oportunidades de mercado desarrollado. Es por ello que, instituciones como Harvest Plus se centran en facilitar la disseminación de las variedades biofortificadas, creando nuevas demandas para estas variedades a través del comercio innovador entre productores y consumidores. Es importante atraer y desarrollar la capacidad de los usuarios y difusores para adoptar la nueva tecnología y, al mismo tiempo transferir conocimientos y crear conciencia sobre la nueva tecnología entre los facilitadores. (Nestel *et. al*, 2006).

1.5 Factores extrínsecos (dietéticos) que afectan la biodisponibilidad del hierro

Factores extrínsecos al ser humano que afectan la biodisponibilidad del hierro son:

1.5.1 Inhibidores de absorción de hierro

Estas sustancias antinutritivas naturales provocan una pérdida de nutrientes esenciales o interfieren en su utilización y función metabólica. Y, aunque no constituyen un riesgo inmediato para la salud, no deben ser ignorados, especialmente en las dietas basadas principalmente en alimentos de origen vegetal (Febes, 1998)

Ácido fítico

Fitina, fitato y mio – inositol hexafosfato son términos comúnmente utilizados para referirse al ácido fítico, mio – inositol hexakisfosfato o IP6, los cuales en la actualidad, incluso considerando su capacidad antioxidante, son vistos como factores antinutricionales especialmente para consumidores de dietas predominantemente vegetarianas puesto que aunque el contenido en algunos minerales como el hierro sea semejante al de las dietas compuestas, la biodisponibilidad de estos minerales puede verse mermada. (Zhou, Slavin, Lutterodt, Whent, Eskin y Yu. 2013) Esto toma gran importancia en países en vías de desarrollo, específicamente para la población de escasos recursos ya que sus dietas están basadas principalmente en legumbres y cereales.

El contenido de ácido fítico es elevado en alimentos como las semillas de cereales, leguminosas y oleaginosas y en menor cantidad en los tubérculos y las hortalizas. Estas se hallan localizadas en el interior de los corpúsculos de proteínas de las células del cotiledón de las leguminosas y oleaginosas y en la cubierta de los granos de cereales (Zhou, *et. al*, 2013).

Se ha establecido que su efecto es significativo a partir de una concentración de entre 2 – 10 mg / comida. Una manera a través de la cual puede estimarse su efecto es a través de la relación molar ácido fítico:hierro. Para mejorar la biodisponibilidad de un alimento su proporción molar debería ser <1:1, sin embargo idealmente debería ser por lo menos <0,4:1 en dietas basadas en cereales y leguminosas que no contienen promotores de la

biodisponibilidad del hierro (ácido ascórbico, carne), por otro lado en dietas compuestas que poseen promotores de absorción de hierro la proporción molar podría llegar a ser de 6:1 sin generar efectos negativos sobre su biodisponibilidad (Hurrell y Egli, 2010)

Polifenoles (Taninos)

Se clasifican en taninos condensados (taninos flavan 3,4 – diol – derivados o proantocianinas) y taninos hidrolizables (galotaninos o elagitaninos). Los taninos son grupos heterogéneos de moléculas que tienen un tamaño de hasta 3.000 D y que se forman a partir de ácidos carbocíclicos, ácidos fenólicos y azúcares. Las estructuras exactas de las moléculas más grandes no se conocen (Haard y Chism, 2000).

Fibra insoluble

Son carbohidratos complejos que poseen grupos ácidos urónicos y fenólicos, o residuos sulfatos tales como pectinas, alginatos, celulosas y sobre todo hemicelulosas los que pueden unirse al magnesio, calcio, zinc y hierro. Estos además de interferir en la asimilación de los macronutrientes endógenos de los alimentos, debido al aumento de la fracción no digerible, también disminuyen la disponibilidad digestiva de minerales (Febes, 1998).

Calcio, oxalato

El ácido oxálico es un compuesto ácido fuerte que forma sales insolubles con metales divalentes como el calcio o el hierro por lo que interfiere directamente con la asimilación del mineral. El ácido oxálico, incluso, puede estar implicado en la formación de cálculos renales como consecuencia de la débil disociación de las sales de oxalato cálcico (Febes, 1998).

Con relación al calcio, este provoca un efecto negativo en la biodisponibilidad del hierro tanto orgánico como inorgánico y sus efectos se han comprobado a dosis de 75 – 300 mg (Hurrell y Egli, 2010). Se ha establecido que éste efecto lo presentan distintos tipos de sales de calcio como CaCO_3 , CaCl_2 , lactato de calcio, fosfato de calcio e incluso harina de hueso. No se ha comprobado el mecanismo por el que sucede, aunque si la necesidad de que se encuentre simultáneamente presente con el hierro en el lumen de la parte superior del intestino delgado

o cuando se consumen en ayunas, sin embargo se ha sugerido que es debido a que el calcio inicia una serie de reacciones liminales complejas que alteran el pH y por lo tanto la solubilidad del hierro además de provocar la formación de complejos de bajo peso molecular. (Lynch, 2000)

Proteína láctea, de huevo y cisteína

Se ha demostrado que la proteína animal proveniente de la leche y huevos provoca un efecto negativo sobre la bioutilización del hierro, en el caso de la leche se ha comprobado que tanto la albumina como la caseína están relacionadas. (Hurrell y I. Egli, 2010)

En el caso del huevo, específicamente en la yema se encuentra una proteína llamada fosvitina, la cual es una glicofosfoproteína con una excepcionalmente alta cantidad de ácido fosfórico enlazado a residuos de serina, razón por la cual actúa como un polielectrolito en solución acuosa. Es importante mencionar que el tipo de metal y el pH son variables que influirán en su capacidad de ligar cationes. En el huevo el hierro generalmente se encuentra como Fe (III) del cual, aproximadamente el 95% está enlazado a la fosvitina. El enlace es tan fuerte que la biodisponibilidad se ve gravemente mermada. (Belitz, Grosch y Schieberle, 2009) En otros contextos su uso es beneficioso dado que presenta sinergias con antioxidantes, además de ser considerado como una sustancia anticancerígena (Kumar, Sinha, Makkar y Becker, 2009).

1.5.2 Promotores de absorción de hierro

Vitamina C

El ácido ascórbico (vitamina C) es el activador más potente de la absorción de hierro no hemo, debido a la formación de un quelato soluble de hierro a pH ácido, que es estable al pH intestinal. Sin embargo, Bressani, Ruiz, Palomo y Gudiel (2005) citando a Denninson y Kirk indican que éste presenta una limitación debido a su inestabilidad frente al almacenamiento, especialmente en ambientes con alta temperatura y humedad.

Fitasas

Febes (1998) citando a Zhou y Erdeman (1995) comentan que la hidrólisis del ácido fítico en el tracto gastrointestinal humano se lleva a cabo por la acción de fitasas procedentes de la dieta, especialmente por el consumo de vegetales, fitasas de la flora intestinal y fitasas intestinales y mucosas. Siendo las fitasas de origen vegetal las de mayor importancia. Febes (1998) habla que Ruiz de Lope et al., demostraron que el contenido de ácido fítico se mantiene constante durante todo el proceso industrial de elaboración de galletas, ellos consideran que esto se debe a que no ocurre una fermentación como es el caso del proceso de elaboración de pan (Febes, 1998)

Vitamina A

Nutriente esencial para prevenir enfermedades oculares, favorecer el crecimiento adecuado del tejido óseo, diferenciación celular y para mantener la integridad del sistema inmunológico. También se ha sugerido que es un nutriente esencial para la eritropoyesis, incluso, se ha demostrado que su deficiencia provoca anemia (Layrisse, M., Garía – Casal, M., Solano, L., Baron, M., Arguello, F., Llovera, D., Ramirez, J., Leets, I. Y Tropper, E., 1997).

Su efecto, sobre la biodisponibilidad del hierro se debe a que al igual que el ácido fítico, forma complejos con el hierro inorgánico, es decir, previene la unión del hierro con los radicales hidroxilo presentes en la mayor parte de la molécula de ácido fítico (Layrisse, *Et. al.*, 1997).

Sin embargo, su capacidad de prevenir la formación del complejo hierro – ácido fítico se ve mermado en procesos de horneado, probablemente debido al efecto de las levaduras y altas temperaturas que oxidan o isomerizan a los carotenos, lo que reduce su concentración en el alimento (Layrisse, M. *Et. al.*, 1997).

1.6 Procesos tradicionales que favorecen la biodisponibilidad de micronutrientes

De acuerdo a Febes (1998) citando a Morris y Hill sugieren que la cocción disminuye el impacto potencial adverso de los inositol fosfatos sobre la utilización mineral cuando las legumbres están incluidas en la dieta.

Existen diferentes tipos de procesos que tradicionalmente se realizan a nivel artesanal que favorecen la biodisponibilidad de micronutrientes para las poblaciones que se alimentan principalmente de cereales y legumbres como el remojo, tratamiento térmico, fermentación, germinación o malteado. (Hotz y Gibson, 2007)

1.6.1 Remojo

El remojo en agua de harina de cereales y legumbres puede resultar en una difusión pasiva de sodio, potasio o Mg – ácido fítico, por lo que puede ser removido eliminando el agua, sin embargo el contenido de ácido fítico que será eliminado dependerá de la especie, pH, tiempo de remojo y condiciones de remojo, aunque también otros inhibidores de absorción de hierro también pueden solubilizarse en el agua, como los polifenoles y oxalatos (Hotz y Gibson, 2007).

1.6.2 Tratamiento térmico

Con el tratamiento térmico se destruyen ciertas sustancias consideradas inhibidores de absorción de micronutrientes, aunque también dependerá de la especie de la planta, la temperatura y el pH (Hotz y Gibson, 2007), aunque también dependerá de la presencia de proteínas y cationes asociados a la molécula de ácido fítico (Febes, 1998).

Oberleas citado por Febes (1998) explica que la presencia de fitasa activa durante la cocción tiene una importancia mayoritaria, dicha enzima tiene actividad máxima a pH 5,5 y 60°C, por lo que bajo las condiciones de cocción lo más probable es que se encuentre inactiva. Febes también cita a Chang quién postula que la enzima comienza a activarse a los 60°C y se inactiva a los 70°C.

Febes también explica que la cocción en olla, durante un tiempo inferior a 10 minutos, en judías deja prácticamente sin efecto el papel antinutricional del ácido fítico en estos alimentos.

1.6.3 Fermentación

La fermentación de cereales y leguminosas reduce de forma significativa el contenido de ácido fítico de las semillas debido a procesos de hidrólisis y a reacciones de las enzimas (fitasas) presentes tanto endógena como la que procede de la levadura añadida. (Febes, 1998; Hotz y Gibson, 2007)

La fermentación mejora la calidad y la digestibilidad de la proteína, además el contenido del complejo B. En el proceso se producen ácidos orgánicos de bajo peso molecular, entre ellos, ácido cítrico, málico y láctico, los cuales en contacto con el hierro y el zinc tienen forman ligandos solubles que no interactúan con los factores antinutricionales. De manera simultánea, estos ácidos reducen el pH del medio, lo que optimiza la actividad endógena de las fitasas presente en los cereales y leguminosas (Hotz y Gibson, 2007). Y favorece, por lo menos en el caso del hierro, la oxidación y formación del Fe (III) el cual es absorbido con mayor facilidad por el cuerpo humano.

Por otro lado, hace mención de la acción preservante que cumple, especialmente en poblaciones donde la refrigeración no es una opción, incluso reduce el tiempo necesario para obtener una cocción adecuada de los alimentos, sin mencionar los efectos favorables hacia el sabor, aroma y consistencia que el alimento adquiere. (Zhou, *et. al*, 2013)

1.6.4 Procesamiento mecánico

En los cereales el ácido fítico se encuentra principalmente en las cubiertas externas de la semilla, la separación mecánica elimina cantidades significativas, sin embargo en el caso de las leguminosas el ácido fítico se encuentra en el cotiledón y no es posible desligarlo de esta manera. (Febes, 1998; Hotz y Gibson, 2007); Por lo tanto, el proceso mecánico, normalmente molienda es beneficioso como tratamiento para cereales y no para legumbres.

1.6.5 Germinación

Constituye la primera etapa en la escala del desarrollo de la planta de frijol y sus efectos sobre el valor nutricional de las leguminosas y los cereales son positivos. Sin embargo estos dependerán de la humedad relativa, temperatura, edad de la semilla, especie, tiempo de germinación, entre otros (Zhou, *et. al*, 2013).

A grandes rasgos, durante la germinación se produce un incremento del sistema enzimático lo que consecuentemente genera una descomposición de las macromoléculas (proteínas, carbohidratos y lípidos) en sus formas más simples, las cuales son más fácilmente asimilables. Es bien conocido que vitaminas como la C, E y el complejo B son generadas durante esta etapa de crecimiento de la planta. Antinutrientes como oligosacáridos, almidones, lectinas, taninos y ácido fítico son reducidos. (Nout y Ngoddy, 1997)

Carbohidratos

Entre los carbohidratos relevantes presentes en las leguminosas, está la rafinosa y estaquiosa, estos son carbohidratos no digeribles, considerados como promotores de flatulencia debido a su degradación en el intestino. Durante la germinación su concentración se reduce, mientras que la fructosa aumenta. Aunque esto dependerá del tipo de leguminosa que se esté tratando. Mientras que una fracción de los carbohidratos digeribles es utilizada como fuente de energía (Zhou, *et. al*, 2013).

Lípidos

La concentración de lípidos en las leguminosas durante la germinación se reducen, debido a la generación de otras sustancias en la semilla, además que durante la germinación una fracción es utilizada para obtener energía (Zhou, *et. al*, 2013).

Proteínas

Se ha establecido que durante la germinación la concentración de proteínas incrementa, el autor lo atribuye a la reducción de los carbohidratos y lípidos debido a su uso como fuente de

energía, además que la generación de enzimas afecta la composición de proteína libre, de los aminoácidos no proteicos (Zhou, *et. al*, 2013).

Vitaminas y minerales

A pesar que se dan muchas variaciones en la composición de las leguminosas durante la germinación, el tema más discutido por investigadores es la concentración de vitamina C. Se ha encontrado un aumento en su concentración en frijoles de soya, guisantes y frijoles. Por otro lado, la concentración de riboflavina se incrementa durante la germinación en frijol de soya bajo ciertas circunstancias, así como en garbanzos. De la misma manera, aunque en menor medida el desarrollo de la tiamina en frijol de soya, frijol blanco y negro y en guandul, mientras que se ha reportado una reducción o no cambio en garbanzos y en guisantes (Zhou, *et. al*, 2013).

Información sobre efecto de la germinación sobre el contenido de minerales es variado, se ha observado un crecimiento de la concentración de calcio en el frijol de soya, frijol negro, blanco y en el guandul. En el caso del hierro se ha observado una reducción de su concentración en la semilla durante la germinación, sin embargo el incremento de la vitamina C lo hace más biodisponible (Zhou, *et. al*, 2013).

1.7 El frijol

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa más importante para la dieta del ser humano, es una especie altamente variable, tanto en el clima que crece, como en sus características físicas (tamaño, forma, color), madurez y adaptación,. Es un alimento que se cultiva prácticamente en todo el mundo, sin embargo América Latina es el mayor consumidor , principalmente debido a su relativo bajo costo. (A.L. Jones, 1999).

En el caso de Guatemala, la producción en el año 2015 se distribuyó de la siguiente forma: Petén (27%), Jutiapa (13%), Chiquimula (10%), Santa Rosa (7%), Jalapa (6%), Quiché (5%), Alta Verapaz (5%), Huehuetenango (4%), Guatemala (4%), Chimaltenango (4%) y los demás departamentos de la República suman el (15%) restante. Además generó en el año 2014 15 millones 944,359 empleos directos en el campo (Ministerio de Agricultura, Ganadería y

Alimentación (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, 2015). Además que proporcionan el 9,1, 7,6 y 5,4% de la energía de la dieta para la población pobre extrema, pobre y no pobre respectivamente. (Menchú y Méndez, 2011)

1.7.1 Estructura general de las leguminosas

A pesar de las variaciones en la composición de macronutriente entre las leguminosas, la estructura básica de la semilla es la misma. Las semillas maduras contienen tres componentes mayoritarios: la capa de la semilla (testa), el embrión y el endospermo. El endospermo provee la mayoría de los componentes nutricionales necesarios para el desarrollo de la semilla, con la excepción de la fibra y el calcio (Zhou *et. al*, 2013).

1.7.1.1 Proteína de las leguminosas

La mayor parte de la proteína de una leguminosa se encuentra localizada en el cotiledón y embryonic axis. Estas proteínas pueden ser clasificadas en base a solubilidad, según Oomah, Patras, Rawson, Singh y Vega (2011) en:

- Albuminas: Solubles en agua.
- Globulinas: Solubles en solución salina diluida.
- Prolaminas: Solubles en solución de etanol al 70%.
- Glutelinas: Solubles en solución alcalina diluida.
- Residuo: Proteína remanente.

Y según su función en: estructural o de almacenamiento.

- Proteínas estructurales o metabólicas

Este grupo está compuesto por proteínas enzimáticas y no enzimáticas, de inhibidores de proteasas, lectinas, lipooxigenasas, y inhibidores de amilasas. Juntos representan un pequeño porcentaje del el total de proteínas en la semilla, se encuentran en el 34omúnment, y son responsables del metabolismo celular. Son albuminas, solubles en agua, tienen la capacidad

de influenciar el sabor y digestibilidad de la leguminosa luego de la cosecha (Oomah, *et. al*, 2011).

- Proteínas de almacenamiento

Constituyen la mayor parte de las proteínas de la semilla, pertenecen a la clase de globulares debido a su forma, así como por su especial necesidad por fuerzas iónicas para su solubilización en un medio acuoso (Oomah, *et. al*, 2011). La solubilidad de estas proteínas es bajo a pH de entre 4 – 6 sin embargo, se da un incremento significativo cuando el pH modifica hacia mayor acidez o mayor alcalinidad, esto debido al punto isoeléctrico de la proteína. Proveen el carbón y el nitrógeno necesario para el crecimiento de la semilla durante la germinación. (Oomah, *et. al*, 2011).

La calidad de la proteína está definida a partir de la composición de aminoácidos, su digestibilidad y su biodisponibilidad. Es bien conocido que la proteína de las leguminosas son deficientes en aminoácidos sulfurados como la metionina, además que son buena fuente de lisina. El segundo limitante de la calidad de la proteína es el triptófano. Los coeficientes de digestibilidad de la proteína de las leguminosas varía marcadamente entre 51 y 92% y está altamente influenciado por factores antinutricionales. (Oomah, *et. al*, 2011)

- Carbohidratos de las leguminosas

Las leguminosas contienen, generalmente, entre 60 – 65% de carbohidratos. Están compuestos por monosacáridos, disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos. El principal carbohidrato de almacenamiento es el almidón, el principal grupo de oligosacáridos es α – galactosidos, en el que la galactosa está presente (Oomah, *et. al*, 2011). El total de carbohidratos de las leguminosas consiste en fracciones solubles e insolubles.

- Carbohidratos insolubles

- Almidón, es el carbohidrato principal, desde el punto de vista químico, es una mezcla de dos polisacáridos, amilosa, es decir, el producto de condensación de D – glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos $\alpha(1,4)$, que establece largas cadenas

lineales con 200 – 2500 unidades. Por su parte, la amilopectina se diferencia de la amilosa en que contiene ramificaciones que están unidas por enlaces $\alpha(1,6)$. Tanto la amilosa como la amilopectina influyen de manera determinante en las propiedades sensoriales y reológicas de los alimentos, principalmente mediante su capacidad de hidratación y gelatinización. Para el vegetal el almidón, tiene la función de actuar como reserva energética (Badui, 2006). Cuando las moléculas de almidón son calentadas en exceso de agua, la estructura cristalina se rompe y las moléculas de agua se unen por enlaces de hidrógeno a los grupos hidroxilo expuestos de amilosa. El tamaño de los almidones de las leguminosas se encuentra entre 0,4 – 103 microgramos, su forma puede ser ovalada, esférica, redonda, elíptica, en forma de disco o con forma irregular. (Singh, 2011)

- Fibra dietética, es un grupo amplio de polisacáridos estructurales, que no son aprovechados metabólicamente por organismos monogástricos. Está constituida por los componentes estructurales de las paredes celulares de los vegetales. (Badui, 2006)
- La fibra dietética de las leguminosas puede contener cantidades significativas de celulosa, hemicelulosa y ligninas, además de pequeñas cantidades de pectina, arabinogalactanos y xiloglucanos. (Oomah, et. al, 2011).
- Carbohidratos solubles

Las leguminosas contienen especialmente monosacáridos, disacáridos y oligosacáridos entre los que se incluye a la glucosa, rafinosa, estaquiosa, verbascosa y ajugosa. La rafinosa ha sido asociada con flatulencias y dolor abdominal. Éste oligosacárido tiende a absorber fluido dentro del lumen por osmosis. (Oomah, et. al, 2011).

- Lípidos de las leguminosas

Las semillas almacenan lípidos en orgánulos que están localizados en el cotiledón y contienen principalmente triglicéridos. (Oomah, et. al, 2011).

- Inhibidores enzimáticos

Entre estos se encuentran parte de las proteínas estructurales que tienen la capacidad de actuar como proteasas, lipasas o amilasas.

Los inhibidores de proteasas son los más estudiados, los cuales se encuentran en gran medida en alimentos de origen vegetal, especialmente en la semillas, en el caso del frijol común los inhibidores enzimáticos actúan directamente sobre la tripsina, quimotripsina, elastasa y plasmina. Utricionalmente causan un retraso en el crecimiento, sin embargo su inactivación requiere tratamiento térmico drástico, por lo que su inactivación total provocará degradación de nutrientes. (Valle, 2000)

1.8 Ciclo de desarrollo del frijol

El ciclo de desarrollo del frijol es clasificado en fase vegetativa y reproductiva (Fernández, Gepts y López, 1986).

La fase vegetativa está conformada por las etapas de: germinación, emergencia, hojas primarias, primera hoja trifoliada y tercera hoja trifoliada, mientras que la fase reproductiva está conformada por las etapas de: prefloración, floración, formación de vainas, llenado de vainas y maduración. Fernández *et. al*, (1986) como investigadores del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) establecen que es más preciso indicar la etapa de desarrollo de la planta en lugar de indicar el tradicional “*días después de la siembra*” (dds) ya que el desarrollo se verá influenciado por el genotipo de la planta, el suelo, el clima y el hábito de crecimiento.

Entre las etapas anteriormente mencionadas cabe destacar la primer fase, la germinación.

Se considera que se inicia esta fase cuando la semilla absorbe agua y se hincha. Una vez posee el agua suficiente para germinar emerge de ella, en primer lugar, la radícula, ésta se alarga para convertirse en raíz primaria; sobre ella, aparecen raíces secundarias y terciarias. Posteriormente se alarga el hipocótilo, para luego continuar con la segunda fase, de emergencia. (Fernández *et. al*, 1986)

1.9 Pan

“El pan común es el producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida al mezclar harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada por especies de microorganismos propias de la fermentación panaria, como *Saccharomyces cerevisiae*.” (García y Guerra, s.f.)

1.9.1 Proceso de elaboración

La elaboración clásica del pan se distinguen tres fases básicas: Mezclado, fermentación y horneado, sin embargo, también se deberán considerar fases como amasado, división, boleado, reposo, formado, fermentación y cocción. (García y Guerra, s.f.)

Según explica García *et. al* (s.f.) las fases de elaboración del pan tienen un objetivo determinado:

Amasado

Se realiza para distribuir homogéneamente los ingredientes, aditivos y coadyuvantes tecnológicos, facilitar la absorción de agua, introducir aire a la masa, como fuente de evolución del gas carbónico y desarrollar el gluten, siendo este una red tridimensional formada por las proteínas insolubles del trigo unidas por puentes disulfuro, que impide la salida del gas carbónico producido por las levaduras. Esta es una característica que únicamente posee el trigo.

La incorporación de los ingredientes a la masa se puede hacer por el método directo, el cual es la adición conjunta de los ingredientes antes de adicionar el agua, o por el método esponja, en el cual se adiciona la grasa y la sal en el segundo mezclado para no impedir o retardar el desarrollo de las levaduras que se incorporan en el primer mezclado.

- División

Permite obtener piezas del tamaño deseado y puede ser manual o mecánico.

- Boleado

Extrae el aire, se recompone el gluten y se forma una superficie lisa y seca.

- Formado

Etapas de reposo que favorece el desarrollo del volumen, sabor, aroma y conservación.

- Fermentación

Durante esta fase las enzimas de las levaduras desdoblan los monosacáridos con producción principalmente de dióxido de carbono y alcohol etílico, y en menor proporción de ácidos acético, butírico y láctico, ésteres y alcoholes.

Para que se produzca la fermentación es necesario que exista un nivel de azúcares mínimo y una actividad enzimática adecuada para que pueda iniciarse y proseguir la actuación de las levaduras.

- Cocción

Se realiza a temperaturas entre 180°C y 250°C. Las principales transformaciones que sufre la masa durante la cocción son la producción de más dióxido de carbono y la expansión del mismo, evaporación de agua y alcohol, gelificación del almidón y coagulación del gluten y formación de color y aroma debido a reacciones de caramelización y de maillard.

El pan es un producto que pierde aceptación a medida que transcurre el tiempo desde su elaboración. Se distinguen dos tipos de alteración: “Correosidad de corteza”, el cual se debe a la acumulación de agua en la corteza del producto y se produce por un inadecuado enfriamiento del pan o por exposición del pan a ambientes muy húmedos y “endurecimiento

de la miga”, el cual se produce después de elaborado el pan ocasionado por la retrogradación del almidón. (García *et. al*, s.f)

La retrogradación del almidón es un fenómeno que se define como la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan de forma paralela y reaccionan entre sí por puentes de hidrógeno a través de sus múltiples hidroxilos; esto se puede efectuar por diversas rutas, según la concentración y de la temperatura del sistema. Y se relaciona de manera directa con el envejecimiento del pan. Durante el cocimiento del pan, parte de su amilosa se difunde fuera del gránulo y retrograda en el momento de su enfriamiento, de manera que los restos de gránulos se ven rodeados por moléculas del polímero lineal; se considera que el envejecimiento se debe básicamente a la asociación de las cadenas de amilopectina que permanecen en el gránulo hinchado después de haber perdido parte de la amilosa. En el pan fresco, el polímero ramificado tiene todas sus ramas completamente extendidas, mientras que en el pan duro están retrogradadas, unidas entre sí y sin el agua original. (Valdés, 2006)

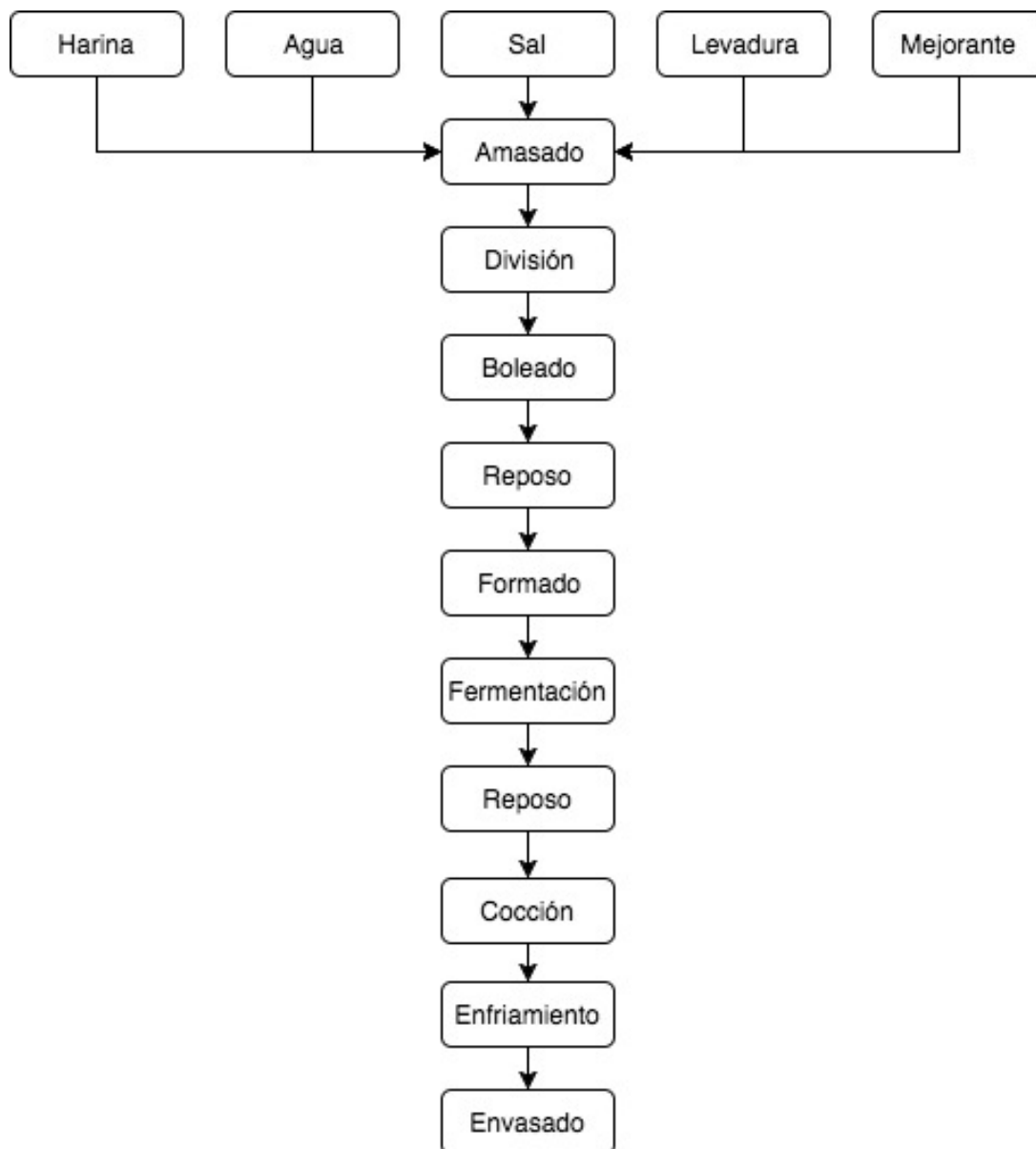


Figura No. 1 Diagrama etapas del proceso de panificación.

Fuente: García y Guerra, (s.f.)

1.9.2 Ingredientes tradicionales en la composición de un pan

1.9.2.1 El trigo

Es el conjunto de cereales tanto cultivados como silvestres, que pertenecen al género *Triticum*. Tanto la planta como la semillas comestibles son llamadas trigo. Es uno producto ampliamente consumido por el hombre en la civilización occidental. El grano de trigo es utilizado para hacer harina, harina integral, sémola, cerveza y una gran variedad de productos alimenticios.

La producción en Guatemala fue de treinta y seis mil cuatrocientos quintales, siendo un valor realmente bajo en comparación del resto de granos básicos como el frijol (5,316,500 quintales) o maíz (40,891,150 quintales). En el 2015 la producción nacional se encontró distribuida en San Marcos (27%), Quetzaltenango (21%), Huehuetenango (19%), Quiché (14%) y otros que en total suman el 19% restante.

Estructura general de los cereales

La semillas de los cereales están compuestas por tres componentes principales, germen, endospermo y aleurona. Su composición depende en gran medida de la variedad, las condiciones de crecimiento, infecciones y las prácticas agrícolas siendo importante resaltar la importancia de aplicar fertilizantes con nitrógeno y azufre a los cultivos (Cauvain y Young, 2006) .

Un componente a resaltar es su proteína, se clasifican en prolaminas (gliadinas), glutelinas (gluteninas), albuminas y globulinas siendo las dos primeras las más investigadas debido a su capacidad de formar el gluten, esencial en panadería aunque las segundas de hecho contribuyen a las características geológicas de la masa. Las gluteninas son principalmente responsables de las propiedades elásticas del gluten una vez es formado. (Cauvain y Young, 2006)

- Grasas

Los aceites y grasas se producen en abundancia en la naturaleza y se han añadido en productos horneados para modificar la sensación en la boca. (Cauvain y Young, 2006)

Las grasas son ésteres de ácidos grasos y glicerol, que comúnmente forman triglicéridos en los que tres ácidos grasos se unen a la molécula de glicerol. Las cuales pueden existir en diferentes formas polimórficas. Al enfriarse, las moléculas pueden agruparse en diferentes disposiciones cristalinas, alfa, beta prime y beta. El tamaño de los cristales varía con la forma, la forma alfa tiene el tamaño de los cristales más pequeño (típicamente $<2\mu\text{m}$) y la forma beta el más grande (5 – 30 μm). La mayoría de las grasas comprenden una mezcla de las tres formas aunque la naturaleza del proceso de solidificación puede favorecer una forma más que

las otras dos. La forma particular se crea durante la solidificación. En el contexto de los productos horneados, la diferencia en la forma de los cristales de grasa puede mostrarse como variaciones en el potencial de la grasa para incorporar aire, además de afectar la capacidad de la masa para retener gas, con tamaños de cristales más pequeños se logra más retención de gas, dicha capacidad de retener gas alcanza un punto máximo (Cauvain y Young, 2006).

- Margarinas

Es una de las grasas más comúnmente utilizadas, de las cuales su contenido generalmente está regulado para ser similar al de la mantequilla. Las margarinas además de sólidos lácteos, agua y sal pueden contener aditivos emulsionantes para ayudar la dispersión y estabilidad de la fase acuosa (Cauvain y Young, 2006).

- Sal

Es utilizada para varios propósitos en la manufactura de productos horneados. El principal uso que se le da es para mejorar el sabor del producto. También es importante su función debida a su naturaleza iónica, con la cual regula la actividad de agua del producto, lo que repercute en el tiempo de vida útil. En productos fermentados la sal también limita la actividad de la levadura sobre la masa incluso tiene un pequeño efecto sobre la formación del gluten. (Cauvain y Young, 2006)

- Levadura

La levadura de panadería, *Saccharomyces cerevisiae*, actúa sobre azúcares simples y se utiliza para producir dióxido de carbono en la fabricación de pan. El dióxido de carbono es una parte importante de la expansión de productos horneados y contribuye significativamente en los cambios en la textura y la calidad del pan. Cuanto mayor sea el nivel de levadura presente en la receta, más rápida será la velocidad a la que se producirá dióxido de carbono. La temperatura de mayor velocidad de producción de dióxido de carbono se da entre los 40 – 43°C y cae hasta que la levadura se inactiva a 55°C. (Cauvain y Young, 2006)

- Ácido ascórbico

Su principal uso es como agente oxidante en la producción de pan y productos fermentados. En el sentido estrictamente químico, es un agente reductor y a veces se describe como antioxidante, sin embargo, en el proceso de panificación, la disponibilidad de oxígeno permite su conversión en ácido deshidroascórbico, que actúa entonces como un agente oxidante y desempeña un papel esencial en el desarrollo del gluten. A medida que aumenta el nivel de ácido ascórbico, aumenta el volumen del pan y aumenta la estructura celular del producto. En algún momento, los niveles crecientes de ácido ascórbico ya no producen aumentos en el volumen del pan. Esto se debe a que su eficacia como antioxidante está limitada por el nivel de oxígeno disponible para la conversión en ácido deshidroascórbico. Dentro de la masa la competencia por el oxígeno es significativa, especialmente de la levadura. Típicamente se adicionan 100 – 200 ppm por peso de harina. (Cauvain y Young, 2006)

- Enzimas

Son comúnmente utilizadas para modificar la reología de la masa, capacidad de retención de gas, suavidad de la miga. Incluso para la reducción de la formación de acrilamida. (Cauvain y Young, 2006)

Alfa amilasas, son un grupo de enzimas importantes que actúan sobre almidón dañado. Son utilizadas para mejorar las propiedades de retención de gas de la masa fermentada, lo que induce a mejoras en el volumen y suavidad del producto. (Cauvain y Young, 2006)

II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La dieta del guatemalteco que vive en pobreza y pobreza extrema se basa principalmente en productos de origen vegetal como tomate, tortillas de maíz y frijol (Menchú y Méndez, 2011). Con este tipo de dietas la calidad de los nutrientes es inferior a una en la que se consumen alimentos de origen animal, especialmente con minerales y proteína. Ya que la calidad de una proteína está determinada por el balance de aminoácidos esenciales que dicha proteína contiene y que son absorbidos, debido a ello la proteína vegetal normalmente presenta deficiencia de aminoácidos esenciales, convirtiéndola en proteína de baja calidad (Bressani y Elías, 1984)

Con relación al hierro, la prevalencia de su deficiencia es un problema difícil de resolver, debido a la baja absorción de este nutriente en las dietas basadas predominantemente en cereales y vegetales (Guamuch, s.f.). Tal y como ocurre en Guatemala, puesto a que en el Análisis de la situación alimentaria en Guatemala (2011) se muestra que las poblaciones en no pobreza, pobreza y pobreza extrema satisfacen sus requerimientos de hierro en un 134, 105 y 79% respectivamente. Sin embargo, la prevalencia de la deficiencia de hierro en la población continua siendo un problema significativo. Esto puede deberse a una ineficiente absorción de hierro. Incluso considerando la fortificación de la harina de trigo con 55 ppm de hierro ferroso (RTCA 67.01.15:07 Harinas. Harina de trigo fortificada. Especificaciones)

El frijol es uno de los alimentos más completos que se encuentran al alcance de la población, especialmente al compararlo con los granos como el trigo, la avena y el maíz. Una de las principales fuentes de hierro para la población es el frijol, aun así, este por ser un tipo de hierro inorgánico y por la elevada presencia de inhibidores de absorción de hierro su biodisponibilidad puede, incluso, llegar a ser tan solo del 2% (Badui, 2006).

Anteriormente se ha sugerido que la concentración de inhibidores de absorción de hierro, específicamente en ácido fítico y polifenoles, está estrechamente relacionado con la concentración del hierro (Petry *et. al*, 2012), lo cual incrementa la importancia de evaluar dichos factores en la variedad biofortificada con 94ppm de hierro, ICTA Chortí^{SMN}

No obstante, en la literatura se hace mención de métodos que reducen dichos inhibidores de absorción de hierro, sin embargo los resultados han sido variables por lo que la evaluación en el frijol ICTA Chortí^{SMN} es importante.

Una de las tecnologías que implican el uso de varios de estos métodos es la panificación, además que su consumo ha ido incentivando gracias a centros de enseñanza como el Instituto Técnico de Capacitación y Productividad (Gobierno de Guatemala, 2009).

Por lo cual es posible plantearse si ¿Realmente un pan tipo francés con sustitución parcial de harina de frijol proporcionará mayor concentración de nutrientes que uno tradicional?; Y si ¿Este será, lo suficientemente aceptado en cuanto a características sensoriales?.

2.1 Objetivos

Objetivo general

- Evaluar las características físicas y nutricionales de un pan con incorporación de harina de frijol variedad ICTA Chorti^{SMN}.

Objetivos específicos

1. Determinar características físicas de los distintos panes formulados
2. Determinar características químicas de los distintos panes formulados
3. Establecer el efecto del tratamiento sobre el contenido de hierro y la relación molar ácido fítico:hierro
4. Determinar la aceptación sensorial de los panes desarrollados
5. Determinar el costo de materia prima de cada uno de los tratamientos

2.2 Hipótesis

Ho: la incorporación de harina de frijol ICTA Chorti^{SMN} mejora las características nutricionales del pan.

H1: la incorporación de harina de frijol ICTA Chorti^{SMN} no mejora las características nutricionales del pan.

Ho: los tratamientos elaborados serán aceptados sensorialmente.

H1: los tratamientos elaborados no serán aceptados sensorialmente.

2.3 Variables

Variables dependientes

- Composición nutricional: cenizas, proteínas, extracto libre de nitrógeno, extracto etéreo.
- Contenido de hierro
- Contenido de ácido fítico
- Características sensoriales: color, sabor, textura, olor, aceptación general
- Capacidad de absorción de agua
- Rendimiento
- Volumen final

Variables independientes

- Formulación
- Humedad de las harinas al realizar análisis de hierro y ácido fítico

2.4 Definición de variables

Tabla 3

Definición conceptual de variables

| Tipo de variable | Variable | Definición conceptual |
|-------------------------|------------------------------------|--|
| Dependiente | Contenido general de los alimentos | Contenido cuantitativo nutricional de los alimentos (García y Guerra, s.f.). |
| | Hierro total en el alimento | Contenido de hierro en el alimento (Martínez, <i>et. al</i> , 1999). |
| | Hierro disponible | Proporción de hierro en el alimento que puede ser utilizado por el organismo (Martínez, <i>et. al</i> , 1999). |
| | Características sensoriales | Conjunto de estímulos que interactúan con los receptores del analizador (Espinosa, 2007). |
| | Características físicas | Estados físico, forma (García y Guerra, s.f.). |
| Independiente | Formulación | Proporción o composición de cada ingrediente en el alimento (Greenfield, Southgate, 2003). |

Tabla 4

Definición operacional e indicadores de variables

| Tipo de variable | Variable | Definición operacional | Indicadores |
|-------------------------|-----------------------------------|--|--|
| Dependiente | Análisis general de los alimentos | Contenido de proteína cruda, extracto libre de nitrógeno, extracto etéreo, cenizas en el alimento. | Porcentaje de proteína cruda, extracto libre de nitrógeno, extracto etéreo, cenizas en cada uno de los tratamientos. |
| | Hierro total en el alimento | Porcentaje de hierro presente en el alimento. | Porcentaje de hierro presente en cada uno de los tratamientos. |
| | Hierro disponible | Cantidad de hierro que se encuentra formando un complejo con el ácido fítico. | Relación molar Ácido fítico – Hierro Relación molar: |
| | Características sensoriales | Valoración que los panelistas le otorgan a un alimento al evaluarlo sensorialmente. | Valoración, en una escala de 5 puntos, que se le da al alimento en cuanto a su sabor, color, olor, textura y aceptación general. |

| Tipo de variable | Variable | Definición operacional | Indicadores |
|-------------------------|-------------------------|--|--|
| | Características físicas | Capacidad de absorción de agua (CAA), volumen y rendimiento del pan. | CAA, color, volumen y rendimiento de un muestra de 100g de harina de cada tratamiento. |
| Independiente | Formulación | Proporción de los ingredientes utilizados para cada tratamiento. | No aplica |

2.5 Alcances y límites

Alcances

Este trabajo buscó demostrar el beneficio de incorporar harina de frijol, específicamente el frijol ICTA Chorti^{SMN} biofortificado con hierro, en un pan tipo “francés” para proporcionar a la población guatemalteca una opción más interesante nutricionalmente, especialmente en cuanto al contenido de hierro.

Los factores de los que dependió el éxito de pan tipo “francés” son sus características físicas, nutricionales y sensoriales, en este caso evaluadas a través de una análisis proximal, su contenido de hierro y ácido fítico, características físicas, como lo son la capacidad de absorción de agua, el volumen y el rendimiento del pan así como el nivel de aceptación sensorial del pan, es decir su sabor, color, olor, textura y aceptación general y finalmente el costo de la materia prima.

Límites

Las limitaciones que se presentan en el presente trabajo son:

- No se cuenta con equipo especializado (farinógrafo o alveógrafo) para evaluar ciertas características reológicas de las distintas masas tales como tiempo de desarrollo de la masa, estabilidad de la masa, grado de suavidad, tolerancia del mezclado, tenacidad, extensibilidad. Sin embargo, si se evaluaron otras variables respuesta comúnmente utilizadas en la evaluación de productos de panificación (Traynham, Myers, Carriquiry

y Johnson, 2006; Kaur y Singh, 2007; Wani, I., Singh, D., Sharma, P. y Singh, B., 2016; Borsuk, Y., Arntfield, S., Lukow, O., Sallow, K. y Malcolmson, L., 2012).

- La inaccesibilidad de la medición de la biodisponibilidad, tanto in vivo como in vitro del hierro, es por ello que se buscará establecer una relación molar ácido fítico – hierro para evaluar cuando hierro está disponible para ser metabolizado de acuerdo a la relación molar indicada por Hurrell.
- Durante la evaluación sensorial se cuenta únicamente con un número de panelistas limitados, 50 estudiantes, y debido a la alta cantidad de muestras no es posible que cada uno de los panelistas pruebe todas las muestras por lo que se utilizará un diseño de Bloques Incompletos Balanceados. Resultando en un número de repeticiones inferior al número de panelistas.
- El elevado costo de los análisis, la dificultad de adquirir cantidades mínimas de ciertos reactivos y el contenido de materia prima limitado impidieron el número de repeticiones de algunos análisis.
- El análisis del costo de materia prima se realizó en base volúmenes de producción a nivel laboratorio.

2.6 Aporte

El presente trabajo proporcionará conocimientos acerca de la incorporación de frijol negro, específicamente ICTA Chorti^{SMN}, en un producto de panificación. Haciendo énfasis en el tema nutricional, sensorial y físico y así proporcionar una alternativa, de un pan tipo “francés” más interesante nutricionalmente que uno tradicional, que podrá ser aprovechado por la población guatemalteca con, o sin, deficiencias de hierro.

A la Universidad Rafael Landívar le proporcionará información referente al desarrollo de productos.

III METODO

3.1 Sujetos

Panel evaluado: 50 estudiantes de entre 15 y 21 años de edad del Instituto Técnico Experimental Agroindustrial Juyu en Patzicía, Chimaltenango.

Personas con experiencia en el área:






- Ing. Erick Ricardo Aguilar Castillo: Graduado en Ingeniería en Agroindustria Alimentaria en la Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Postgrado en Investigación Agrícola en la Universidad de San Carlos de Guatemala. Investigador asociado en disciplina en tecnología de alimentos en el Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas.
- Inga. Virginia Piril: Graduada en Ingeniería Agrónoma en la Universidad Rafael Landívar. Investigador asociado a Suelos y Agua, actualmente encargada de laboratorio de suelos.

3.2 Unidades de análisis

- Reporte de resultados de análisis proximal de los tratamientos (ver anexo).
- Reporte de resultados de contenido de hierro de los tratamientos (ver anexo).
- Reporte del contenido de ácido fítico de los tratamientos (ver anexo).
- Resultados de análisis sensorial
- Resultados de costos de materia prima.
- Resultados de características físicas del pan.

3.3 Instrumentos

Tabla 5 Instrumentos

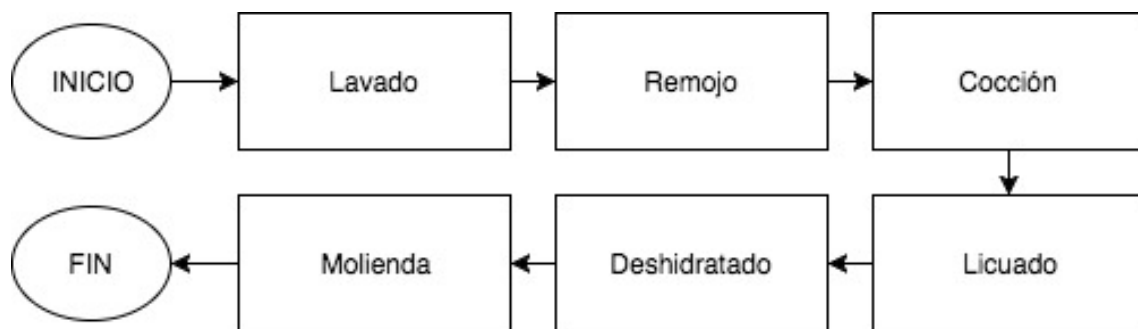
| Proceso | Equipo | Imagen |
|---------------------------------|---|--|
| | Olla de acero inoxidable |  |
| Harina de frijol | Horno de resistencia, utilizado como deshidratador. |  |
| | Molino de martillos DPM2 |  |
| Evaluación sensorial | Fichas de evaluación sensorial | Ver anexo 4 |
| | Balanza analítica marca OHAUS precisión advanced incertidumbre de 0,05 g. |  |
| Elaboración de pan tipo francés | Horno de convección forzada modelo 5BEip |  |

3.4 Procedimiento

- Harina de frijol cocido

Se utilizó frijol negro (*Phaseolus vulgaris*) variedad ICTA Chorti^{SMN} con madurez de cosecha, en buen estado y de una misma cosecha proveniente del Centro de Investigación del Altiplano Central experimental del ICTA ubicado en Chimaltenango, Guatemala. Fueron lavados y remojados en agua en proporción 2:1 agua:frijol, durante 12 horas. Se sometió a cocción a presión atmosférica durante 90 minutos, luego se licuaron. Posteriormente se sometieron a un proceso de deshidratado a una temperatura de 50°C por cuatro horas, y se molieron hasta obtener partículas finas.

Figura No. 2 Diagrama elaboración de harina de frijol

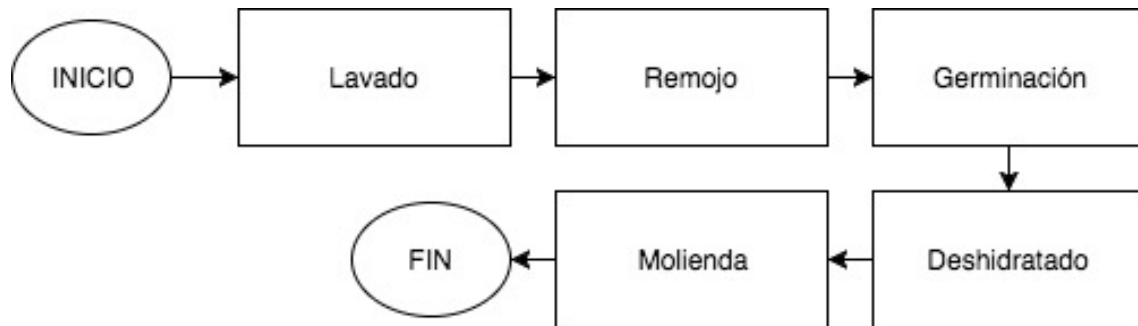


Elaboración propia (2007)

- Harina de frijol germinado

Los granos se remojaron por 12 horas en una proporción de 2:1 agua y frijol, trascurridas las 12 horas se eliminó el exceso de agua y se dejó en un recipiente obscuro por 96 horas a temperatura ambiente hasta observar que el 90% de los granos ya había pasado la fase de emergencia (aparición del hipocotíleo). Luego, los granos germinados fueron secados en un horno de convección forzada a una temperatura de 50 °C durante un tiempo de seis horas para luego ser molidos.

Figura No. 3 Diagrama elaboración harina de frijol germinado



Elaboración propia (2007)

- Tratamientos

Debido a la falta de gluten presente en el frijol, su uso es limitado como ingrediente añadido a la formulación de un producto de panificación, por lo que la elección de una concentración adecuada, con la que se obtenga un equilibrio entre los beneficios del frijol y una adecuada aceptación sensorial es importante, y dados los resultados obtenidos por Dhingra y Jood (2002) y Wani, Singh, Sharma y Singh (2016) quienes obtuvieron 10 y 15% en base húmeda, respectivamente, como concentraciones máximas utilizables de frijol sin afectar de manera significativa la aceptación sensorial del pan tipo francés.

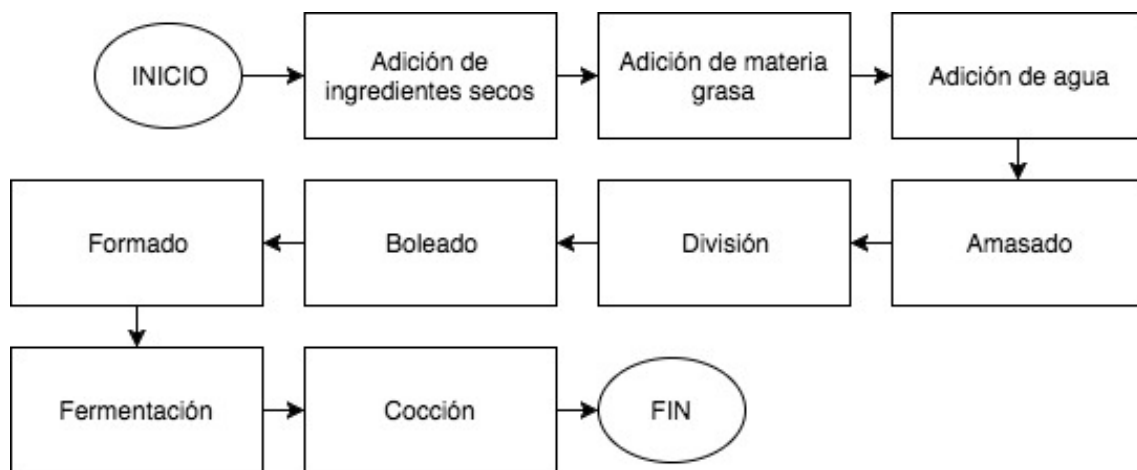
Los tratamientos fueron elaborados a partir de una formulación estándar en base seca (tratamiento testigo) donde se elaboraron cinco tipos de panes tipo francés (ver unidades de análisis), con 25% y 30% de harina de frijol germinado, con 25% y 30% harina de frijol cocido y un testigo (con harina de trigo), cada formulación se basó en una estándar en base seca con 85% de harina, El resto de ingredientes utilizados fueron, manteca vegetal, azúcar, levadura liofilizada comercial para pan (*Saccharomyces cerevisiae*) y sal. (Ver tabla 8 *Formulación estandarizada para la elaboración de cada tratamiento antes de añadir agua.*)

- Elaboración de pan tipo francés

Se realizaron pruebas para establecer la cantidad de agua necesaria para adicionar a 100g de harina de trigo dura, para obtener una masa no pegajosa y fácilmente manejable para elaborar los panes, procesos similares, para establecer la cantidad de agua para cada formulación, se han realizado anteriormente como lo realizó Wani, Singh, Sharma y Singh (2016)

Para la elaboración se inició colocando la harina o mezcla de harinas en un bowl, luego se adicionó levadura, azúcar, sal y manteca vegetal posteriormente se mezcló y añadió agua y se amasó hasta obtener una masa manejable, luego se realizó una división y boleado de las masas, a las cuales se les dio una etapa de reposo de 15 minutos a temperatura ambiente, formado, fermentación durante dos horas a temperatura ambiente, en un ambiente libre de corrientes de aire (dentro del horno) finalmente se realizó la cocción a 176,67 °C (350 °F) por 20 minutos, finalmente se dejó enfriar.

Figura No. 4 Diagrama elaboración general de los tratamientos



Elaboración propia (2017)

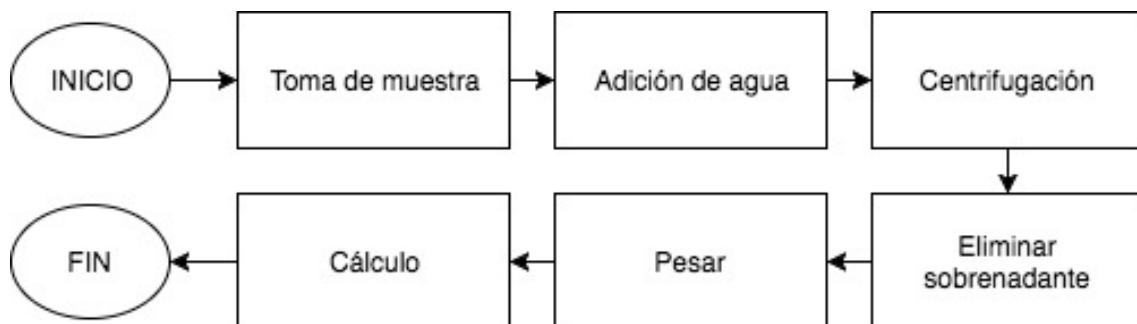
- Análisis sensorial

Se realizó una prueba de aceptación, se utilizó una escala hedónica de cinco puntos, adaptada para escolares (Se colocaron caritas para comprender más fácilmente la volta), Se utilizó una boleta para cada tratamiento. Y se realizó una aleatorización con una eficiencia de 83.82%

- Análisis capacidad de absorción de agua (CAA)

Se determinó la CAA de los tratamientos a partir del método propuesto por Quinn y Paton (1978) para lo cual se toma una muestra de 5g del material en un tubo de centrífuga de 50 ml previamente tarado, luego se le adiciona el agua necesaria hasta que toda la mezcla esté completamente mojada y se observe algo pastosa la masa. Luego se procede a centrifugar a 4000 rpm por 10 minutos. La pequeña parte de sobrenadante es descartada y el resto se pesa, considerándose la diferencia entre la masa inicial y la masa final como la cantidad de agua que la muestra puede absorber. Es importante mencionar que si luego de centrifugar no se observa sobrenadante se agrega más agua y se volver a centrifugar.

Figura No. 5 Diagrama análisis de capacidad de absorción de agua

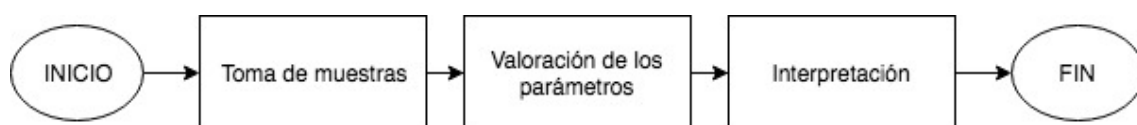


Elaboración propia (2017)

- Análisis de color

El color de la miga se determinó por medio de un medidor de color en la escala L^* , a^* y b^* . El parámetro L se utiliza para describir la luminosidad o blancura en una escala de 0 (negro) a 100 (blanco puro), el A para la medición del color rojo/verde y B para la medición de la intensidad del color amarillo/azul (Delahaye y Testa, 2005).

Figura No. 6 Diagrama análisis del color



Elaboración propia (2017)

- Volumen

Se determinó el volumen del pan tipo francés a través de la metodología explicada por Cauvain y Young (2006), en cual se utiliza una caja de volumen conocido y se llena con granos, generalmente canola o cebada, luego se retiran las semillas y se coloca el pan, finalmente se colocan nuevamente las semillas y se determina el volumen de todas las semillas desplazadas, y se considera que el volumen de esas semillas es equivalente al volumen del pan. Con una variación, el tipo de grano utilizado, ya que debido a la accesibilidad del grano de arroz y la dificultad de adquirir granos de canola o cebada, se utilizaron granos de arroz.

Figura No. 7 Diagrama análisis del volumen

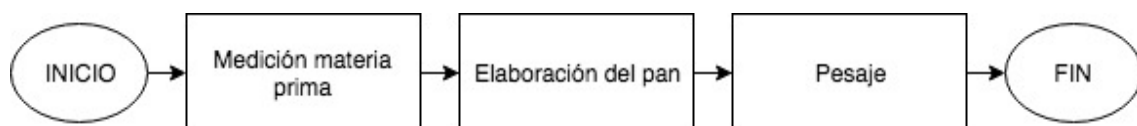


Elaboración propia (2017)

- Rendimiento

Se determinó el rendimiento del pan tipo francés a través de la medición de 100g de ingredientes secos, luego se le añadió a cada uno la cantidad de agua previamente especificada. Se realizó el “Proceso de elaboración”; para, luego del horneado y enfriado, medir la masa final del producto.

Figura No. 8 Diagrama análisis del rendimiento



Elaboración propia (2017)

IV DISEÑO Y METODOLOGÍA ESTADÍSTICA

- Diseño experimental

Es un estudio experimental

- Experimentos

Tabla 6

Experimentos

| Experimentos | Nombre | Análisis | Repeticiones | Variables respuesta |
|--------------|-----------------------------------|--|--|---|
| 1 | Análisis físico | Capacidad de absorción de agua Volumen específico Color Rendimiento | Triplicado Una repetición Triplicado Una repetición | Cantidad de agua que absorbe una muestra de 5g muestra analizada. Espacio ocupado por gramo de pan tipo francés Valores en una escala de 0-100 para los parámetros L*, A* y B*. Cociente entre peso del pan tipo francés y peso de las materias primas necesarias (sin agua) |
| 2 | Análisis químico | Determinación de la composición proximal. | Pruebas realizadas por cada 100g de muestra. | Cantidad de extracto etéreo, fibra cruda, proteína cruda, extracto libre de nitrógeno y cenizas |
| 3 | Análisis de hierro y ácido fítico | Contenido de hierro Contenido de ácido fítico | Una repetición Triplicado | Contenido de hierro para cada pan tipo francés (ppm). Contenido de ácido fítico por pan tipo francés (%). |
| 4 | Análisis sensorial | Prueba hedónica de 5 puntos, adaptada a escolares. | Un mínimo de 28 repeticiones. | Nivel de aceptación del color, olor, sabor textura y aceptación general. |
| 5 | Costos de materia prima | Determinación del costo de materia prima de cada tratamiento. | Prueba realizada por cada 100g. | Costo de materia prima por cada 100g de producto elaborado. |

Tabla 7

Descripción de las unidades experimentales

| Tratamientos | Descripción |
|--------------|--|
| Testigo | Formulación tradicional con 85% de harina de trigo en base seca. |
| C1 | Formulación con 65% de harina de trigo y 20% de harina de frijol ICTA Chortí ^{SMN} . |
| C2 | Formulación con 55% de harina de trigo y 30% de harina de frijol ICTA Chortí ^{SMN} . |
| G1 | Formulación con 65% de harina de trigo y 20% de harina de frijol ICTA Chortí ^{SMN} germinado. |
| G2 | Formulación con 55% de harina de trigo y 30% de harina de frijol ICTA Chortí ^{SMN} germinado. |

Tabla 8

Formulación tratamientos antes de añadir agua

| Ingredientes | Testigo | G1 | G2 | C1 | C2 |
|------------------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Harina de trigo | 85% | 65,0% | 55,0% | 65,0% | 55,0% |
| Harina de frijol | 0% | 20,0% | 30,0% | 20,0% | 30,0% |
| Grasa vegetal | 9% | 9,0% | 9,0% | 9,0% | 9,0% |
| Azúcar | 5% | 5,0% | 5,0% | 5,0% | 5,0% |
| Levadura | 0,7% | 0,7% | 0,7% | 0,7% | 0,7% |
| Sal | 0,3% | 0,3% | 0,3% | 0,3% | 0,3% |
| TOTAL | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |

Tabla 9

Formulaciones

| | Testigo | G1 | G2 | C1 | C2 |
|------------------|---------|--------|--------|--------|--------|
| Agua | 40,5% | 36,3% | 39,4% | 40,1% | 43,5% |
| Harina de trigo | 50,6% | 41,4% | 33,3% | 38,9% | 31,1% |
| Harina de frijol | 0,0% | 12,7% | 18,2% | 12,0% | 17,0% |
| Manteca | 5,4% | 5,7% | 5,5% | 5,4% | 5,1% |
| Azúcar | 3,0% | 3,2% | 3,0% | 3,0% | 2,8% |
| Levadura | 0,4% | 0,4% | 0,4% | 0,4% | 0,4% |
| Sal | 0,2% | 0,2% | 0,2% | 0,2% | 0,2% |
| TOTAL | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% | 100,0% |

Metodología de análisis

Evaluación sensorial: para la evaluación sensorial hedónica de cinco puntos se utilizó diseño de Bloques Incompletos Balanceados donde se utilizaron cinco tratamientos con tres tratamientos por bloque, con un mínimo de 28 repeticiones. Esto es, se evaluaron cinco tratamientos con 50 panelistas, para evitar la fatiga del panelista a cada uno se le entregó un total de tres muestras. Para asegurarse que las muestras fueran evaluadas de manera equivalente se realizó una aleatorización, con el programa Gendex, con una eficiencia del 82,83%.

Por heterocedasticidad, las respuestas de los panelistas se agruparon en conglomerados. El criterio de la conglomeración, la variabilidad en las respuestas de los panelistas, esto con el fin de asegurar un control más efectivo sobre las posibles fuentes de sesgo de los resultados en la evaluación sensorial.

Se empleó un análisis de modelos lineales y mixtos con un nivel de confianza del 95% (tomando como efecto fijo al tratamiento y como efecto aleatorio al panelista y componentes principales con el programa Infostat.

Para el análisis del color se realizó un Análisis de Varianza y Test de Tukey con un 95% de confianza, esto se realizó para cada una de las variables del color (L,A y B). El análisis del contenido de ácido fítico también se realizó con Análisis de varianza y Test de Tukey con un 95% de confianza. Además, se utilizó el contenido de humedad como covariable (variable independiente), se empleo de esta manera para eliminar la variabilidad que existe en el contenido de humedad.

V PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tabla 10

Características físicas harina

| Tratamiento | CAA (g agua absorbida/g harina) |
|------------------|---------------------------------|
| Trigo | 0,85 ± 0,01 |
| Frijol Germinado | 1,32 ± 0,03 |
| Frijol Cocido | 2,46 ± 0,10 |
| Media ± DE | |

Tabla 11

Rendimiento y volumen específico del pan tipo francés

| Tratamiento | Rendimiento (%) | Volumen (cm ³) |
|-------------|-----------------|----------------------------|
| Testigo | 69,8 | 200 |
| G 1 | 77,5 | 180 |
| G 2 | 83,1 | 170 |
| C 1 | 80,5 | 190 |
| C 2 | 81,4 | 175 |

Por cada 100g de harina

Tabla 12

Color de miga de pan

| Tratamiento | L (Blanco/Negro) | A (Rojo/Verde) | B (Amarillo/Azul) |
|-------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| Testigo | 90,54 ± 0,92 ^A | 0,67 ± 0,07 ^A | 10,92 ± 0,30 ^A |
| G 1 | 83,10 ± 0,92 ^B | 0,25 ± 0,07 ^B | 6,75 ± 0,30 ^B |
| G 2 | 83,71 ± 0,92 ^B | 0,22 ± 0,07 ^B | 6,99 ± 0,30 ^B |
| C 1 | 76,19 ± 0,92 ^C | 1,10 ± 0,07 ^C | 5,02 ± 0,30 ^C |
| C 2 | 67,92 ± 0,92 ^C | 1,17 ± 0,07 ^C | 3,51 ± 0,30 ^D |

Medias con una letra común en la misma fila no son significativamente diferentes (P > 0,05)

Tabla 13

Composición proximal harina de frijol

| H. de frijol | H (%) | E.E. (%)* | F.C. (%)* | P.C. (%)* | Ceniza (%)* | E.L.N. (%)* |
|--------------|-------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|
| Germinado | 6,86 | 1,21 | 5,47 | 27,90 | 5,52 | 59,9 |
| Cocido | 6,03 | 0,94 | 7,53 | 26,61 | 4,68 | 60,24 |

*Resultado en base seca

Tabla 14

Composición proximal pan tipo francés

| Tratamiento | H (%) | E.E. (%) | F.C. (%) | P.C. (%) | Ceniza (%) | E.L.N. (%) |
|-------------|-------|----------|----------|----------|------------|------------|
| G 1 | 33,94 | 9,32 | 0,64 | 17,37 | 1,82 | 70,85 |
| G 2 | 35,83 | 9,61 | 1,02 | 18,71 | 2,29 | 68,37 |
| C 1 | 39,99 | 9,63 | 0,87 | 16,28 | 1,99 | 71,23 |
| C 2 | 43,76 | 8,91 | 1,63 | 17,75 | 2,34 | 69,37 |

Tabla 15

Contenido de hierro y ácido fítico de harinas

| Muestra | Hierro (ppm)* | Á. Fítico (%) |
|--------------|---------------|---------------|
| F. Germinado | 80 | 0,1170 |
| F. Cocido | 135 | 0,0783 |
| Trigo | 65 | 0,0667 |

*Resultado en base seca

Tabla 16

Contenido de hierro y ácido fítico pan


























| Tratamiento | Humedad (%) | Hierro (ppm) | Á. Fítico (%)* | Á.fítico:Hierro |
|-------------|-------------|--------------|-----------------------------|-----------------|
| Testigo | 09 | 15 | 0,0543 ±0,0028 ^A | 3,05 |
| G 1 | 13 ±0,01 | 45 | 0,0620 ±0,0028 ^A | 1,17 |
| G2 | N/D | N/D | N/D | N/D |
| C 1 | 10 ±0,02 | 30 | 0,0620 ±0,0028 ^A | 1,75 |
| C2 | N/D | N/D | N/D | N/D |

*Medias con una letra común en la misma fila no son significativamente diferentes ($P > 0,05$) utilizando como covariable la humedad

N/D: No Disponible (no se realizó el análisis)

Tabla 17

Características sensoriales (Evaluación sensorial hedónica con 5 puntos)

| Tratamiento | Color | Olor | Sabor | Textura | A. general |
|-------------|--|--|---|--|--|
| Testigo | 4,40 ± 0,14 ^A | 4,07 ± 0,13 | 3,68 ± 0,17 ^A | 4,10 ± 0,12 | 3,99 ± 0,12 ^A |
| |  <u>Me encantó</u> |  <u>Me encantó</u> |  <u>Me gustó</u> |  <u>Me encantó</u> |  <u>Me gustó</u> |
| G 1 | 3,83 ± 0,14 ^B | 3,86 ± 0,14 | 3,27 ± 0,17 ^A | 3,92 ± 0,12 | 3,84 ± 0,12 ^A |
| |  <u>Me gustó</u> |  <u>Me gustó</u> |  <u>Me gustó</u> |  <u>Me gustó</u> |  <u>Me gustó</u> |
| G 2 | 3,76 ± 0,14 ^B | 3,85 ± 0,13 | 3,23 ± 0,17 ^A | 3,80 ± 0,13 | 3,64 ± 0,13 ^B |
| |  <u>Me gustó</u> |  <u>Me gustó</u> |  <u>Me gustó</u> |  <u>Me gustó</u> |  <u>Me gustó</u> |
| C 1 | 3,54 ± 0,14 ^B | 3,54 ± 0,14 | 2,72 ± 0,16 ^B | 3,72 ± 0,13 | 3,44 ± 0,13 ^B |
| |  <u>Me gustó</u> |  <u>Me gustó</u> |  <u>Indiferente</u> |  <u>Me gustó</u> |  <u>Me gustó</u> |
| C 2 | 3,87 ± 0,13 ^B | 3,89 ± 0,14 | 3,47 ± 0,18 ^A | 3,98 ± 0,13 | 3,86 ± 0,13 ^A |
| |  <u>Me gustó</u> |  <u>Me gustó</u> |  <u>Me gustó</u> |  <u>Me gustó</u> |  <u>Me gustó</u> |

* Medias con una letra común en la misma fila no son significativamente diferentes (P > 0,05)

Figura No. 9 Resultado componentes principales Análisis sensorial

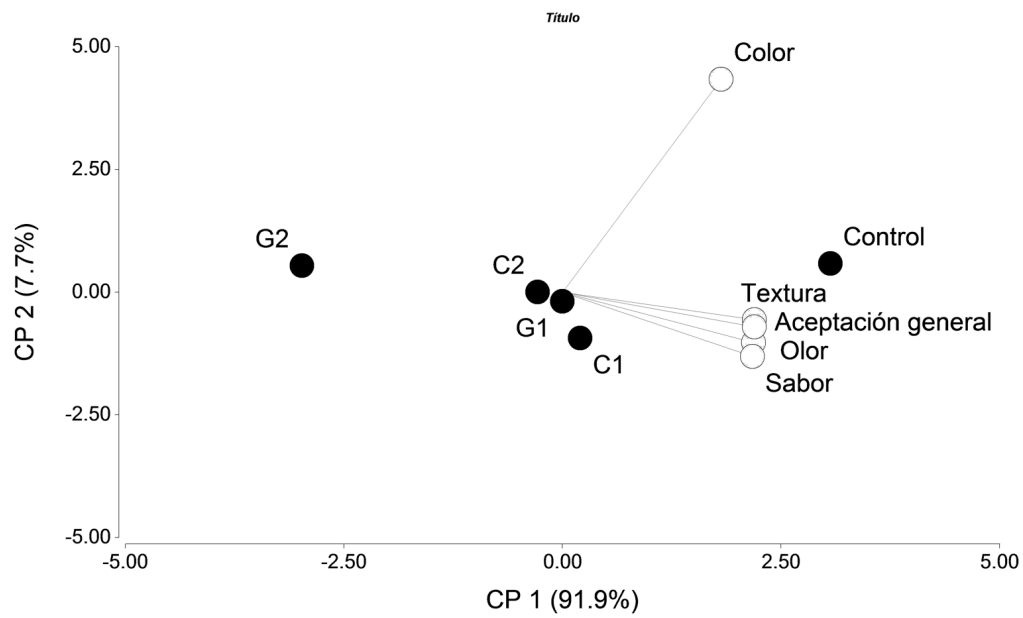


Tabla 18

Costo de Materia prima (Q) por pieza de 50g de tratamiento

| Nombre | Costo por pieza de 50g (Q) | Valor relativo respecto al testigo |
|---------|----------------------------|------------------------------------|
| Testigo | 0,387 | Valor de referencia |
| G1 | 0,393 | 1,66% |
| G2 | 0,370 | -4,33% |
| C1 | 0,373 | -4,40% |
| C2 | 0,349 | -9,71% |

VI DISCUSIÓN

Para la elección del producto a elaborar, se buscó realizar un producto relativamente fácil de elaborar, altamente consumido y que se adaptara a las necesidades del ICTA, se consideró elaborar diferentes tipos de alimentos comúnmente consumidos por guatemaltecos, sin embargo, ya que la base era elaborar un producto con alto contenido de hierro se evitó utilizar ingredientes que en su composición contienen sustancias consideradas factores antinutricionales, como sería el caso de el cacao (taninos), maíz (calcio) y otros con alto contenido de fibra; en el proceso de elaboración se buscaron procesos que favorecen la eliminación de factores antinutricionales, como la germinación, fermentación y horneado, es por ello que se decidió elaborar un producto de panificación (pan tipo francés).

Características físicas

Se modificó una formulación tradicional de pan tipo francés al incorporar harina de frijol de la variedad ICTA Chortí^{SMN} cocida y germinada en proporción 65:25 y 55:30, lo que generó cuatro tratamientos además del testigo (100% harina de trigo). Se evaluó el efecto de la incorporación de la harina sobre las características nutricionales del pan (Experimento 1), algunas características físicas como Capacidad de Absorción de Agua (CAA), volumen y rendimiento del pan (Experimento 2), su aceptación sensorial (Experimento 3) y se determinó el costo de materia prima de cada tratamiento (Experimento 4).

La harina de frijol cocida posee la mayor CAA, seguido por la harina de frijol germinada y finalmente la harina de trigo, resultados que concuerdan con el resultado obtenido por Wani *et. al.* (2016) quienes indicaron que la capacidad de absorción de agua de la harina de un pan Chapatti incrementó a media que aumentó la proporción de frijol en la formulación.

La diferencia de CAA entre las harinas de frijol se debe al tratamiento térmico implicado en la elaboración de la harina de frijol cocido, como menciona Badui (2006) “Una proteína desnaturalizada suele unir más agua que su equivalente nativo ya que disminuyen los enlaces proteína - proteína y la hidratación de los grupos iónicos disminuye aumentando la posibilidad de formar enlaces proteína – agua”. En el caso de la proteína del frijol germinado la actividad enzimática, específicamente proteolítica generadas, fragmentan el esqueleto

polipeptídico de las proteínas, es decir, no se trata de un cambio de conformación sino de un rompimiento irreversible de los enlaces covalentes de la proteína.

Además de las proteínas, existen otros componentes que influyen esta propiedad, tales como el almidón y la fibra alimentaria. (Aguilera, 2009). Estos componentes no proteicos afectaron la CAA, debido a que el tratamiento térmico implicado en la elaboración de la harina cocida, generó hinchamiento irreversible del granulo de almidón, y esto ocasionó gelatinización (Badui, 2006). Mientras que el tratamiento de germinación, debido a amilasas y otras carbohidrasas generaron hidrólisis de los almidones a dextrinas y azúcares de menor peso molecular que no pueden asimilar agua (Kent y Evers, 1994).

Además del tratamiento de elaboración de las harinas Kaur citado por Singh (2011) sugieren que el tamaño y forma del gránulo de almidón, la capacidad de la amilosa para formar complejos amilosa – lípido, prácticamente insoluble, son factores que pueden modificar la CAA de las harinas. Asimismo el pH puede afectar la CAA debido a la insolubilización de las proteínas, si éste se encuentra en su punto isoeléctrico, en proteínas de leguminosas generalmente entre 4 – 6 (Kiosseoglu y Paraskevopoulou 2011).

La menor CAA de la harina de trigo respecto a las harinas de frijol se puede deber al inferior contenido de proteínas que ésta presentó respecto a las otras mencionadas.

No obstante, para establecer el agua a utilizar en cada formulación, se realizaron distintas pruebas preliminares, a través de las cuales se llegó a las utilizadas (Tabla 8). A pesar que los tratamientos con harina de frijol presentaban una mayor CAA, se utilizó una proporción de agua no muy distinta a la del testigo debido a que éste forma una masa elástica y extensible, a diferencia de los tratamientos con harina de frijol que presentaban una masa un tanto pastosa y difícil de manejar si se utilizaban cantidades muy elevadas de agua. Esto debido a que las proteínas del frijol no tienen la capacidad de formar gluten.

Volumen y rendimiento:

La Tabla 11 se detalla el resultado del volumen específico de cada uno de los tratamientos evaluados, en ésta se observa reducción del volumen a medida que se incrementó el contenido de frijol en la formulación. Asimismo, el volumen de cada uno de los tratamientos con frijol

germinado fue inferior al volumen de aquellos tratamientos con el mismo porcentaje de adición de frijol cocido.

El volumen es una característica dependiente del contenido de almidón y azúcares fermentables en la muestra, debido a que ésta durante el tratamiento térmico sufre gelatinización, que le da la rigidez a la estructura de la pieza y evita su colapso. Sin embargo, la adición de frijol en la formulación, incrementó el contenido de agua, reducción del contenido de carbohidratos, entre estos de almidón, además que las proteínas que éste aporta no poseen gluten, lo que generó una pieza inestable.

Este proceso fue evidente en los tratamientos con frijol cocido ya que las piezas recién salidas del horno presentaban una apariencia característica de un pan tipo francés, al menos en cuanto a su forma, aunque luego de un pequeño movimiento se perdía y quedaban ligeramente deformado (Ver Anexo 5). Al analizarlo este es un efecto que podría presentarse con mayor frecuencia en los tratamientos con germinados debido a que la levadura posee mayor accesibilidad a carbohidratos fermentables y por consiguiente generarán mayor dióxido de carbono, la pieza presentará mayor volumen y se incrementará su inestabilidad, si bien esto es cierto Cauvain y Young (2006) muestran que el contenido de azúcares fermentables tienen un efecto inverso sobre la actividad de la levadura panadera (Ver Anexo 5). Y debido a esto éstos tratamientos no incrementaron su volumen. Por lo que podría considerarse innecesaria la adición extra de azúcares fermentables en la formulación de éste tipo de panes.

En la tabla 11 se muestra, los valores del rendimiento obtenido de cada tratamiento, en este caso el resultado fue totalmente inverso al volumen. El rendimiento incrementó con la adición de harina de frijol tanto germinado como no germinado. Los resultados entre tratamientos con harina de frijol germinada y no germinada se obtuvo una inconsistencia dado que cuando se utilizaron las mayores proporciones de sustitución, el tratamiento con frijol germinado presentó mayor rendimiento y al utilizar la menor proporción de sustitución el tratamiento con frijol cocido fue el que lo presentó, sin embargo los valores fueron muy cercanos entre sí, y debido a la inaccesibilidad a cantidades suficientes de frijol ICTA Chortí^{SMN} durante esta fase, el resultado se limitó a una medición.

Características químicas (análisis químico proximal)

En la tabla 13 se muestran los resultados químico proximal obtenidos de las harinas de frijol. los datos en base seca de *extracto etéreo*, *proteína cruda* y *cenizas* son mayores para la harina de frijol germinada que en la harina de frijol cocida, mientras que el contenido de *fibra cruda* y *extracto libre de nitrógeno* son menores.

La germinación del frijol redujo, el contenido de fibra cruda y el extracto libre de nitrógeno. Esto se atribuye a las enzimas hidrolíticas que tienen la capacidad de degradar almidones y de otros tipos de polisacáridos a azúcares de menor peso molecular, de los cuales parte de ellos son utilizados como fuente de energía (Zhou *et. al.*, 2013). La degradación de los carbohidratos (fibra cruda y extracto libre de nitrógeno) en la harina de frijol germinada incrementó el contenido de proteína cruda, extracto etéreo y cenizas, (Zhou *et al.*, 2013).

En la Tabla 14 muestran la composición químico proximal de los tratamientos evaluados. Los tratamientos con harina de frijol cocida presentaron mayor contenido de humedad que los tratamientos con harina de frijol germinado, resultados coherentes con los resultados de CAA y que pueden llegar a ser positivos desde el punto de vista de vida útil ya que podrían reducir la posibilidad de aparición de uno de los dos problemas que más afectan al pan tipo francés, el endurecimiento de la miga debido a la retrogradación del almidón (García y Guerra, s.f.), incluso Wani *et. al.* (2016) hacen mención que con la adición de leguminosas en el pan tipo Chapatti obtuvieron mayor frescura que en el pan control, debido a la prevención de la retrogradación del almidón.

En cuanto al análisis del extracto etéreo se observó valores muy cercanos en cada tratamiento, esto debido a que representan, en mayor medida, el contenido graso adicionado durante la elaboración del pan.

La proteína cruda se encontró más concentrada en los tratamientos con mayor proporción de harina de frijol; al comparar los tratamientos con harina de frijol germinada y cocida, el valor siempre fue mayor en los tratamientos con harina de frijol germinada. Resultado, claramente positivo, debido a que Rulto y Miranda (1972) explican el resultado obtenido por Bressani quién demostró en ratas que el consumo de la mezcla trigo/frijol provocaba un incremento de

peso 68% mayor que el que provocaba el consumo de sólo trigo. Incluso, la adición de ese 10% de frijol incrementaba el índice de eficiencia proteica del trigo en 28%.

Contenido de hierro y ácido fítico

Los resultados de hierro y ácido fítico, de las materias primas se exponen en la tabla 15. Los tratamientos evaluados fueron el G1 y C1 ya que se consideró que eran los tratamientos con mayor potencial.

El efecto germinación sobre las variables respuesta hierro y ácido fítico no presentaron el resultado esperado, mostrando una reducción en el contenido de hierro y un incremento en el contenido de ácido fítico. Es relevante mencionar que el contenido de éste último en la harina de trigo es inferior al que presentan las harinas de frijol.

Al analizar los resultados de los tratamientos elaborados, es evidente que el frijol biofortificado ICTA Chortí^{SMN} efectivamente incrementó la proporción de hierro en los tratamientos en comparación con el tratamiento testigo (sólo harina de trigo). Dicho contenido fue mayor para el tratamiento con frijol germinado (G1) que el tratamiento con frijol cocido (C1).

Éste resultado puede deberse a que durante la germinación se incrementa el sistema enzimático del grano, y entre otros productos se degradan almidones y fibras insolubles (Zhou, *et. al*, 2013), que en porcentaje incrementarán el contenido de hierro; ya que durante la elaboración del pan, la masa se deja en reposo por cerca de dos horas, las enzimas presentes en el grano de frijol tendrán tiempo para actuar sobre los carbohidratos del trigo.

Al realizar una prueba de medias (en base humedad) del contenido de ácido fítico de los tratamientos, considerando la humedad como covariable; resultó en la clasificación de los distintos tratamientos en un mismo grupo, lo cual es bueno ya que la inclusión de frijol no afecta significativamente el contenido de ácido fítico; a pesar que, como se mencionó anteriormente, las harinas de frijol presentan un mayor contenido de ácido fítico que la harina de trigo.

De igual manera, la adición de frijol ICTA Chortí^{SMN} influyó en el contenido de ácido fítico, siendo éste mayor en el tratamiento con frijol germinado, seguido por el tratamiento con frijol cocido y finalmente el tratamiento testigo. , la relación molar ácido fítico:hierro en el tratamiento con frijol germinado fue menor que el tratamiento cocido, éstos a su vez presentaron una menor relación que el tratamiento testigo. Por lo tanto, se podría considerar que, efectivamente, la adición de frijol ICTA Chortí^{SMN} además de incrementar el contenido neto de hierro también incrementó la biodisponibilidad del hierro presente en un pan tipo francés.

No obstante, incluso la relación molar presentada por el tratamiento G1 (quien presentó la menor relación molar ácido fítico:hierro), con un valor de 1,17 fue mayor que la relación molar indicada por Hurrell y Egli (2010) quienes mencionan que para que una fuente vegetal de hierro sea considerada de media biodisponibilidad, la relación molar debería ser <1:1, idealmente <0,4:1. Por lo que se consideraría aún una fuente de hierro de baja biodisponibilidad.

A pesar de considerar lo anterior, una porción de 50g de pan tipo francés con la formulación del tratamiento G1, con un 13% de humedad proporcionaría 2,25 mg de hierro; el equivalente al 8,52% de los requerimientos de un niño de entre 7 y 9 años a partir de fuentes de baja biodisponibilidad. Con la formulación del tratamiento C1 sería el equivalente al 5,68% y el producto testigo proporcionará el 2,84% .

Evaluación sensorial

De acuerdo a los resultados de la evaluación sensoriales del grado de aceptabilidad aplicada con escala hedónica de cinco puntos y realizada a escolares (Tabla 17) el tratamiento testigo (100% trigo) fue calificado con valoraciones más altas en cada uno de los atributos. Sin embargo, el análisis con modelos lineales y mixtos evidencian que no se encontró diferencia significativa entre los resultados de olor ni de textura de los distintos tratamientos. Lo que sugiere que puede realizarse la incorporación de harina de frijol cocido o germinado hasta una concentración de 17 o 18,2% respectivamente, sin incidir de manera significativa en la aceptación del olor o textura del producto. Por otro lado, el uso de harina de frijol, tanto cocida como germinada, a las concentraciones evaluadas generaron una clara disminución de

la aceptación del color del producto, dado que el testigo es significativamente más aceptado esto debido al color negro inherente a la harina de frijol. Otro factor que en principio podría afectar significativamente es la temperatura, tiempo y posicionamiento del pan dentro del horno, sin embargo estas tres variables se estandarizaron para eliminar, en la medida de lo posible, su efecto. En el caso del sabor, al igual que en el caso del color se observó una evidente disminución del nivel de aceptación de los tratamientos evaluados (con incorporación de harina) con respecto al testigo; sin embargo la variación no fue estadísticamente significativa, con excepción del tratamiento C1, el cual obtuvo una ponderación de $2,72 \pm 0,16$, la cual es significativamente inferior al resto.

Los resultados sugieren que puede añadirse harina de frijol germinada a un pan tipo francés hasta una concentración de 18,2% sin alterar el sabor del mismo.

Se utilizó el atributo *Aceptación general* como indicador del nivel de agrado del pan, en los resultados obtenidos se reflejó, como era de esperarse, un mayor agrado hacia el tratamiento testigo que al resto de los tratamientos evaluados, aunque puede considerarse que el testigo y los tratamientos G1 y C2 fueron igualmente aceptados, a diferencia de los tratamientos G2 y C1, los cuales recibieron una ponderación significativamente inferior.

Es importante hacer hincapié en los resultados sensoriales de los tratamientos en los que se utilizó harina de frijol cocida (C1 y C2) debido a diferencia de lo esperado, el tratamiento con mayor incorporación de harina de frijol (C2) recibió en cada uno de los atributos una ponderación mayor que el tratamiento con menor incorporación de frijol (C1).

Por lo tanto, basado en los resultados de la evaluación sensorial es posible inferir que el tratamiento G1 y C2 obtuvieron igual aceptación que el tratamiento testigo, Además que el atributo color es el más afectado por la incorporación de frijol.

Se podría considerar que el parámetro L, es decir la luminosidad o blancura, del color de los tratamientos es el parámetro más importante (Delahaye y Testa, 2005) y se comprobó que este era significativamente inferior en todos los tratamientos con respecto al testigo, siendo el más alejado el tratamiento C2, a tal punto que podía confundirse con un pan integral.

Análisis de costo de materia prima (CMP)

La adición de harina de frijol, tanto cocida como germinada, no afecta en gran medida el CMP por pieza de 50g de pan tipo francés (Tabla 18), incluso en tres de los cuatro tratamientos realizados el CMP fue inferior al testigo, siendo el tratamiento G1 el único donde fue superior y tan sólo en un uno por ciento aproximadamente. Sin embargo, el costo total se verá altamente afectado al considerar los costos de producción de la harina de frijol.

Esto especialmente con la harina de frijol cocida debido a que ésta requiere de un tratamiento de remojo, cocción y posterior deshidratación, en cambio con la harina de frijol germinada, sólo requiere remojo, la fase de germinación y posterior deshidratación, logrando evitarse la fase de cocción lo que la hace una materia prima económicamente más viable.

VII CONCLUSIONES

1. La incorporación de harina de frijol ICTA Chortí^{SMN} redujo la aceptación sensorial del pan, especialmente la variable color dado que adquiriría una tonalidad negra (reduce el valor del parámetro L), sin embargo incrementó el contenido de hierro y redujo su relación molar con el ácido fítico. Considerando ambas variables el tratamiento G1 fue el tratamiento con mejores resultados.
2. La incorporación de harina de frijol ICTA Chortí^{SMN} a un pan afecta de manera significativa sus características físicas, incrementa su CAA y rendimiento aunque reduce su volumen específico, siendo los tratamientos con frijol germinado los más afectados en cuanto al volumen.
3. La incorporación de harina de frijol ICTA Chortí^{SMN} generó cambios en las características químicas del pan evaluado; a medida que se incrementó la proporción de frijol se redujo el contenido de fibra cruda y extracto libre de nitrógeno y se incrementó la fracción de proteína cruda.
4. La incorporación de harina de frijol ICTA Chortí^{SMN} reduce la relación molar ácido fítico:hierro. Sin embargo, en todos los casos la relación molar fue mayor a 1, por lo que se consideran de baja biodisponibilidad. No obstante, el tratamiento G1 obtuvo el mejor valor (1,17); una porción de 50g con 13% de humedad proporciona el equivalente al 8,52% de los requerimientos para un niño de entre siete a nueve años.
5. Se determinó que no existe diferencia significativa entre los tratamientos G1 y C2 con respecto al testigo.
6. La incorporación de harina de frijol ICTA Chortí^{SMN} a la composición de un pan no afecta en gran medida el costo de materia prima del pan, incluso en tres de los cuatro tratamientos evaluados fue menor al testigo.

VIII RECOMENDACIONES

1. Realizar un estudio de factibilidad de la comercialización de la formulación G1 ya que fue la que obtuvo los mejores resultados tanto sensoriales como nutricionales.
2. Plantear la posibilidad de desarrollar otros tipos de productos de panificación con el Frijol ICTA Chortí^{SMN} como materia prima alternativa, tal como productos de panificación dulce.
3. Evaluar la posibilidad de utilizar una harina libre de gluten (harina de arroz, maíz, etc.) y harina de frijol ICTA Chortí^{SMN} para incluir población con enfermedad celíaca.
4. Realizar pruebas sensoriales con población con deficiencias de hierro.
5. Determinar la digestibilidad de la proteína de cada uno de los tratamientos, dado que al ser una mezcla vegetal, esta podría presentar proteínas de mejor calidad que el tratamiento testigo.
6. Evaluar las características reológicas y cualidades panaderas utilizando un farinógrafo y alveógrafo.
7. Determinar costos variables y fijos que implicarían la producción de este tipo de pan.

IX REFERENCIAS

- Afify, A., Beltagi, H., Abd El-Salam, S. y Omran, A. (2012) Effect of Soaking, Cooking, Germination and Fermentation Processing on Proximate Analysis and Mineral Content of Three White Sorghum Varieties (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. Volume 40, Issue 2, 92 – 98.
- Aguilera, Y. (2009) Harinas de leguminosas deshidratadas: Caracterización Nutricional y Valoración de sus Propiedades Tecno-Funcionales. (Tesis Doctoral) Universidad Autónoma de Madrid Facultad de Ciencia, España
- Azeke, M., Elsanhoty, R., Egielewaa, S. y Eigbogboa, M. (2011) The effect of germination on the phytase activity, phytate and total phosphorus contents of some Nigerian-grown grain legumes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Vol 91, 71 – 79
- Badui, S. (2006) Agua. (4ta Ed) Badui, S. *Química de los Alimentos*. México: Pearson Educación (pp 1 – 28)
- Badui, S. (2006) Vitaminas y Nutrientos inorgánicos. (4ta Ed) Badui, S. *Química de los Alimentos*. México: Pearson Educación (pp 363 – 400)
- Bains, K., Uppal, V. y Kaur, H. (2014) Optimization of germination time and heat treatments for enhanced availability of minerals from leguminous sprouts. *Journal of Food Science and Technology*. Volume 51, Issue 5. 1016 – 1020.
- Belitz, H., Grosch, W. y Shieberle, P. (2009) *Food Chemistry* (4th Ed.) Springer
- Bora, P. (2014) Anti – nutritional factors in foods and their effects. *Journal of Academia and Industrial Research*. Volumen 3 no. 6, 285 – 290.
- Bora, P. (2014) Anti – nutritional factors in foods and their effects. *Journal of Academia and Industrial Research*. Volume 3, issue 6, 285 – 290.

- Bouis, H., Hotz, C., McClafferty, B., Meenakshi, J. y Wolfgang H. Pfeiffer, W. (2011) Biofortification: A new tool to reduce micronutrient malnutrition. Food and Nutrition Bulletin. Volume 32 no.1, S31- S40.
- Bressani, Elias, Huezo y Braham (1977) Estudio sobre la producción de harinas precocidas de frijol y caupi, solos y combinados mediante cocción – deshidratación. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Volumen 27, no. 2, 247 – 260.
- Bressani, R. y Elías, L. (1984) Relación entre la digestibilidad y el valor proteínico del frijol común. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Volumen 34, No.1, 189 – 197.
- Bressani, R., Ruiz, A., Palomo, P. y Gudiel, E. (2005) Estabilidad en procesamiento de vitamina C y biodisponibilidad del hierro suplementario a la harina nixtamalizada de maíz. Revista UVG. Volumen 14, 16 – 31.
- Calderón, R. Y Ruth, E. (1998) Conocimientos, actitudes y practicas de madres sobre alimentos ricos en vitamina A y hierro, en la comunidad de las tapias, Guatemala
- Cauvain, S. y Young, L. (2006) Baked Products: Science, Technology and Practice. UK: Blackwell Publishing
- Chew, F. (1996) La deficiencia de hierro como problema de salud pública (Presidencia) Primera conferencia nacional de nutrición: Avances y Perspectivas. Conferencia llevada a cabo Panamá, República de Panamá.
- Chitra, U., Singh, U. y Rao, P. (1996) Phytic acid, in vitro protein digestibility, dietary fiber and minerals of pulses as influenced by processing methods. Plant Foods for Human Nutrition. Volumen 49 no. 4, 307 – 316.
- Comisión Nacional para la Fortificación, Enriquecimiento y/o Equiparación de Alimentos [CONAFOR] (2010) Consolidado de legislación para fortificación de alimentos. Fecha de consulta: 11 de abril del 2017 [En Red] Disponible en: <http://www.conafor.org/pp/bancofotos/326-6131.pdf>

- Dary, O. (2002) Staple Food Fortification with Iron: a Multifactorial Decision. Nutrition Reviews. Volumen 60 no. 7, S34 – S41.
- Delahaye, P., y Testa, G. (2005) Evaluación Nutricional, Física y Sensorial de Panes de trigo y plátano verde. Vol 30 no 5, 300 – 3004
- Dhingra, S. y Jood, S. (2002) Physico-chemical and nutritional properties of cereal-pulse blends for bread making. Volumen 16 no. 3, 183 – 194.
- Febes, C. (1998) Estudio del contenido de fitatos en derivados de cereales de consumo en canarias. Tesis Doctoral. Universidad de la Laguna.
- Fernández, F., Gepts, P. y López, M. (1986) Etapas de desarrollo de la planta de frijol común. Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical [CIAT]
- Figuroa, G. J. J., Guzmán, M. S. H., Herrera, H. M. G., Rumayor, R. A. F., Alvarado, N. M. D., Sánchez, T. B. I. 2010. Botana a base de frijol con alto valor nutricional y nutracéutico. Folleto Técnico No. 28. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC-INIFAP, 27p.
- García, B. y Guerra, E. (s.f.) Cereales y productos derivados. En Hernández, A. Tratado de Nutrición Tomo II (pp 177 – 227)
- Gobierno de Guatemala (2009) Guatemala: Mujeres de La Unión, Zacapa, cambian su situación económica. Fecha de consulta: 20 de diciembre del 2016 [En Red] Disponible en: <http://reliefweb.int/report/guatemala/guatemala-mujeres-de-la-uni%C3%B3n-zacapa-cambian-su-situaci%C3%B3n-econ%C3%B3mica>
- Guzman, M., Dios, R., Duran, O., Montoya, G., Sol, A., Quiros, O. y Zuñiga, C. (2014) Estado del Arte de la Bioeconomía y el Cambio Climático. León, Nicaragua: Editorial Universitaria.

- Haard, N. Y Chism, G. (2000) Características de los vegetales comestibles. (2da Ed) Fennema, O. Introducción a la química de los alimentos. España: ACRIBIA EDITORIAL
- Badui, S. (2006) Vitaminas y Nutrientos inorgánicos. (4ta Ed) Badui, S. Química de los Alimentos. México: Pearson Educación (pp 363 – 400)
- Haas, J., Beard, J., Murray-Kolb, L., Del Mundo, A., Felix, A. y Gregorio, G. (2005) Iron-Biofortified Rice Improves the Iron Stores of Nonanemic Filipino Women. The Journal of Nutrition. Vol 135 no 12, 2823 – 28 30
- Haas, J., Luna, S., Lung'aho, M., Ngabo, F., Wenger, M., Murray-Kolb, L., Beebe, S., Gahutu, J., y Egli, I. (2014) Iron biofortified beans improve iron status in Rwandan University women: results of a feeding trial. The FASEB Journal vol. 28 no 1, 646
- HarvestPlus (2014) What is Hidden Hunger? Fecha de consulta: 20 de diciembre del 2016 [En Red] Disponible en: http://www.biofortconf.ifpri.info/files/2014/03/What-is-Hidden-Hunger-Fact-Sheet_3-27-2014.pdf
- Hernández, P., Martín, O., Rodríguez, Y., y Ganem, C. (1999) Aplicaciones de las lectinas. Revista Cubana Hematol Inmunol Hemoter. Vol 15 no 2, 91 – 95
- Hotz, C. y Gibson, R (2007) Traditional Food – Processing and Preparation practices to enhance the bioavailability of micronutrients in plant based diets. The Journal of Nutrition. Volumen 137 no. 4, 1097 – 1100.
- Hurrell, R. y Egli, I. (2010) Iron bioavailability and dietary reference values. The American Journal of Clinical Nutrition. 91(suppl):1461S–7S.
- Hurrell, R. y Egli, I. (2010) Iron bioavailability and dietary reference values. The American Journal o Clinical Nutrition. Volume 91(suppl):1461S–1467S.
- Instituto Nacional de Centro América y Panamá (2007) Tabla de Composición de Alimentos de Centroamérica. (2da Ed) Guatemala: Menchú, M. y Méndez, H.

- Instituto Nacional de Centro América y Panamá (2012) Recomendaciones dietéticas diarias de INCAP (2da Ed.) Guatemala: Mencú., Torún. B., Elías L.G
- Jarquín, R. (1972) La importancia del frijol como suplemento natural de dietas a base de cereales. Leguminosas de Grano XVIII reunión anual. IICA, Nicaragua
- Jones, A. (1999) Phaseolus bean Post – harvest Opeerations. Fecha de consulta: 20 de diciembre del 2016 [En Red] Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-av015e.pdf>
- Kaur, M., Singh, N. (2007) Relationships between various functional, termal and pasting properties of flours from different Indian black gram (Phaseolus mungo L.) cultivars. Journal of the Science of Food and Agriculture. Volume 87: 974 – 984
- Kent, N., Evers, A. (1994) Technology of cereals An introduction for students of food science and agricultura. USA: Elsevier Science
- Lee, C. y Karunanithy, R. (1990) Effects of Germination on the Chemical Composition of Glycine and Phaseolus Beans. Journal of the Science of Food and Agricultural. Volume 51, 437 – 445.
- Leichter, J. y Joslyn, M. (1966) The state of iron in flour, dough, and bread. Cereal Chemistry. Volumen 44, 346 – 351.
- López, A. y Canales, M. (2006) Hidratos de Carboho. (4ta Ed) Badui, S. Química de los Alimentos. México: Pearson Educación (pp 29 – 118)
- Lynch, S. (2000) The effect of calcium on iron absorpion. Volumen 13 no. 2, 141 – 158.
- Martínez, C., Ros, G., Periago, M. y López (1999) Biodisponibilidad del hierro de los alimentos. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. Volumen 49 no. 2, 106 – 113.
- Menchú, T. y Méndez, H. (2011) Análisis de la situación alimentaria en Guatemala. Guatemala: INCAP

Ministerio de economía, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Ministerio de Fomento, Industria y Comercio, Secretaría de Industria y Comercio, Ministerio de Economía Industria y Comercio (2007) Reglamento Técnico Centroamericano [RTCA 67.01.15:07]

Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social, Instituto Nacional de Estadística, ICF International, 2017. Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil 2014-2015. Informe Final. Guatemala, MSPAS/INE/ICF

Nakitto, A., Muyonga, J. y Nakimbugwe, D. (2015) Effects of combined traditional processing methods on the nutritional quality of beans. Food Science and Nutrition. Volume 3, issue 3, 233 – 241.

Nestel, P., Bouis, H., Meenakshi, J. y Pfeiffer, W. (2006) Biofortification of Staple Food Crops. The Journal of Food Nutrition. Volume 136, 1064 – 1067.

Oomah, B., Patras, A., Rawson, A., Singh, N. y Vega, R. (2011) Chemistry of pulses. En Pulse Foods Processing, Quality and Nutraceutical Applications. Tiwari, K., Gowen, A. y McKenna, B. UK: ELSEVIER (pp 9 – 55)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación (s.f.) Método Simple para la Determinación de Acido Fítico. Fecha de consulta: 23 de agosto del 2016 [En Red] Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/field/003/AB489S/AB489S05.htm>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2002) Nutrición humana en el mundo en desarrollo. Roma: Lathan, M.

Organización Panamericana de la Salud, Instituto Internacional de Ciencias de la Vida, Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos y Grupo Consultivo Internacional de Anemia Nutricional (2002) Compuestos de hierro para la fortificación de Alimentos. Guías para América Latina y el Caribe. Washington, D.C., Estados Unidos

- Paredes, E. (s.f.) El agro en cifras 2015. Guatemala: Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación
- Petry, N., Egli, I., Gahutu, J., Tugirimana, P., Boy, E. y Hurrell, R. (2012) Stable Iron Isotope Studies in Rwandese Women Indicate That the Common Bean Has Limited Potential as a Vehicle for Iron Biofortification. *The Journal of Nutrition*. Volumen 142, no.3, 492 – 497.
- Quinn, J. y Paton, D. (1979) A Practical Measurement of Water Hydration Capacity of Protein Materials. *Cereal Chemistry*. Volume 56, 38 – 40.
- Saltar, A., Durrani, S., Mahmood, Ahmad, F. y Khan, A. (1989) Effect of soaking and germination temperatures on selected nutrients and antinutrients of mungbean. *Food Science and Technology*. Volumen 34 no. 2, 111 – 120.
- Sangronis, E. y Machado, C. (2005) Influence of germination on the nutritional quality of *Phaseolus vulgaris* and *Cajanus cajan*. *Food Science and Technology*. Volume 40, Issue 1, 116 – 120.
- Sigma – Aldrich (2010) Especificaciones Ácido fítico Fecha de consulta: 23 de agosto del 2016 [En Red] Disponible en: [http://www.sigmaaldrich.com/Graphics/COFAInfo/SigmaSAPQM/SPEC/59/593648/593648-BULK ALDRICH .pdf](http://www.sigmaaldrich.com/Graphics/COFAInfo/SigmaSAPQM/SPEC/59/593648/593648-BULK_ALDRICH .pdf)
- Singh, N. (2011) Functional and physicochemical properties of pulse starch. En *Pulse Foods Processing, Quality and Nutraceutical Applications*. Tiwari, K., Gowen, A. y McKenna, B. UK: ELSEVIER (pp 91 – 118)
- Sparvoli, F., Laureati, M., Pilu, R., Pagliarini, E., Toschi, I., Giuberti, G., Fortunati, P., Daminati, M., Cominelli E. y Bollini R. Physicochemical and pasting properties of unleavened wheat flat bread (Chapatti) as affected by addition of pulse flour. *Frontiers in Plant Science*. Volumen 7 no. 928

Traynham, T., Deland, J., Carriquiry, A. y Johnson, L. (2007) ORIGINAL PAPER Evaluation of Water-Holding Capacity for Wheat–Soy Flour Blends. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. Volume 84 issue 4: 151 - 155

Universidad de Buenos Aires (s.f.) Glosario de términos botánicos. Fecha de consulta: 11 de abril del 2017 [En Red] Disponible en: <http://www.dbbe.fcen.uba.ar/contenido/objetos/GLOSARIODETERMINOSBOTANICOSFacAgronomaUNLAPa.pdf>

Universidad de Vigo (s.f.) Heterocedasticidad. Fecha de consulta: 11 de abril del 2017 [En Red] Disponible en: <http://cjardon.webs.uvigo.es/Transparencias/Unidad7.pdf>

Uruakpa, F. y Fleischer, A. (2016) Sensory and Nutritional Attributes of Black Bean Brownies. *Volumen 3 no. 3*, 27 – 36.

Wani, I. Singh, D., Sharma, P. y Singh B. (2016) Exploitation of common bean flours with low antinutrient content for making nutritionally enhanced biscuits. *Cogent Food & Agriculture*. Volumen 2, 1 – 9.

Zhou, K., Slavin, M., Lutterodt, H., Whent, M., Eskin, N. y Yu, L. (2013) Cereals and Legums [Cereales y leguminosas] en Eskin, N. y Shahidi, F. (3ra ed.) *Biochemistry of Foods [Bioquímica de los alimentos]* (pp 3 – 48). UK: ELSEVIER

X ANEXO

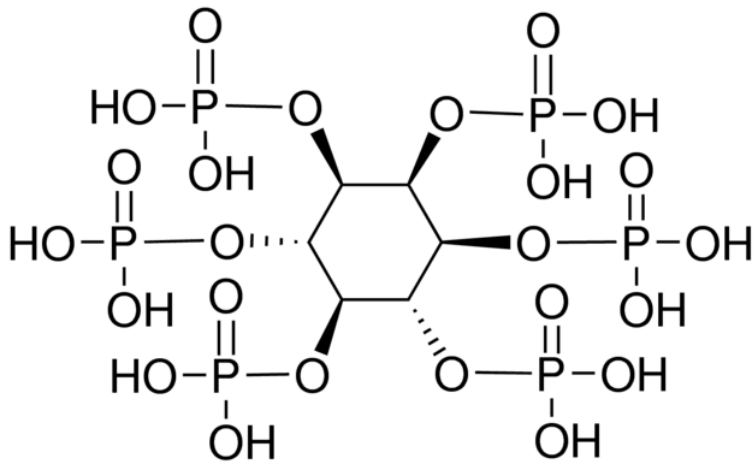
Anexo 1 Glosario

- Testa: tegumento exterior de una semilla (Universidad de Buenos Aires, s.f.).
- Embrión: parte de la semilla que origina una plántula, compuesta por radícula, plúmula, nudo cotiledonal y cotiledón/es (Universidad de Buenos Aires, s.f.).
- Endospermo: tejido nutritivo de la semilla que acompaña al embrión en la semilla, originado por una segunda fecundación en las angiospermas y de naturaleza triploide (Universidad de Buenos Aires, s.f.).
- Lectinas: tipo de proteínas de origen no inmune fijadoras de carbohidratos con capacidad para aglutinar células y precipitar glicoconjugados (P. Hernández, O. Martín, Y. Rodríguez, C. Ganem, 1999).
- Cotiledon: la o las primeras hojas de la planta ya preformadas en el embrión de las plantas con semilla (Universidad de Buenos Aires, s.f.).
- Heterocedasticidad: se considera un modelo heterocedástico a todo aquel en que las variables de las perturbaciones no son constantes, por lo tanto, la variabilidad es diferente para cada observación (Universidad de Vigo, s.f.).
- Pan especial: aquel pan al que se elaboran con las partes externas del grano, se le incorporan harinas de otros cereales, otros ingredientes o requieren un proceso especial de elaboración (García y Guerra, s.f.).

Anexo 2 Abreviaturas

- ACM: Alto Contenido de Minerales
- CONAFOR: Comisión Nacional para la Fortificación Enriquecimiento y/o equiparación de alimento
- ENMICRON: Encuesta Nacional de Micronutrientes
- ENSMI: Encuesta Nacional de Salud Materno Infantil
- FAO: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
- ICTA Instituto de Ciencias y Tecnología Agrícolas
- INCAP: Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá
- INTECAP: Instituto Técnico de Capacitación y Productividad
- ONG: Organización No Gubernamental
- RDD: Recomendaciones dietéticas diarias
- RTCA: Reglamento Técnico Centroamericano
- SMN: Sequía, Minerales, Negro

Anexo 3 Ácido fítico



Fuente: Sigma – Aldrich. Ficha técnica phytic acid

Anexo 4 Boleta sensorial

Evaluación sensorial de pan



Género: M F Edad: _____


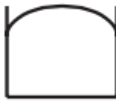



Instrucciones: A continuación se le presenta una muestra de pan, con una “X” marque la casilla que mejor describe su agrado por cada característica evaluada.

No. De Muestra: _____

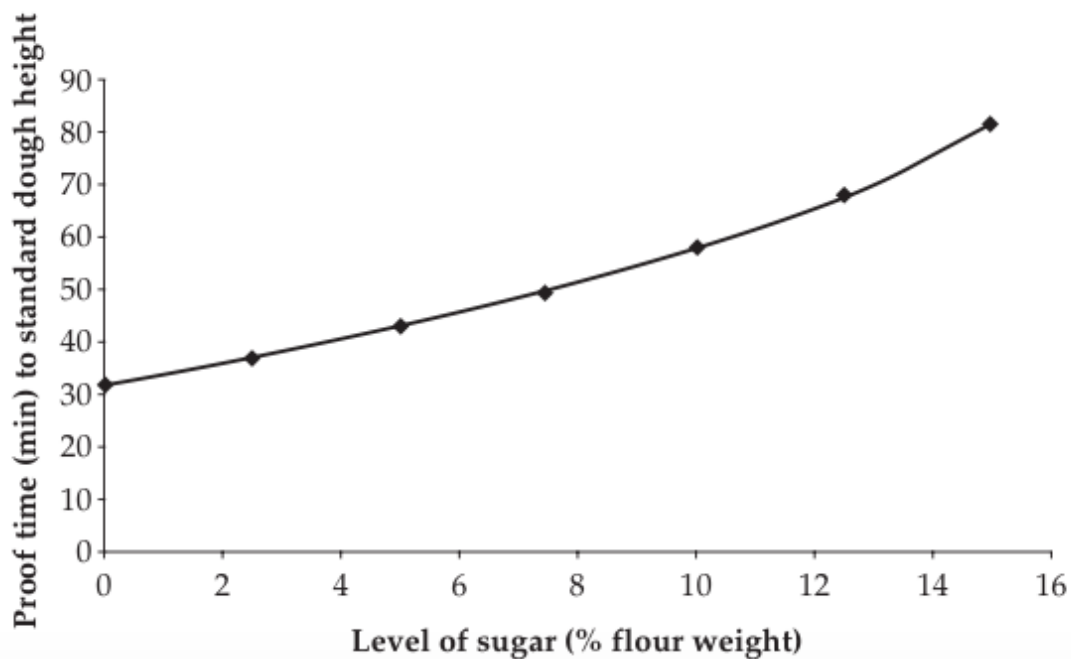
| ATRIBUTO |  Horrible |  No me gustó |  Indiferente |  Me gustó |  Me encantó |
|--------------------|---|--|--|---|---|
| Color | | | | | |
| Olor | | | | | |
| Sabor | | | | | |
| Textura | | | | | |
| Aceptación general | | | | | |

Observaciones:

Anexo 5 Volumen y forma del pan en función del nivel de azúcar

| | | | | | |
|-------------------------|---|---|---|--|---|
| Cake shape |  |  |  |  |  |
| Volume | 750 cm ³ | 820 cm ³ | 900 cm ³ | 885 cm ³ | 865 cm ³ |
| Sugar as % flour weight | 75 | 95 | 115 | 135 | 155 |

Fuente: Cauvain y Young, (2006)



Fuente: Cauvain y Young, 2006

Anexo 6 Contenido de hierro y ácido fítico de los tratamientos en base húmeda

| Tratamiento | Hierro (ppm) | Á. Fítico (%) |
|----------------------------|--------------|---------------|
| Harina de frijol | 135 | 0,0135 |
| Harina de frijol germinado | 80 | 0,0080 |
| Harina de trigo | 65 | 0,0065 |
| Testigo | 15 | 0,0015 |
| G 1 | 45 | 0,0713 |
| G 2 | 45 | N/D |
| C 1 | 30 | 0,0689 |
| C 2 | 35 | N/D |

Anexo 7 Muestra de cálculo

Cálculo relación molar Fe:AF para G1

Contenido de Fe

$$\frac{45\mu g Fe}{Kg pan} * \frac{1mgFe}{1000\mu g Fe} * \frac{1Kg pan}{1000g pan} * \frac{1 mol}{55,85g} = \frac{8,057E - 7 mol Fe}{g pan}$$

Contenido de AF

$$\frac{0,062g}{100g pan} * \frac{1mol AF}{660,04g AF} = \frac{9,39E - 7 mol AF}{g pan}$$

Relación molar AF:FE

$$\frac{9,39E - 7 mol AF}{8,057 mol Fe} = 1,17 \frac{mol AF}{mol Fe}$$

Cálculo del aporte de hierro de un pan con formulación G1 con relación a los requerimientos de niños entre 7 – 9 años de edad.

$$\frac{45\mu g Fe}{Kg pan} * \frac{1Kg pan}{1000g pan} * 50g pan = 2,25\mu g Fe$$

$$\frac{2,25\mu g Fe}{26,4 \mu g Fe} * 100\% = 8,52\%\mu g Fe$$

Anexo 8 Análisis de costo de Materia Prima

Costos de materia prima Tratamiento G1

| Nombre | Formulación | Costo (Q/g) | Costo (Q/g) |
|------------------|-------------|-------------|-------------|
| Agua | 36,30% | 0,00000 | 0,00000 |
| Harina de trigo | 41,40% | 0,01094 | 0,00453 |
| Harina de frijol | 12,70% | 0,00848 | 0,00108 |
| Manteca | 5,70% | 0,01520 | 0,00087 |
| Azúcar | 3,20% | 0,00648 | 0,00021 |
| Levadura | 0,40% | 0,29205 | 0,00117 |
| Sal | 0,20% | 0,00525 | 0,00001 |
| TOTAL | 100% | | 0,00786 |

Costo de Materia prima Tratamiento G2

| Nombre | Formulación | Costo (Q/g) | Costo (Q/g) |
|------------------|-------------|-------------|-------------|
| Agua | 39,40% | 0,00000 | 0,00000 |
| Harina de trigo | 33,30% | 0,01094 | 0,00364 |
| Harina de frijol | 18,20% | 0,00848 | 0,00154 |
| Manteca | 5,50% | 0,01520 | 0,00084 |
| Azúcar | 3,00% | 0,00648 | 0,00019 |
| Levadura | 0,40% | 0,29205 | 0,00117 |
| Sal | 0,20% | 0,00525 | 0,00001 |
| TOTAL | 100% | | 0,00740 |

Costo de materia prima Tratamiento C1

| Nombre | Formulación | Costo (Q/g) | Costo (Q/g) |
|------------------|-------------|-------------|-------------|
| Agua | 40,10% | 0,00000 | 0,00000 |
| Harina de trigo | 38,90% | 0,01094 | 0,00426 |
| Harina de frijol | 12,00% | 0,00848 | 0,00102 |
| Manteca | 5,40% | 0,01520 | 0,00082 |
| Azúcar | 3,00% | 0,00648 | 0,00019 |
| Levadura | 0,40% | 0,29205 | 0,00117 |
| Sal | 0,20% | 0,00525 | 0,00001 |
| TOTAL | 100% | | 0,00747 |

Costo de materia prima Tratamiento C2

| Nombre | Formulación | Costo (Q/g) | Costo (Q/g) |
|------------------|-------------|-------------|-------------|
| Agua | 43,50% | 0,00000 | 0,00000 |
| Harina de trigo | 31,10% | 0,01094 | 0,00340 |
| Harina de frijol | 17,00% | 0,00848 | 0,00144 |
| Manteca | 5,10% | 0,01520 | 0,00078 |
| Azúcar | 2,80% | 0,00648 | 0,00018 |
| Levadura | 0,40% | 0,29205 | 0,00117 |
| Sal | 0,20% | 0,00525 | 0,00001 |
| TOTAL | 100% | | 0,00698 |

Anexo 9 Informe de resultados contenido de ácido fítico



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala

Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
 Laboratorio de Investigación de Productos Naturales -LIPRONAT-

Informe No. 004-240317

INFORME DE RESULTADOS

Actividad solicitada: Cuantificación de ácido fítico en diversas muestras de harinas.

Solicitante: Oscar Andrés Martínez Reyes.

Fecha de solicitud: 10 de Febrero de 2017.

MÉTODO: El método de cuantificación de ácido fítico se basó en la metodología de Wheeler y Ferrel, el cual se basa en tomar la cierta cantidad de la muestra y se somete a diversas fases químicas y tiempos determinados. Primeramente se mezcla por una hora con agitación constante con ácido tricloroacético 3%, seguido de una centrifugación, con el fin de separar el residuo del filtrante, se toma una cantidad de 5 ml del filtrante y se trata con 2ml de cloruro férrico (que contenga 2mg/ml de Fe), se calienta por 30 minutos y se aclara con 2gotas de Na₂SO₄ al 3% de ATA, se centrifuga por 10 minutos y se elimina el sobrenadante. Se lava dos veces con 10ml de ATA 3%, se dispersa, se coloca en baño maría por 5min y se centrifuga 10 minutos, seguidamente se realiza el mismo lavado pero con agua. Se dispersa el producto con 5ml de agua y se adiciona con NaOH 1.5N (3ml), se ajunta con agua hasta 30ml y se ebuye por 30 minutos, se filtra en caliente y el precipitado se lava con 60ml de agua caliente. Este precipitado se disuelve con 40ml de HNO₃ 3.2N y se lleva a un volumen final de 100ml. Se toma una alícuota de 5ml, se hace reaccionar con KSCN 1.5M se afora a 100ml y se lee a una absorbancia de 480nm, por espectrofotometría. Para obtener la concentración de fitato, se realizó a partir de los resultados de hierro, asumiendo que una tasa molecular de 4:6 hierro: fósforo.

RESULTADOS

En la siguiente tabla se presenta las lecturas correspondientes a la estandarización del método en el laboratorio, empleando como patrones harina de arroz y linaza. En porcentaje de ácido fítico de ambas muestras se mantuvieron constantes a lo largo de cada lectura.

Tabla No.01

“Porcentaje de ácido fítico en harinas de arroz y linaza (estándares)”.

| No. De lectura | Muestra | % de ácido fítico | Promedio | desviación |
|----------------|---------|-------------------|----------|------------|
| 1era lectura | Arroz | 0.105 | 0.106 | 0.002 |
| | | 0.103 | | |
| | | 0.109 | | |
| | Linaza | 0.345 | 0.331 | 0.022 |
| | | 0.343 | | |
| | | 0.305 | | |
| 2da lectura | Arroz | 0.174 | 0.172 | 0.042 |

| | | | | |
|--------------|---------------|-------|-------|-------|
| | Linaza | 0.205 | 0.348 | 0.032 |
| | | 0.122 | | |
| | | 0.311 | | |
| | | 0.368 | | |
| | | 0.367 | | |
| 3ra. Lectura | Arroz | 0.104 | 0.104 | 0.002 |
| | | 0.104 | | |
| | | 0.107 | | |
| | Linaza | 0.332 | 0.323 | 0.016 |
| | | 0.332 | | |
| | | 0.304 | | |

Fuente: Datos Experimentales. Laboratorio de Investigación de Productos Naturales -LIPRONAT-, Anexo "A", USAC. Valores teóricos de ácido fítico (arroz: valor mínimo: 0.14%; valor máximo 0.60%), (linaza: valor mínimo: 2.15; valor máximo: 2.78%);

La tabla de resultados No. 2 muestra los resultados de la cantidad de ácido fítico de las diferentes muestras; en donde se observa que la muestra "G" fue la que presentó los valores más altos, pero no supera a los valores determinados en arroz y linaza según lo determinado en el montaje del método.


Tabla No.02:
"Porcentaje de ácido fítico en harinas".

| No. | Muestra | % de ácido fítico | Promedio | Desviación |
|-----|--------------|-------------------|----------|------------|
| 1 | Muestra "G" | 0.099 | 0.103 | 0.009 |
| | | 0.114 | | |
| | | 0.097 | | |
| 2 | Muestra "T" | 0.067 | 0.062 | 0.004 |
| | | 0.060 | | |
| | | 0.060 | | |
| 3 | Muestra "F" | 0.073 | 0.072 | 0.001 |
| | | 0.070 | | |
| | | 0.072 | | |
| 4 | Muestra "PC" | 0.061 | 0.062 | 0.001 |
| | | 0.063 | | |
| | | 0.062 | | |
| 5 | Muestra "PG" | 0.060 | 0.062 | 0.004 |
| | | 0.067 | | |
| | | 0.059 | | |
| 6 | Muestra "PT" | 0.054 | 0.054 | 0.001 |
| | | 0.053 | | |
| | | 0.056 | | |

Fuente: Datos Experimentales. Laboratorio de Investigación de Productos Naturales -LIPRONAT-, Anexo "A", USAC.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

Wheeler y Ferrel (1971). "Método simple para la determinación de ácido fítico".


Akassia Hengstenberg
Analista


Lic. Nereida Marroquín Tintí
Supervisora

Laboratorio de Investigación de Productos Naturales
-LIPRONAT-

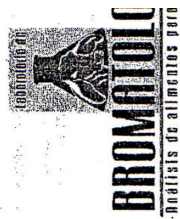
Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe de resultados sin previa autorización.

-----FIN-----

Anexo 10 Análisis proximal de los tratamientos



Elaborado por: Aura Marina de Marroquín
 Autorizado por: Lic. Miguel Ángel Rodenas



FORMULARIO BROMATO 7 INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
 Escuela de Zootecnia
 Unidad de Alimentación Animal

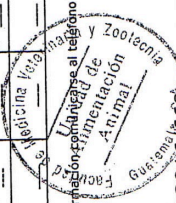
Edificio M6, 2° Nivel, Ciudad Universi
 Ciudad de Guatemala
 Telefax: 24188307 Teléfono: 24188
 E-mail: bromato2000@yahoo.es

Solicitado por: **INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGRÍCOLA.** Dirección: **CIUDAD, GUATEMALA.**
 Fecha de recibida la muestra: **23-11-2016.** Fecha de realización: **DEL 28 AL 29-11-2016.**

No. **669**

| Reg. | Descripción de la muestra | BASE | Agua % | M.S.T. % | E.E. % | F.C. % | PROTEINA CRUDA % | Cenizas % | E.L.N. % | Calcio % | Fósforo % | F.A.D. % | F.N.D. % | Lignina % | Dig. Pepsina % | MEQ *kg | TND | E.B. Mcal/kg | |
|--|---------------------------|---------------|--------|----------|--------|--------|------------------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|----------------|---------|-----|--------------|-----|
| 1069 | MASA G. CAMOTE | SECA | 19.42 | 80.58 | 17.27 | 0.77 | 6.22 | 2.77 | 72.98 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | | COMO ALIMENTO | --- | --- | 13.91 | 0.62 | 5.02 | 2.23 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1070 | HARINA ICTA CHORTI | SECA* | 6.03 | 93.97 | 0.94 | 7.53 | 26.61 | 4.68 | 60.24 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | | COMO ALIMENTO | --- | --- | 0.88 | 7.08 | 25.01 | 4.40 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1071 | HARINA ICTA DORADO | SECA | 9.92 | 90.08 | 0.91 | 4.09 | 11.30 | 5.10 | 78.59 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | | COMO ALIMENTO | --- | --- | 0.82 | 3.69 | 10.18 | 4.80 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1072 | FRJOL GEMINADO ICTA | SECA | 6.86 | 93.14 | 1.21 | 5.47 | 27.90 | 5.52 | 59.90 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | | COMO ALIMENTO | --- | --- | 1.12 | 5.09 | 25.99 | 5.14 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| TOTAL DE MUESTRAS REPORTADAS EN ESTA HOJA 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

OBSERVACIONES: Dichos resultados fueron calculados en base a materia seca total y fresca. Sé prohíbe la producción parcial o total de este informe, para mayor información dirigirse al teléfono 24188307.



T.L. José A. Morales S.
 Laboratorista

Lic. Miguel Ángel Rodenas
 Jefe Laboratorio de Bromatología

Resultados 2016/669
 29/11/16



Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia
Escuela de Zootecnia
Unidad de Alimentación Animal

Elaborado por: Aura Marina de Marroquín
Autorizado por: Lic. Miguel Ángel Rodenas

FORMULARIO BROMATO 7 INFORME DE RESULTADO DE ANÁLISIS

Solicitado por:

INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AGRÍCOLAS.

Dirección:

CIUDAD, GUATEMALA.

No. 668

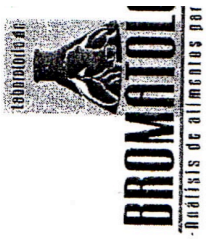
Fecha de recibida la muestra:

23-11-2016.

Fecha de realización:

DEL 28 AL 29-11-2016.

Edificio M6, 2° Nivel, Ciudad Univers
Ciudad de Guatemala
Telefax: 24188307 Teléfono: 2418
E-mail: bromato2000@yahoo.es



| Reg. | Descripción de la muestra | BASE | Agua % | M.S.T. % | E.E. % | F.C. % | PROTEINA CRUDA % | Cenizas % | E.L.N. % | Calcio % | Fósforo % | F.A.D. % | F.N.D. % | Lignina % | Dig. Pepsina % | MEQ **KG | TND | E.B. Mcal/kg |
|------|---------------------------|---------------|--------|----------|--------|--------|------------------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------|-----------|----------------|----------|-----|--------------|
| 1065 | ICTA 012% G | SECA | 33.94 | 66.06 | 9.32 | 0.64 | 17.37 | 1.82 | 70.85 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | | COMO ALIMENTO | --- | --- | 6.16 | 0.43 | 11.48 | 1.20 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1066 | ICTA 012% N | SECA | 39.99 | 60.01 | 9.63 | 0.87 | 16.28 | 1.99 | 71.23 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | | COMO ALIMENTO | --- | --- | 5.78 | 0.52 | 9.77 | 1.20 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1067 | ICTA 017% G | SECA | 35.83 | 64.17 | 9.61 | 1.02 | 18.71 | 2.29 | 68.37 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | | COMO ALIMENTO | --- | --- | 6.16 | 0.65 | 12.01 | 1.47 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 1068 | ICTA 017% N | SECA | 43.76 | 56.24 | 8.91 | 1.63 | 17.75 | 2.34 | 69.37 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| | | COMO ALIMENTO | --- | --- | 5.01 | 0.91 | 9.98 | 1.32 | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |

OBSERVACIONES:

Dichos resultados fueron calculados en base a materia seca total y fresca. Se prohíbe la producción parcial o total de este informe, para mayor información comunicarse al teléfono 24188307.

TOTAL DE MUESTRAS REPORTADAS EN ESTA HOJA 4



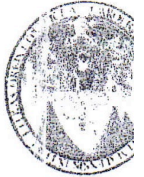
T.L. Hans A. Moya R.
Laboratorista

Lic. Miguel Ángel Rodenas
Jefe Laboratorio de Bromatología

Resultados 2016/668
29/11/16



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
LABORATORIO DE SUELO-PLANTA-AGUA "SALVADOR CASTILLO ORELLANA"



INTERESADO: I C T A
PROCEDENCIA: ERICK AGUILAR
PROCEDENCIA: CHIMALTENANGO
FECHA DE INGRESO: 23/11/2016

ANALISIS DE ALIMENTOS

| IDENTIFICACION | | ppm Fe |
|----------------|--------------------|-----------|
| M-1 | ICTA-00 0% | 15 |
| M-2 | ICTA-012G 12%G | 45 |
| M-3 | ICTA-012N 12%N | 30 |
| M-4 | ICTA-017G 17%G | 45 |
| M-5 | ICTA-017N 17%N | 35 |
| M-6 | Frijol germinada | 80 |
| M-7 | Harina ICTA Chorti | 135 |
| M-8 | Harina trigo | 65 |



Anexo 12 Aleatorización para prueba hedónica

Se muestra el diseño de bloques balanceados incompletos realizados para la evaluación sensorial. Cada panelista evaluó tres tratamientos de acuerdo a:

| PANELISTA | TRATAMENTOS | | |
|-----------|-------------|----|---------|
| 1 | C2 | G2 | Testigo |
| 2 | C1 | G2 | G1 |
| 3 | Testigo | C2 | G1 |
| 4 | Testigo | G1 | C2 |
| 5 | C1 | G2 | C2 |

| | | | |
|----|----|---------|---------|
| 6 | G1 | C2 | Testigo |
| 7 | G2 | Testigo | C2 |
| 8 | C1 | G1 | G2 |
| 9 | C1 | C2 | G1 |
| 10 | C1 | C2 | G2 |

| | | | |
|----|---------|---------|---------|
| 11 | G1 | Testigo | C2 |
| 12 | G2 | C2 | C1 |
| 13 | G1 | G2 | Testigo |
| 14 | Testigo | C1 | G1 |
| 15 | G1 | Testigo | C2 |

| | | | |
|----|---------|---------|----|
| 16 | C1 | C2 | G1 |
| 17 | G2 | Testigo | C1 |
| 18 | G1 | G2 | C1 |
| 19 | C2 | Testigo | C1 |
| 20 | Testigo | C2 | G2 |

| | | | |
|----|---------|---------|----|
| 21 | G1 | G2 | C2 |
| 22 | G2 | Testigo | C2 |
| 23 | C2 | C1 | G2 |
| 24 | Testigo | G2 | C2 |
| 25 | C1 | Testigo | G1 |

| | | | |
|----|----|---------|---------|
| 26 | G2 | C1 | C2 |
| 27 | G1 | G2 | Testigo |
| 28 | C2 | G1 | G2 |
| 29 | C2 | Testigo | C1 |
| 30 | G1 | G2 | Testigo |

| | | | |
|----|----|----|---------|
| 31 | G1 | G2 | C2 |
| 32 | C1 | G1 | Testigo |
| 33 | C2 | G1 | Testigo |
| 34 | G2 | C2 | Testigo |
| 35 | G1 | G2 | Testigo |

| | | | |
|----|---------|---------|----|
| 36 | C2 | G2 | C1 |
| 37 | Testigo | C1 | G1 |
| 38 | G1 | G2 | C2 |
| 39 | Testigo | C1 | C2 |
| 40 | C1 | Testigo | G1 |

| | | | |
|----|---------|---------|---------|
| 41 | C2 | G1 | C1 |
| 42 | G2 | Testigo | C1 |
| 43 | G1 | G2 | C2 |
| 44 | C1 | C2 | Testigo |
| 45 | Testigo | G1 | G2 |

| | | | |
|----|----|---------|---------|
| 46 | G1 | C1 | C2 |
| 47 | G2 | Testigo | C1 |
| 48 | C2 | G1 | G2 |
| 49 | C1 | C2 | G2 |
| 50 | C1 | G2 | Testigo |

| | | | |
|----|---------|---------|---------|
| 51 | C1 | G2 | G1 |
| 52 | G2 | Testigo | G1 |
| 53 | C1 | G1 | G2 |
| 54 | Testigo | C1 | C2 |
| 55 | G1 | G2 | Testigo |

| | | | |
|----|----|---------|----|
| 56 | C1 | C2 | G1 |
| 57 | G2 | Testigo | C1 |
| 58 | G1 | G2 | C1 |
| 59 | C2 | Testigo | C1 |
| 60 | C1 | Testigo | G1 |

| | | | |
|----|----|---------|---------|
| 61 | C2 | G1 | C1 |
| 62 | G2 | Testigo | C1 |
| 63 | G1 | G2 | C2 |
| 64 | C2 | Testigo | C1 |
| 65 | G1 | C1 | Testigo |

Anexo 13 Resultados de análisis estadístico

Análisis del color

Análisis de la varianza

L

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| L | 15 | 0.97 | 0.96 | 1.98 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------|--------|----|--------|-------|---------|
| Modelo. | 905.93 | 4 | 226.48 | 89.80 | <0.0001 |
| HARINA | 905.93 | 4 | 226.48 | 89.80 | <0.0001 |
| Error | 25.22 | 10 | 2.52 | | |
| Total | 931.15 | 14 | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=4.26756

Error: 2.5222 gl: 10

HARINA Medias n E.E.

| | | | | |
|---------|-------|---|------|---|
| Testigo | 90.54 | 3 | 0.92 | A |
| G2 | 83.71 | 3 | 0.92 | B |
| G1 | 83.10 | 3 | 0.92 | B |
| C1 | 76.19 | 3 | 0.92 | C |
| C2 | 67.62 | 3 | 0.92 | D |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

A

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|-------|
| A | 15 | 0.94 | 0.92 | 17.89 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------|------|----|------|-------|---------|
| Modelo. | 2.44 | 4 | 0.61 | 41.03 | <0.0001 |
| HARINA | 2.44 | 4 | 0.61 | 41.03 | <0.0001 |
| Error | 0.15 | 10 | 0.01 | | |
| Total | 2.59 | 14 | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.32757

Error: 0.0149 gl: 10

HARINA Medias n E.E.

| | | | | |
|---------|------|---|------|---|
| C2 | 1.17 | 3 | 0.07 | A |
| C1 | 1.10 | 3 | 0.07 | A |
| Testigo | 0.67 | 3 | 0.07 | B |
| G1 | 0.25 | 3 | 0.07 | C |
| G2 | 0.22 | 3 | 0.07 | C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

B

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| B | 15 | 0.97 | 0.96 | 7.82 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|---------|-------|----|-------|-------|---------|
| Modelo. | 92.65 | 4 | 23.16 | 85.87 | <0.0001 |
| HARINA | 92.65 | 4 | 23.16 | 85.87 | <0.0001 |
| Error | 2.70 | 10 | 0.27 | | |
| Total | 95.35 | 14 | | | |

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=1.39558

Error: 0.2697 gl: 10

HARINA Medias n E.E.

| | | | | |
|---------|-------|---|------|---|
| Testigo | 10.92 | 3 | 0.30 | A |
| G2 | 6.99 | 3 | 0.30 | B |
| G1 | 6.75 | 3 | 0.30 | B |
| C1 | 5.02 | 3 | 0.30 | C |
| C2 | 3.51 | 3 | 0.30 | D |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Resultados de análisis estadístico ácido fítico con humedad como co – variable (Ver Metodología de análisis)

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|--------|
| Acido | 18 | 0.9479 | 0.9261 | 6.6497 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | Coef |
|-------------|--------|----|---------|---------|---------|--------|
| Modelo. | 0.0046 | 5 | 0.0009 | 43.6236 | <0.0001 | |
| Tratamiento | 0.0046 | 5 | 0.0009 | 43.6236 | <0.0001 | |
| Humedad | 0.0000 | 0 | 0.0000 | sd | sd | 0.0000 |
| Error | 0.0003 | 12 | 2.1E-05 | | | |
| Total | 0.0049 | 17 | | | | |

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.01263

Error: 0.0000 gl: 12

| Tratamiento | Medias | n | E.E. |
|-------------|--------|---|------------|
| G | 0.1033 | 3 | 0.0028 A |
| F | 0.0717 | 3 | 0.0028 B |
| T | 0.0623 | 3 | 0.0028 B C |
| PG | 0.0620 | 3 | 0.0028 B C |
| PC | 0.0620 | 3 | 0.0028 B C |
| PT | 0.0543 | 3 | 0.0028 C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Análisis de la varianza

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|--------|
| Acido | 18 | 0.9479 | 0.9261 | 6.6497 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | Coef |
|-------------|--------|----|---------|---------|---------|--------|
| Modelo. | 0.0046 | 5 | 0.0009 | 43.6236 | <0.0001 | |
| Tratamiento | 0.0046 | 5 | 0.0009 | 43.6236 | <0.0001 | |
| Humedad | 0.0000 | 0 | 0.0000 | sd | sd | 0.0000 |
| Error | 0.0003 | 12 | 2.1E-05 | | | |
| Total | 0.0049 | 17 | | | | |

Test:Duncan Alfa=0.05

Error: 0.0000 gl: 12

| Tratamiento | Medias | n | E.E. |
|-------------|--------|---|----------|
| G | 0.1033 | 3 | 0.0028 A |
| F | 0.0717 | 3 | 0.0028 B |
| T | 0.0623 | 3 | 0.0028 C |
| PG | 0.0620 | 3 | 0.0028 C |
| PC | 0.0620 | 3 | 0.0028 C |
| PT | 0.0543 | 3 | 0.0028 C |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Análisis sensorial

Modelos lineales generales y mixtos

Especificación del modelo en R

```
modelo.015_Color_REML<-lme(Color~1+Tratamiento
,random=list(Panelista=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Conglomerado))
,method="REML"
,Testigo=lmeTestigo(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=R.data10
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: modelo.015_Color_REML

Variable dependiente: Color

Medidas de ajuste del modelo

| N | AIC | BIC | logLik | Sigma | R2 | 0 | R2 | 1 |
|-----|--------|--------|---------|-------|------|------|----|---|
| 150 | 379.57 | 409.34 | -179.79 | 0.73 | 0.12 | 0.23 | | |

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

| | numDF | denDF | F-value | p-value |
|-------------|-------|-------|---------|---------|
| (Intercept) | 1 | 96 | 3367.71 | <0.0001 |
| Tratamiento | 4 | 96 | 5.42 | 0.0006 |

Pruebas de hipótesis secuenciales

| | numDF | denDF | F-value | p-value |
|-------------|-------|-------|---------|---------|
| (Intercept) | 1 | 96 | 3387.55 | <0.0001 |
| Tratamiento | 4 | 96 | 5.42 | 0.0006 |

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

| | numDF | denDF | F-value | p-value |
|---------------|-------|-------|---------|---------|
| 1 Tratamiento | 4 | 96 | 5.42 | 0.0006 |

Parámetros de los efectos aleatorios

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: *pdIdent*
Formula: $\sim 1 | \text{Panelista}$

Desvíos estándares y correlaciones

| | |
|---------|---------|
| | (const) |
| (const) | 0.20 |

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: *varIdent*
Formula: $\sim 1 | \text{Conglomerado}$

Parámetros de la función de varianza

| Parámetro | Estim |
|-----------|-------|
| 1 | 1.00 |
| 2 | 2.72 |
| 3 | 0.76 |
| 4 | 2.31 |

Color - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

DGC ($\text{Alfa}=0.05$)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

| Tratamiento | Medias | E.E. | |
|-------------|--------|------|---|
| 806 | 4.40 | 0.14 | A |
| 328 | 3.87 | 0.13 | B |
| 753 | 3.83 | 0.14 | B |
| 680 | 3.76 | 0.14 | B |
| 158 | 3.54 | 0.14 | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Especificación del modelo en R

```
modelo.016_Olor_REML<-lme(Olor~1+Tratamiento  
,random=list(Panelista=pdIdent(~1))  
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Conglomerado))  
,method="REML"  
,Testigo=lmeTestigo(niterEM=150  
,msMaxIter=200)  
,na.action=na.omit  
,data=R.data10  
,keep.data=FALSE)
```


Resultados para el modelo: modelo.016_Olor_REML

Variable dependiente: Olor

Medidas de ajuste del modelo

| N | AIC | BIC | logLik | Sigma | R2 | 0 | R2 | 1 |
|-----|--------|--------|---------|-------|------|------|----|---|
| 150 | 370.92 | 400.68 | -175.46 | 0.66 | 0.06 | 0.37 | | |

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

| | numDF | denDF | F-value | p-value |
|-------------|-------|-------|---------|---------|
| (Intercept) | 1 | 96 | 2937.06 | <0.0001 |
| Tratamiento | 4 | 96 | 2.10 | 0.0869 |

Pruebas de hipótesis secuenciales

| | numDF | denDF | F-value | p-value |
|-------------|-------|-------|---------|---------|
| (Intercept) | 1 | 96 | 2949.16 | <0.0001 |
| Tratamiento | 4 | 96 | 2.10 | 0.0869 |

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

| | numDF | denDF | F-value | p-value |
|---------------|-------|-------|---------|---------|
| 1 Tratamiento | 4 | 96 | 2.10 | 0.0869 |

Parámetros de los efectos aleatorios

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: pdIdent

Formula: ~1|Panelista

Desvíos estándares y correlaciones

| | (const) |
|---------|---------|
| (const) | 0.31 |

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: *varIdent*

Formula: ~ 1 | Conglomerado

Parámetros de la función de varianza

| Parámetro | Estim |
|-----------|-------|
| 1 | 1.00 |
| 2 | 2.88 |
| 3 | 1.55 |
| 4 | 1.94 |

Olor - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

DGC ($\alpha=0.05$)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

| Tratamiento | Medias | E.E. |
|-------------|--------|--------|
| 806 | 4.07 | 0.13 A |
| 753 | 3.89 | 0.14 A |
| 158 | 3.86 | 0.14 A |
| 328 | 3.85 | 0.13 A |
| 680 | 3.54 | 0.14 B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Especificación del modelo en R

```
modelo.017_Sabor_REML<-lme(Sabor~I+Tratamiento
,random=list(Panelista=pdIdent(~I))
,weights=varComb(varIdent(form=~I|Conglomerado))
,method="REML"
,Testigo=lmeTestigo(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=R.data10
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: modelo.017_Sabor_REML

Variable dependiente: Sabor

Medidas de ajuste del modelo

| N | AIC | BIC | logLik | Sigma | R2_0 | R2_1 |
|-----|--------|--------|---------|-------|------|------|
| 150 | 426.51 | 456.27 | -203.25 | 0.83 | 0.10 | 0.46 |

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

| | numDF | denDF | F-value | p-value |
|-------------|-------|-------|---------|---------|
| (Intercept) | 1 | 96 | 1234.49 | <0.0001 |
| Tratamiento | 4 | 96 | 5.47 | 0.0005 |

Pruebas de hipótesis secuenciales

| | numDF | denDF | F-value | p-value |
|-------------|-------|-------|---------|---------|
| (Intercept) | 1 | 96 | 1224.95 | <0.0001 |
| Tratamiento | 4 | 96 | 5.47 | 0.0005 |

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

| | numDF | denDF | F-value | p-value |
|---------------|-------|-------|---------|---------|
| 1 Tratamiento | 4 | 96 | 5.47 | 0.0005 |

Parámetros de los efectos aleatorios

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: *pdIdent*
Formula: $\sim I | \text{Panelista}$

Desvíos estándares y correlaciones

| | (const) |
|---------|---------|
| (const) | 0.46 |

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: *varIdent*
Formula: $\sim I | \text{Conglomerado}$

Parámetros de la función de varianza

| Parámetro | Estim |
|-----------|-------|
| 1 | 1.00 |
| 2 | 0.66 |
| 3 | 1.68 |
| 4 | 1.37 |

Sabor - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento Medias E.E.

| | | | |
|-----|------|------|---|
| 806 | 3.68 | 0.17 | A |
| 158 | 3.47 | 0.18 | A |
| 753 | 3.27 | 0.17 | A |
| 328 | 3.23 | 0.17 | A |
| 680 | 2.72 | 0.16 | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Especificación del modelo en R

```
modelo.018_Textura_REML<-lme(Textura~I+Tratamiento
,random=list(Panelista=pdIdent(~I))
,weights=varComb(varIdent(form=~I|Conglomerado))
,method="REML"
,Testigo=lmeTestigo(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=R.data10
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: modelo.018_Textura_REML

Variable dependiente: Textura

Medidas de ajuste del modelo

| <u>N</u> | <u>AIC</u> | <u>BIC</u> | <u>logLik</u> | <u>Sigma</u> | <u>R2_0</u> | <u>R2_1</u> |
|----------|------------|------------|---------------|--------------|-------------|-------------|
| 150 | 346.51 | 376.27 | -163.25 | 0.52 | 0.05 | 0.47 |

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

| | <u>numDF</u> | <u>denDF</u> | <u>F-value</u> | <u>p-value</u> |
|-------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| (Intercept) | 1 | 96 | 2303.65 | <0.0001 |
| Tratamiento | 4 | 96 | 1.97 | 0.1055 |

Pruebas de hipótesis secuenciales

| | numDF | denDF | F-value | p-value |
|-------------|-------|-------|---------|---------|
| (Intercept) | 1 | 96 | 2312.75 | <0.0001 |
| Tratamiento | 4 | 96 | 1.97 | 0.1055 |

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

| | numDF | denDF | F-value | p-value |
|---------------|-------|-------|---------|---------|
| 1 Tratamiento | 4 | 96 | 1.97 | 0.1055 |

Parámetros de los efectos aleatorios

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: *pdIdent*
Formula: $\sim 1 | \text{Panelista}$

Desvíos estándares y correlaciones

| | (const) |
|---------|---------|
| (const) | 0.48 |

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: *varIdent*
Formula: $\sim 1 | \text{Conglomerado}$

Parámetros de la función de varianza

| Parámetro | Estim |
|-----------|-------|
| 1 | 1.00 |
| 2 | 2.58 |
| 3 | 4.37 |
| 4 | 2.87 |

Textura - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

DGC (Alfa=0.05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

| Tratamiento | Medias | E.E. | |
|-------------|--------|------|---|
| 806 | 4.10 | 0.12 | A |
| 158 | 3.98 | 0.13 | A |
| 328 | 3.92 | 0.12 | A |
| 753 | 3.80 | 0.13 | B |
| 680 | 3.72 | 0.13 | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Especificación del modelo en R

```
modelo.019_Aceptacion.general_REML<-lme(Aceptacion.general~1+Tratamiento
,random=list(Panelista=pdIdent(~1))
,weights=varComb(varIdent(form=~1|Conglomerado))
,method="REML"
,Testigo=lmeTestigo(niterEM=150
,msMaxIter=200)
,na.action=na.omit
,data=R.data10
,keep.data=FALSE)
```

Resultados para el modelo: modelo.019_Aceptacion.general_REML

Variable dependiente: *Aceptacion.general*

Medidas de ajuste del modelo

| <u>N</u> | <u>AIC</u> | <u>BIC</u> | <u>logLik</u> | <u>Sigma</u> | <u>R2_0</u> | <u>R2_1</u> |
|----------|------------|------------|---------------|--------------|-------------|-------------|
| 150 | 348.44 | 378.21 | -164.22 | 0.57 | 0.07 | 0.52 |

AIC y BIC menores implica mejor

Pruebas de hipótesis marginales (SC tipo III)

| | <u>numDF</u> | <u>denDF</u> | <u>F-value</u> | <u>p-value</u> |
|-------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| (Intercept) | 1 | 96 | 2688.04 | <0.0001 |
| Tratamiento | 4 | 96 | 3.60 | 0.0089 |

Pruebas de hipótesis secuenciales

| | <u>numDF</u> | <u>denDF</u> | <u>F-value</u> | <u>p-value</u> |
|-------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| (Intercept) | 1 | 96 | 2701.14 | <0.0001 |
| Tratamiento | 4 | 96 | 3.60 | 0.0089 |

Pruebas de hipótesis tipo III - prueba

| | <u>numDF</u> | <u>denDF</u> | <u>F-value</u> | <u>p-value</u> |
|---------------|--------------|--------------|----------------|----------------|
| 1 Tratamiento | 4 | 96 | 3.60 | 0.0089 |

Parámetros de los efectos aleatorios

Modelo de covarianzas de los efectos aleatorios: *pdIdent*

Formula: $\sim 1 | \text{Panelista}$

Desvíos estándares y correlaciones

| | |
|---------|---------|
| | (const) |
| (const) | 0.38 |

Estructura de varianzas

Modelo de varianzas: *varIdent*

Formula: $\sim 1 | \text{Conglomerado}$

Parámetros de la función de varianza

Parámetro Estim

| | |
|---|------|
| 1 | 1.00 |
| 2 | 2.49 |
| 3 | 3.05 |
| 4 | 2.96 |

Aceptacion.general - Medias ajustadas y errores estándares para Tratamiento

DGC ($\text{Alfa}=0.05$)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Tratamiento Medias E.E.

| | | | |
|-----|------|------|---|
| 806 | 3.99 | 0.12 | A |
| 158 | 3.86 | 0.13 | A |
| 328 | 3.84 | 0.12 | A |
| 753 | 3.64 | 0.13 | B |
| 680 | 3.44 | 0.13 | B |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

~

Anexo 14 Imágenes



Evaluación sensorial realizada en Instituto Técnico Experimental Agroindustrial Juyu en Patzcía, Chimaltenango



Evaluación sensorial realizada en Instituto Técnico Experimental Agroindustrial Juyu en Patzcía, Chimaltenango



Evaluación sensorial realizada en Instituto Técnico Experimental Agroindustrial Juyu en Patzicía, Chimaltenango



Ejemplo de la manera en la que se presentó el producto a los panelistas